

7个紫花苜蓿品种在九华沟流域生长性状的比较

赵海东,段景章,张靖,肖金玉,杜鹤辰,郭正刚,常生华*,侯扶江,张自和
(草种创新与草地农业生态系统全国重点实验室,农业农村部草牧业创新重点实验室,兰州大学草地
农业科技学院,甘肃 兰州 730020)

摘要:【目的】紫花苜蓿(*Medicago sativa*)品种和生长性状影响其产量,明确引进紫花苜蓿品种产量形成与生长特性间的关系,为紫花苜蓿生产提供理论参考。【方法】在以紫花苜蓿为主要栽培牧草的黄土高原雨养农业区陇中九华沟流域,对7个紫花苜蓿品种生长特性及产量进行分析。【结果】7个紫花苜蓿品种产草量和生长性状均差异显著($P<0.05$),其中Vela(VL)产草量显著高于其余6个紫花苜蓿品种($P<0.05$)。其产草量、叶干重、茎干重均比本土优势品种陇东苜蓿表现优异,分别高7.76%、3.93%、10.99%。综合比较苜蓿品种生长特性,生长性状与产草量普遍呈线性和二次函数关系。紫花苜蓿产草量与株高、株高 $\times$ 冠幅、生殖密度、营养枝密度和分枝密度呈二次函数关系。其中株高对产草量拟合关系最好,预测公式为: $y=4.3564x^2-406.43x+1937.9$ ($R^2=0.9045$, $P<0.001$)。【结论】7个紫花苜蓿品种中VL是表现最好的品种,适合在试验区引种栽培,株高、叶面积指数和生殖枝数是产草量的较好预测因子,能够普遍用于紫花苜蓿产草量的预测。

关键词:紫花苜蓿;生长特性;产草量;九华沟流域;黄土高原

中图分类号:S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2025)02-0151-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyecp.2025.02.017



紫花苜蓿是全球分布最广的栽培牧草之一,在农业结构优化、农业系统稳定、食物和生态安全保障等方面发挥着难以替代的作用^[1]。在我国紫花苜蓿干草作为饲草支撑了15%~20%牛奶生产^[2]。将苜蓿和禾本科牧草适度混播建植栽培草地,其固氮能力增加13.5%~79.2%^[3]。在冬闲稻田中引入苜蓿,形成苜蓿—水稻轮作模式,提高水稻籽实产量18.2%^[4]。紫花苜蓿和其他豆科牧草间作显著降低杂草密度、提高

土壤生物密度,维持田间农业生态系统多样性^[5]。

2013—2022年美国审定登记苜蓿品种1136个,同期我国审定登记苜蓿品种仅41个^[6]。苜蓿品种培育的相对落后导致我国在栽培草地建设中大量引进国外品种。不同品种适应性不同,产草量差异较大。UF_AlfPers_2015在佛罗里达州表现出较好的抗逆性和较高的营养价值^[7]。Anchor在加拿大西部广泛种植,高产且稳定性好。Lavo在芬兰和加拿大有较强的适应性^[8]。在宁南黄土高原,15个紫花苜蓿品种中,甘农系列苜蓿品种的生产性能和营养品质最好^[9]。在南疆,WL358的产草量大,干鲜比高^[10]。中苜2号、龙牧803、草原3号和三得利4个紫花苜蓿品种在内蒙古中部地区产草量及营养品质表现优秀^[11]。游客在云南等亚热带地区的干物质和粗蛋白总产量最高^[12]。7个不同休眠级紫花苜蓿在安徽地区生长性能评比中,叶不落粗蛋白含量和干草产量表现优异^[13],因此,紫花苜蓿品种引进时首先要评价其区域适应性。

在栽培草地生产中,引进紫花苜蓿品种的主要目

收稿日期:2023-03-10;**修回日期:**2023-06-13

基金资助:国家自然科学基金国际合作项目(32161143028);国家自然科学基金项目(U21A20242);甘肃省草原生态治理修复科技支撑项目(202302);肃南县重大科技攻关揭榜挂帅项目(SN2022XM11)

作者简介:赵海东(1999-)男,甘肃定西人,硕士研究生。

E-mail:220220902011@lzu.edu.cn

*通信作者,研究方向为草畜生产系统调控。

E-mail:cychangsh@lzu.edu.cn

的是追求高产优产,众多的研究形成了许多区域性紫花苜蓿高产栽培技术模式^[14-15]。不同紫花苜蓿品种的生长性状和产草量有所差异,产草量与株高、冠幅、分蘖数等生长性状显著相关^[16-20]。其中,株高决定苜蓿产草量的65%,因其植株高大和叶面积指数占优提高了光合作用能力,增加了干物质积累^[21-22]。其他生长性状和产草量间关系如何,不同品种间同一性状是否对产草量表现敏感尚不明确。针对不同品种紫花苜蓿,选择简单易测和产草量相关性显著的指标来预测其产量,在实际生产中有重要意义。

甘肃苜蓿种植面积和商品草生产居全国第一,苜蓿种植面积占全国紫花苜蓿种植面积的1/3,主要分布在甘肃黄土高原雨养农业区和河西灌区^[23]。试验选择在黄土高原引种6个国外紫花苜蓿品种和1个当地紫花苜蓿优势品种,通过比较7个紫花苜蓿品种间生长特性的差异,分析7个紫花苜蓿品种生长性状和产草量的关系,构建紫花苜蓿产草量的预测模型,为研究区域紫花苜蓿品种选育引进和高产栽培提供数据支撑和应用。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省定西市安定区九华沟流域(104°33'E, 35°44'N, 海拔2 160 m),是典型的黄土高原丘陵沟壑区。属半干旱温带大陆性气候,年降水量380 mm,其中65%的降水集中在7—9月。近30年均气温6.3℃,全年日照总时数25 002 h,日照率56%,无霜期140 d。根据草原综合顺序分类法,草原类型属于微温微干典型草原类。

1.2 供试材料

供试品种7个,其中陇东苜蓿(LD)是国内育成的黄土高原栽培优势品种,由甘肃草原生态研究所提供。国外引进品种 Sitle(ST)、Derby(DB)和 Defi(DF)引自荷兰,Rest(RS)、Vela(VL)和 Famous(FS)引自丹麦,购置于兰州西部草业工程技术公司。

1.3 试验设计

在研究区选择地势平坦,地段均匀平整的区域进行紫花苜蓿建植。每品种设3个重复,小区面积(10 m×5 m),共21个小区,随机区组排列,小区间以50 cm地埂间隔。于6月中下旬条播,行距25 cm,播

深1 cm,播种量23.7 kg/hm²。播前施农家肥15 000 kg/hm²,苗期中耕除草,雨养条件种植。种植第三年进行指标监测,刈割3茬。

1.4 测定指标及方法

指标测定在紫花苜蓿初花期进行,在各小区随机选取10株苜蓿测量各项指标,求10株紫花苜蓿各指标平均值作为各小区的代表值。具体测量方法如下:

株高(Plant Height, PH):用卷尺测量基部到最高点的垂直高度。

冠幅(Crown Width, CW):用卷尺测量每株苜蓿的最宽处。

生殖枝密度(Reproductive Branches, RB):用计数法统计单株具生殖器官枝条数。每小区随机选取3个1 m×1 m样方,测定其中苜蓿株数求其平均值即单位面积苜蓿株数,生殖枝密度即10株苜蓿生殖枝数平均值乘以单位面积苜蓿株数。

营养枝密度(Nutrient Branch, NB):用计数法统计单株不带花序的分枝数。计算方式同生殖枝密度计算。分枝密度(RB+NB)即生殖枝密度加营养枝密度。生殖枝比营养枝(RB/NB)即二者密度之比。

产草量(Grass Yield, GY):选择10株紫花苜蓿植株进行刈割,留茬高度3 cm,将刈割后的样品带回实验室,茎叶分离,称取茎叶鲜重后,置于65℃的恒温干燥箱中烘干48 h以上至恒重,称取茎干重(Leaf Dry Weight, SDW)和叶干重(Leaf Dry Weight, LDW),求10株苜蓿植株茎叶干重平均值代表单株苜蓿茎叶干重。用单株茎叶干重乘以上述所测单位面积苜蓿株数即单位面积茎叶干重。最后将每平米转化为每公顷即每公顷茎叶干重代表试验茎叶干重。产草量(GY)为LDW与SDW之和。

用描形称重法测定叶面积指数(Leaf Area Index, LAI):在样地选取的10株苜蓿植株上随机选取10个枝条摘取其所有叶片,用铅笔将待测叶片的轮廓描出并依叶形剪下坐标纸,称取叶形坐标纸重量,根据与坐标纸重量的比重计算出叶形纸片的面积即叶面积,求10个枝条平均值即单一枝条上叶面积代表值。用上述统计单株的枝条数乘以单一枝条上叶面积代表值即单株苜蓿叶面积大小,再乘以上述单位面积内苜蓿株数即叶面积指数。

1.5 数据分析

使用 Excel 2019 对数据进行整理汇总,用 SPSS Statistics 26 软件进行方差分析, Tukey 法对不同处理多重比较评价产量及生长性状与品种的关系;产量预测模型采用回归分析法,采用步进法对多因子进行筛选预测产草量、茎干重和叶干重^[24-26];用 Excel 2019、Canoco 5.0、R(4.2.2)“linkET”和 GraphPad Prism 10 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 7个紫花苜蓿品种产草量的比较

7个紫花苜蓿品种的产草量之间差异显著($P<0.05$)(图1),其中 VL 最大,为 17 120.87 kg/hm²;其余从大到小依次为 LD、FS、RS、ST、DB 和 DF。7个紫花苜蓿品种的叶干重之间差异显著($P<0.05$)(图1),其中 VL 最大,为 7 550.85 kg/hm²;其余从大到小依次为 LD、ST、FS、DB、RS 和 DF。7个紫花苜蓿品种的茎干重之间差异显著($P<0.05$)(图1);其中 VL 最大,为 9 570.02 kg/hm²;其余从大到小依次为 FS、LD、RS、ST、DB 和 DF。其中 VL 产草量、叶干重、茎干重均比本土优势品种 LD 表现优异,分别高 7.76%、3.93%、10.99%。

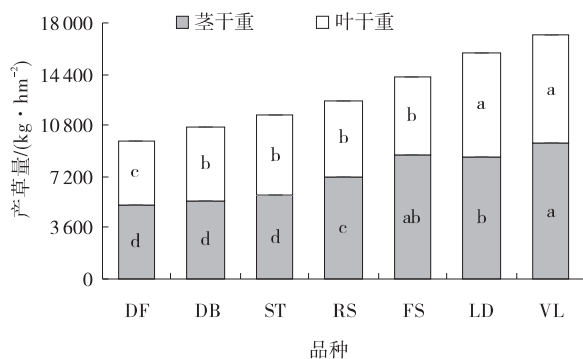


图1 7个紫花苜蓿品种产草量构成

Fig. 1 Composition of grass yield for seven varieties of alfalfa

注:不同小写字母表示不同品种间差异显著($P<0.05$),下同。

2.2 7个紫花苜蓿品种生长性状的比较

7个紫花苜蓿品种间株高(图2-A)、冠幅(图2-B)、株高/冠幅(图2-C)和株高×冠幅(图2-D)差异显著($P<0.05$),VL株高显著高于其余6个紫花苜蓿品种($P<0.05$),比最低的DF高78.89%。VL的株高/冠幅和株高×冠幅最大,均显著大于DF、DB、ST和

RS($P<0.05$),分别比最低的DF高22.56%和160.84%。RS冠幅最大,显著大于DF、DB和ST($P<0.05$),比最低的DF高48.93%。7个紫花苜蓿品种间生殖枝密度(图2-E)、营养枝密度(图2-F)、生殖枝密度/营养枝密度(图2-G)和分枝密度(图2-H)差异显著($P<0.05$),VL生殖枝密度最大,显著大于DF、DB、ST和RS($P<0.05$),比最少的DB高64.89%。FS营养枝密度最大,显著大于DF、DB、ST、RS和LD($P<0.05$),比最低的DB高53.52%。RB生殖枝/营养枝最大,显著大于其余6个紫花苜蓿品种($P<0.05$),比最低的DF高28.96%。LD分枝密度最多,显著大于DF、DB、ST和RS($P<0.05$),比最低的DB高61.23%。7个紫花苜蓿品种间叶面积指数差异显著($P<0.05$)(图2-I),VL叶面积指数最大,比最小的DF高52.68%。

2.3 7个紫花苜蓿品种基于其生长性状的产草量预测方程模型

用同一品种紫花苜蓿的产草量、茎干重、叶干重与生长性状及其相互关系进行线性回归分析,建立预测模型(表1)。不同品种紫花苜蓿产草量、茎干重和叶干重受不同生长性状影响,回归效果较好,综合指标拟合相关系数除DF茎干重、ST茎干重和FS叶干重外,其余均在0.8以上,通过了 $P<0.01$ 的显著性检验(表1)。在单一品种中,对产草量、茎干重、叶干重既有单一生长性状最为预测主要因子也有多项生长性状作为重要预测因子,各品种主要预测生长性状并不相同,其中株高出现频率最高(表1)。

2.4 紫花苜蓿产量和生长性状相关性

紫花苜蓿产草量与生长性状拟合均显著($P<0.001$)(图3)。综合而言,紫花苜蓿产草量随着冠幅(图3-A)、株高/冠幅(图3-B)和叶面积指数(图3-C)增大而增大,呈线性正相关关系。紫花苜蓿产草量与株高(图3-D)、株高×冠幅(图3-E)、生殖枝密度(图3-F)、营养密度(图3-G)和分枝密度(图3-H)呈二次函数关系,随着生长性状的增加,产草量随之增加且增加趋势逐渐增大。随着生殖枝/营养枝的增加,产草量呈先增加后减小的趋势(图3-I)。其中株高对产草量拟合效果最佳,相关系数在0.9以上(图3-A)。

2.5 紫花苜蓿产草量和生长性状的相互关系

不同生长性状对产量的影响不同(图4)。主成分

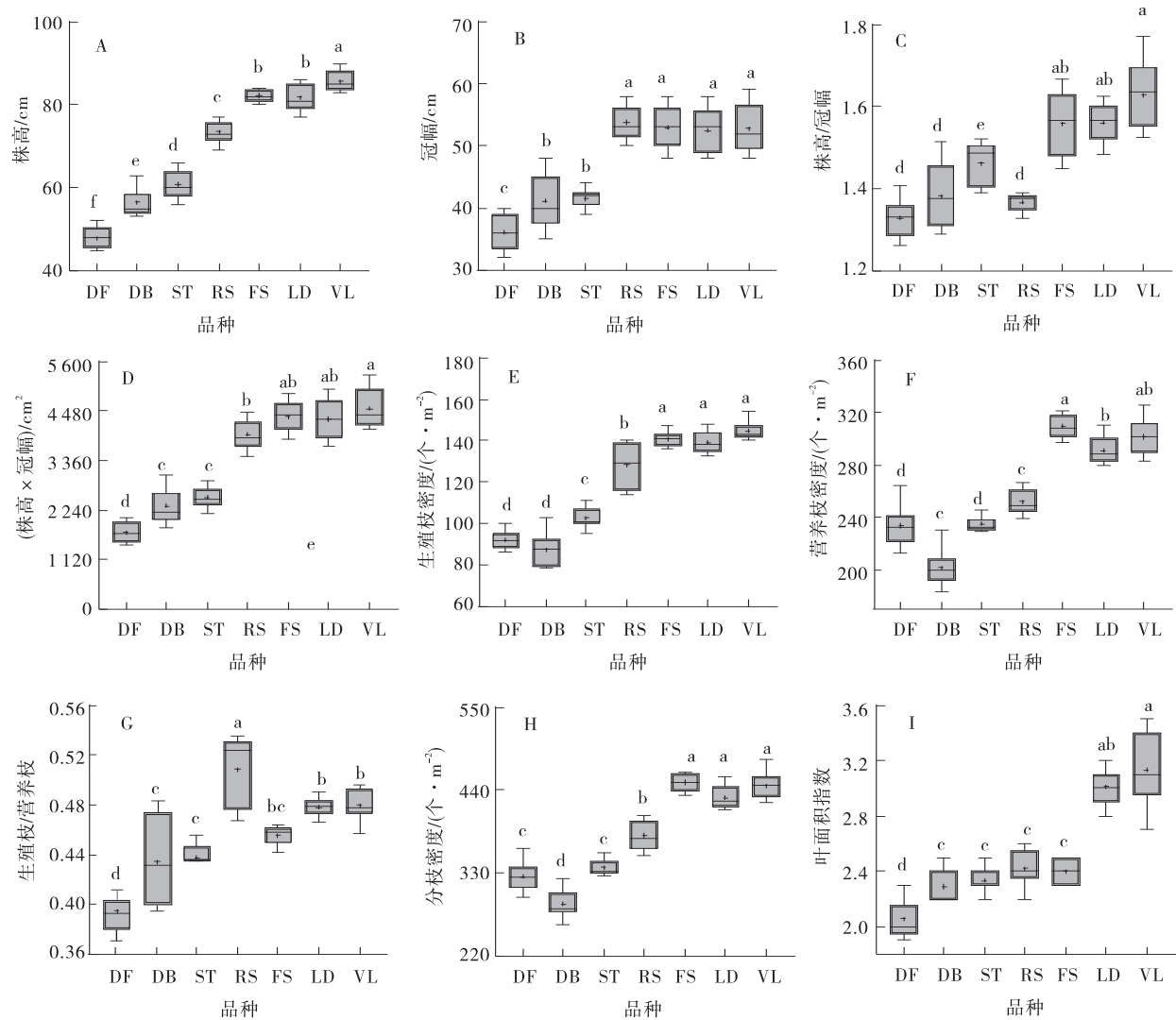


图2 7个紫花苜蓿品种生长性状分布

Fig. 2 Distribution of growth traits of seven alfalfa varieties

分析表明,产量和生长性状第一主成分和第二主成分的贡献率分别为92.48%和4.07%(图4)。综合比较,生殖枝密度对茎干重正向贡献最大,叶面积指数对叶干重和产草量正向贡献均最大。通过RDA分析,对产草量有显著影响的前3个因子综合排序为:叶面积指数>株高>生殖枝密度($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 7紫花苜蓿品种产草量的品种间差异性

饲草作物产量受品种自身特性和地理因素共同作用,具有生态区域特异性^[27-28],因此针对不同区域的气候性状,开展苜蓿品种资源特性研究,确定适宜当地栽培的苜蓿品种对草牧业生产具有重要意义。本试验中,选择黄土高原优势紫花苜蓿品种LD,与引进品种进行比较提高了试验可靠性^[16]。紫花苜蓿建植3

年后,国外引进紫花苜蓿品种VL产量最高,其次是当地优势品种LD,其余国外引进品种表现不如当地优势品种LD。这与在河北和土默特地区研究国内苜蓿品种产量普遍高于国外紫花苜蓿品种的结论一致^[29-30]。通常,引进的国外优秀品种易受病虫害、干旱等作用导致产量不稳定。在引种选择上,优先考虑气候环境的相似性,是保证引进紫花苜蓿品种高产稳产的保障。高宪儒等^[26]在陇东庆阳地区的研究结果表明紫花苜蓿品种DF产量较LD低,与本试验研究结果相反,这可能是由于研究区气候条件不同,该品种喜温暖湿润所致^[31]。茎叶比反应产草量与生殖分配之间的关系,是评价牧草营养、适口性及优产的重要指标^[32-33]。苜蓿的茎叶比越低,粗蛋白等营养物质含量越高,因此产草量和茎叶比的权衡是紫花苜蓿引种

表 1 7 个紫花苜蓿品种产草量预测模型
Table 1 Predictive modeling of forage production in seven alfalfa varieties

品种	预测模型	R^2	F	P
DF	$GY=144.175 \times PH+2\,756.589$	0.947	143.546	<0.001
	$LDW=64.166 \times PH-2\,290.530+4\,062.972$	0.980	198.842	<0.001
	$SDW=59.950 \times CW+3\,312.605$	0.692	18.968	<0.01
DB	$GY=18\,735.515 \times RB/NB+3\,686.531 \times LAI-5\,894.942$	0.976	164.15	<0.001
	$LDW=18\,033.357 \times RB/NB-2\,588.213$	0.897	70.331	<0.001
	$SDW=133.311 \times PH-2\,102.383$	0.973	293.436	<0.001
ST	$GY=164.625 \times PH+1\,466.613$	0.865	52.130	<0.001
	$LDW=81.998 \times PH+1\,961.049 \times LAI-4\,062.789$	0.928	52.409	<0.001
	$SDW=21\,237.769 \times RB/NB-3\,324.116$	0.538	10.309	<0.05
RS	$GY=331.285 \times PH-11\,881.726$	0.977	340.229	<0.001
	$LDW=1\,265.238 \times LAI+3\,618.260 \times RB/NB+302.463$	0.939	62.185	<0.001
	$SDW=254.125 \times PH-11\,422.277$	0.970	256.753	<0.001
FS	$GY=224.283 \times CW+2\,310.361$	0.805	34.007	<0.001
	$LDW=3\,395.137 \times LAI-2\,743.069$	0.652	15.990	<0.01
	$SDW=2.851 \times PH \times CW-3\,641.282$	0.881	60.375	<0.001
LD	$GY=301.878 \times PH+30.796 \times NB-17\,757.036$	0.979	191.774	<0.001
	$LDW=4\,869.229 \times LAI-0.557 \times PH \times CW-5\,003.64$	0.975	160.228	<0.001
	$SDW=41.330 \times (RB+NB)+130.845 \times PH-19\,849.541$	0.960	72.651	<0.001
VL	$GY=502.893 \times PH+1\,707.566 \times LAI-31\,310.619$	0.953	82.104	<0.001
	$LDW=3\,431.789 \times LAI-13\,149.402 \times RB/NB+3\,108.883$	0.974	150.935	<0.001
	$SDW=397.370 \times PH+4\,339.272 \times PH \times CW-31\,536.198$	0.889	33.161	<0.001

栽培的重要参考依据^[34]。在九华沟流域 DB 茎叶比最小,且产草量最低,综合考虑其不适宜在当地种植。而 VL 在保持高产的同时有良好的茎叶比,适宜在当地种植。

3.2 紫花苜蓿生长性状与产草量的关系

紫花苜蓿植株生长性状对产草量有重要影响,产草量与多生长因子间会彼此协同权衡^[35-36]。本研究中,综合所有生长性状,叶面积指数和株高是决定产草量的主要因子,二者与产草量拟合系数高,且 RDA 分析中二者对产草量影响最大,因此在紫花苜蓿品种产草量预测中,叶面积指数和株高应作为首选预测因子。紫花苜蓿产草量与株高、株高 $\times$ 冠幅、生殖枝密度、营养枝密度和分枝密度呈二次函数关系,产草量随之增加且增加趋势逐渐增大,这可能与紫花苜蓿生长空间和营养分配有关,随着紫花苜蓿植株的生长其吸收土壤养分能力更强,光合能力不断提高,干物质积累逐步增大。而株高 $\times$ 冠幅反映植株所占空间大小,这与栽培行距,生长空间和资源利用效率有关。

针对具体品种,DB 和 RS 生殖枝密度和营养枝密度显著影响其产草量,在栽培这类紫花苜蓿时,应该

注重其营养和生殖分配,合理的管理水分和施肥是重要措施^[37]。对于 DF、FS 和 ST 这类以株高和冠幅显著影响产草量的紫花苜蓿品种,种植时应该注重合理的行距分布与种植密度^[38],也可采用不同覆膜方式等措施增加其株高^[39]。叶面积指数是影响 LD 和 VL 产草量的重要因素,栽培时可通过适宜的灌水定额调控其叶面积提高叶片光合速率,促进有机物的积累^[40]。因此,栽培紫花苜蓿时,需要根据其生长特性,有针对性的采取相应农艺措施来提高产量。

3.3 紫花苜蓿产草量预测

选取普适且简单易测的生长性状指标建立预测模型,能针对不同品种苜蓿选取最适宜的生长指标进行产量预测,为合理的种植管理提供实用技术。试验中单一生长性状株高对产草量拟合关系最好,预测公式为: $y=4.356\,4x^2-406.43x+19\,379$ ($R^2=0.904\,5$, $P<0.001$)。且在综合生长性状和相互关系对产草量的预测中株高出现频率最高。利用株高这类容易观测的生长性状来预测产量,这种方法简单易行且结果可靠。此外,预测模型有利于将遥感影像、无人机等现代化技术用于测定生长性状计算作物产量的研

- ment measures in Northwest China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 304(1):127025.
- [2] 李竞前, 闫奎友, 柳珍英, 等. 我国优质高产苜蓿发展状况及对策建议[J]. *中国饲料*, 2021, 32(11):95—98.
- [3] 那木汗, 宋彦涛, 杨忠良, 等. 不同密度单播与混播禾豆牧草的生长特性及种间关系[J]. *草业科学*, 2023, 40(3):740—751.
- [4] 李源, 游永亮, 武瑞鑫, 等. 不同种植方式对紫花苜蓿生产性状及饲用品质的影响[J]. *草地学报*, 2019, 27(1):257—262.
- [5] 孙元伟, 吕陇, 王琦, 等. 紫花苜蓿/豆科牧草间作的生态效益分析[J]. *草地学报*, 2023, 31(3):884—892.
- [6] 刘志鹏, 刘文献, 杨青川, 等. 我国牧草育种进展及存在问题[J]. *中国科学基金*, 2023, 37(4):528—536.
- [7] Rios F E, Munoz P, Lopez Y, *et al.* Release of ‘UF_Alf-Pers_2015’, a nondormant alfalfa cultivar for the southeastern United States[J]. *Journal of Plant Registrations*, 2023, 17(3):463—469.
- [8] Ren L, Bennett J A, Coulman B, *et al.* Forage yield trend of alfalfa cultivars in the Canadian prairies and its relation to environmental factors and harvest management [J]. *Grass and Forage Science*, 2021, 76(3):390—399.
- [9] 曾燕霞, 尚继红, 吴娟, 等. 宁南山区 15 个紫花苜蓿品种饲用价值比较研究[J]. *饲料研究*, 2021, 44(21):98—103.
- [10] 李妍, 马富龙, 韩路, 等. 美国 ‘WL’ 系列不同休眠级苜蓿品种在南疆的生产性能与适应性评价[J]. *草业学报*, 2024, 33(3):139—149.
- [11] 李迎, 王晓龙, 王雪婷, 等. 内蒙古中部地区不同苜蓿品种生产性能评价[J]. *中国草地学报*, 2022, 44(9):39—46.
- [12] 黎梅杰, 秦源源, 鲁建辉, 等. 云南省永德县紫花苜蓿引种试验研究[J]. *草学*, 2023, (1):51—56.
- [13] 李岩, 徐智明, 李争艳, 等. 不同休眠级美国紫花苜蓿材料在安徽地区的引种试验[J]. *草原与草坪*, 2021, 41(3):125—129+136.
- [14] Erastus M M, Zhang D K, Zhou X J, *et al.* Effect of Co-application of Ridge—Furrow Rainwater Harvesting and Mulching on Fodder Yield, Quality, and Soil Desiccation in Alfalfa (*Medicago sativa*) Production [J]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2022, 22(2):2587—2602.
- [15] 石嘉琦, 周繁, 王烁凯, 等. 行距和播量对河北滨海盐碱地苜蓿光合特性及产量的影响[J]. *草地学报*, 2023, 31(8):2554—2563.
- [16] 曹宏, 李茜, 杨宏伟, 等. 陇东地区 6 个紫花苜蓿品种生产性能比较试验[J]. *中国草地学报*, 2022, 44(9):47—55.
- [17] 吕会刚, 康俊梅, 龙瑞才, 等. 河北地区 22 个紫花苜蓿品种的生产性能比较研究[J]. *草地学报*, 2018, 26(4):948—958.
- [18] 范燕闯, 王俊锋, 高嵩, 等. 芽菜收获对松嫩盐碱化紫花苜蓿草地综合收益的影响[J]. *草地学报*, 2022, 30(9):2460—2468.
- [19] 徐丽君. 华北农牧交错带紫花苜蓿人工草地健康评价[D]. 北京:中国农业科学院, 2009.
- [20] 徐畅. 不同土壤条件下紫花苜蓿牧产草量构成因子的比较分析[D]. 长春:东北师范大学, 2017.
- [21] Bi Y X, Zhou P, Li S J, *et al.* Interspecific interactions contribute to higher forage yield and are affected by phosphorus application in a fully—mixed perennial legume and grass intercropping system [J]. *Field Crops Research*, 2019, 244(1):107636.
- [22] Davis R L, Buker R J. Predicting yields from associated characters in *medicago sativa* l[J]. *Crop Science*, 1966, 6(5):492—494.
- [23] 张怀山. 甘肃省苜蓿草产业的品种布局初探[J]. *内蒙古草业*, 2009, 21(4):5—7.
- [24] 余杞强, 贺敏, 何庆元, 等. 25 份苜蓿材料在淮河中下游地区产量相关性状比较[J]. *草原与草坪*, 2019, 39(6):100—104.
- [25] Shugao F, Jianmin C, Jinpeng M, *et al.* Genetic diversity and salt tolerance assessment of 51 alfalfa (*Medicago sativa*) varieties under saline soil conditions[J]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2023, 7(1):1278913.
- [26] Ignatiev S A, Gryazeva T V, Ignatieva N G, *et al.* The study of the productivity dynamics and quality of forage made from different varieties of alfalfa and sainfoin [J]. *Grain Economy of Russia*, 2018, (5):10—14.
- [27] 高宪儒, 李飞, 惠文. 不同紫花苜蓿品种在陇东地区的引种表现[J]. *草业科学*, 2016, 33(4):731—738.
- [28] 王笛, 韩东辰, 李达, 等. 吉林西部地区不同品种/施肥配比和种植密度对苜蓿产量的影响[J]. *饲料研究*, 2022, 45(14):110—116. 25.
- [29] 张铁军, 龙瑞才, 赵忠祥, 等. 河北地区紫花苜蓿品种的生产性能比较研究[J]. *中国草地学报*, 2018, 40(3):

- 35—42.
- [30] 肖燕子,于洁,孟凯,等. 土默特地区不同苜蓿品种生产性能的比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017,45(4):65—70+78.
- [31] 国外优良苜蓿品种介绍[J]. 新疆农业科技, 2002, 24(3):37—38.
- [32] 史雷,徐伟洲,武治兴,等. 榆林片沙覆盖黄土区20个引进紫花苜蓿品种的综合性状评价[J]. 饲料研究, 2022, 45(9):123—128.
- [33] 孙万斌,马晖玲,侯向阳,等. 20个紫花苜蓿品种在甘肃两个地区的生产性能及营养价值综合评价[J]. 草业学报, 2017,26(3):161—174.
- [34] Rumbaugh M D. Effects of population density on some components of yield of alfalfa [J]. Crop Science, 1963,3(5).
- [35] 王晓春,朱得新,杨天辉,等. 宁夏引黄灌区不同苜蓿品种主要农艺性状关联分析及干产草量比较[J]. 作物杂志, 2022, No. 209(4):32—36.
- [36] 景芳,师尚礼,南攀,等. 不同苜蓿品种叶片特征、光合生理特性与产量性状的比较[J]. 草地学报, 2024,32(2): 369—377.
- [37] 马煜,汪精海,王晨,等. 水肥调控对紫花苜蓿产量品质及水氮利用效率的影响[J]. 水利规划与设计, 2023,36(7):88—95.
- [38] 魏永鹏,南丽丽,于闯,等. 种植密度和行距配置对紫花苜蓿群体产量及品质的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(9):1898—1905.
- [39] 景媛媛,徐长林,金玲,等. 种植方式对高寒半干旱区苜蓿第二年地上及地下生长特征的影响[J]. 中国草地学报, 2018,40(4):56—61.
- [40] 马铁成. 不同灌水定额对北疆苜蓿叶面积指数和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019,38(S2):7—10.
- [41] Irena Axmanova', Lubomír Tichý', Zuzana Fajmonová', et al. Estimation of herbaceous biomass from species composition and cover[J]. Applied Vegetation Science, 2012, 15(4): 580—589.
- [42] 黄小娟,侯扶江. 高寒典型草原主要物种的株高和盖度预测种群和群落地上生物量[J]. 生态学报, 2021, 41(12):4942—4952.
- [43] 胡安,康颖,侯扶江. 黄土高原紫花苜蓿产草量与营养品质预测[J]. 草地学报, 2016,24(6):1155—1163.

Comparison of the growth traits of seven varieties of alfalfa in Jiuhuagou watershed

ZHAO Hai-dong, DUAN Jing-zhang, ZHANG Jing, XIAO Jin-yu, DU Wu-chen,
GUO Zheng-gang, CHANG Sheng-hua*, HOU Fu-jiang, ZHANG Zi-he

(State Key Laboratory of Herbage Improvement and Grassland Agro-ecosystems, Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: 【Objective】 Alfalfa (*Medicago sativa*) varieties and growth traits affect its yield, to clarify the relationship between yield formation and growth characteristics of introduced alfalfa varieties, and to provide reference for alfalfa production. 【Method】 The study analyzed the growth characteristics and yield of seven alfalfa varieties in the Jiuhuagou watershed of Longzhong, a rain-fed agricultural area of the Loess Plateau where alfalfa is the main cultivated forage. 【Result】 The seven varieties of alfalfa exhibited significant differences ($P < 0.05$) in grass yield and growth traits. Among the six alfalfa varieties, VL yielded significantly ($P < 0.05$) higher than the others. Its grass yield, leaf dry weight, and stem dry weight were all superior to those of the indigenous superior variety LD, with increases of 7.76%, 3.93%, and 10.99%, respectively. When comprehensively comparing the growth characteristics of alfalfa varieties, it was observed that growth traits and grass yield generally showed linear and quadratic relation-

ships. The quadratic relationship between alfalfa grass yield and plant height, plant height $\times$ crown span, reproductive density, nutrient branch density, and branching density indicated that the above growth traits had different effects on grass yield at different growth stages of alfalfa. Among the factors analyzed, plant height showed the strongest correlation with grass yield. The prediction equation for this relationship is $y=4.356x^2-406.43x+19\,379$ ($R^2=0.904\,5$, $P<0.001$). 【Conclusion】 Among the seven varieties of alfalfa tested, VL proved to be the most suitable for cultivation in the test area. The predictors of hay yield were found to be plant height, leaf area index, and number of reproductive branches, which were better indicators than other factors. These predictors can be generalized for the prediction of alfalfa hay yield.

Key words: alfalfa; growth characteristics; grass yield; Jiuhuagou watershed; Loess Plateau

(责任编辑:刘建荣)