

DOI: 10.11686/cyxb2024454

http://cyxb.magtech.com.cn

回金峰, 魏孔钦, 孙延亮, 等. 伊犁河流域紫花苜蓿干草产量和营养品质对海拔高度的响应. 草业学报, 2025, 34(10): 41-50.

HUI Jin-feng, WEI Kong-qin, SUN Yan-liang, et al. Response of alfalfa hay yield and nutritional quality to altitude in the Yili River basin. Acta Prataculturae Sinica, 2025, 34(10): 41-50.

伊犁河流域紫花苜蓿干草产量和营养品质 对海拔高度的响应

回金峰, 魏孔钦, 孙延亮, 马春晖, 张前兵*

(石河子大学动物科技学院, 新疆 石河子 832003)

摘要: 为了探究不同海拔高度对紫花苜蓿干草产量和营养品质的影响。本研究在伊犁河流域分别选取了1300~1500 m(H₁)、900~1100 m(H₂)和500~700 m(H₃)海拔高度范围内的代表性样地共12个,以阿尔冈金(A₁)、巨能7(A₂)、WL363HQ(A₃)、新牧4号(A₄)4个紫花苜蓿品种为研究材料,通过田间测产结合实验室测定紫花苜蓿植株的粗蛋白质(CP)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、相对饲喂价值(RFV)、粗脂肪(EE)、粗灰分(Ash)、全磷含量(TP)、可溶性糖含量(SSC),分析了紫花苜蓿干草产量与各营养指标之间的关系,并通过主成分分析和隶属函数法综合筛选出适宜于优质紫花苜蓿饲料生产的海拔高度和品种。研究结果显示:对于相同品种,紫花苜蓿的CP、EE、RFV、Ash和干草产量(HY)均随海拔高度的降低呈逐渐增高的趋势,NDF、ADF、SSC均随海拔高度下降呈降低的趋势。在相同海拔高度条件下,紫花苜蓿的RFV、TP、SSC、HY均为A₃显著高于其他品种,且A₃的NDF、ADF含量最低。皮尔逊相关性分析表明:紫花苜蓿的干草产量与CP、RFV、TP呈显著正相关($P < 0.05$),但与NDF、ADF呈极显著负相关($P < 0.01$);CP与TP、EE、RFV、SSC呈显著正相关($P < 0.05$)。基于主成分和隶属函数分析综合排名前3位的分别是A₃H₃、A₃H₁和A₃H₂。相对于高海拔区域,伊犁河流域低海拔区域对紫花苜蓿产量和营养品质具有一定的提升作用;适宜在伊犁河流域各海拔高度下推广种植的品种为A₃。

关键词: 伊犁河流域;海拔高度;紫花苜蓿;干草产量;营养品质

Response of alfalfa hay yield and nutritional quality to altitude in the Yili River basin

HUI Jin-feng, WEI Kong-qin, SUN Yan-liang, MA Chun-hui, ZHANG Qian-bing*

College of Animal Science & Technology, Shihezi University, Shihezi 832003, China

Abstract: To investigate the effects of altitude on the yield and nutritional quality of alfalfa (*Medicago sativa*), we planted four alfalfa varieties in 12 representative plots in the altitude ranges of 1300–1500 m (H₁), 900–1100 m (H₂) and 500–700 m (H₃) in the Yili River basin, and monitored their growth. Four alfalfa varieties were included in this experiment, namely Algonquin (A₁), Magnum VII (A₂), WL363HQ (A₃), and Xinmu 4 (A₄). After harvest, the alfalfa plants were analyzed to determine the contents of crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF), the relative feeding value (RFV), ether extract (EE), crude ash (Ash), total phosphorus content (TP) and soluble sugars content (SSC), and the field hay yield (HY). The relationship between HY and nutritional indexes of alfalfa was analyzed, and the altitude and varieties suitable for high quality

收稿日期:2024-11-19;改回日期:2025-01-09

基金项目:国家重大科技专项第三次新疆综合科学考察项目(2022xjkk0502)资助。

作者简介:回金峰(1999-),男,新疆乌鲁木齐人,在读硕士。E-mail: 1449323269@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: qbz102@163.com

alfalfa feed production were selected based on the results of principal component analysis and membership function analysis. The results show that the CP, EE, RFV, Ash, and HY of alfalfa gradually increased as the altitude decreased, whereas NDF, ADF, and SSC gradually decreased as the altitude decreased. At the same altitude, the RFV, TP, SSC, and HY were significantly higher for A₃ than for the other three alfalfa varieties, and the NDF and ADF contents were lowest in A₃. Pearson's correlation analyses showed that the HY of alfalfa was positively correlated with CP, RFV, and TP ($P < 0.05$), but negatively correlated with NDF and ADF ($P < 0.01$). The CP was positively correlated with TP, EE, RFV, and SSC ($P < 0.05$). Based on the results of the principal component and membership function analyses, the best performance was observed in A₃ grown at 500–700 m, followed by A₃ grown at 1300–1500 m, and then A₃ grown at 900–1100 m. In conclusion, the yield and nutritional quality of alfalfa plants grown at lower altitudes were superior to those of alfalfa plants grown at higher altitudes in the Yili River basin. Alfalfa variety WL363HQ, coded A₃ in this research, can be recommended as suitable for planting at various altitudes in the Yili River basin.

Key words: Yili River basin; altitude; alfalfa; hay yield; nutritional quality

伊犁河流域位于新疆天山西段,东、南、北三面环山,山地海拔变化明显(500~1900 m),成为研究作物海拔高度适应性的理想区域^[1]。近年来,为支持粮改饲、退耕还草的政策,当地紫花苜蓿(*Medicago sativa*)的种植面积不断增加,但单位面积产量提升有限,农民收入增加少^[2]。此外,近年来受紫花苜蓿品种及传统种植观念的影响,伊犁河流域人工草地生产力下降,紫花苜蓿品质难以满足市场需求,严重影响了当地种植户的收益^[3]。因此,建植环境适宜的人工紫花苜蓿草地,开展紫花苜蓿品种的适应性研究,显得尤为迫切。

海拔高度代表着由气温、降水量、光照时间等因素构成的综合性环境因子^[4],这些因素共同作用于作物的生长发育,使其生产性能在不同海拔高度上表现出差异^[5]。研究表明,在高海拔地区,随海拔高度的升高越来越不利于作物的生长发育^[6]。海拔升高导致气温下降,使紫花苜蓿的生育期延长、再生能力减弱^[7],紫外线辐射越来越强,使紫花苜蓿的光合作用减弱,营养品质下降^[8]。而低海拔地区紫花苜蓿的根系生物量、数量和鲜草产量均显著高于高海拔地区^[9]。因此,研究紫花苜蓿在不同海拔高度下的产量和品质变化规律,对于优化牧草种植基地的选址和管理具有重要意义。

紫花苜蓿因其具有产量高、营养丰富、抗逆性强、适应性广的特点,已成为伊犁河流域农牧区的主要栽培牧草^[10]。然而,受海拔高度和紫花苜蓿品种的共同影响,伊犁河流域人工紫花苜蓿草地普遍存在生产力水平偏低,营养品质欠佳等问题。因此,在不同海拔高度区域开展紫花苜蓿品种的适应性评价至关重要。在柴达木盆地的高海拔地区对8个紫花苜蓿品种进行生产性能综合评价,发现‘东苜2号’、‘龙牧803’和‘5909’的适应性强、产量高,综合性状表现较好^[11]。在科尔沁沙地的低海拔地区对40个品种紫花苜蓿产量、营养品质进行综合评价,发现‘阿迪娜’、‘4030’、‘康赛’、‘3010’、‘中苜1号’和‘WL168HQ’,均适宜于当地推广种植^[12]。以往关于评价紫花苜蓿品种适应性的研究,多集中于同一海拔区域内。目前,适宜在伊犁河流域不同海拔高度下种植的紫花苜蓿品种尚不清楚,亟须开展相关研究。因此,本研究以伊犁河流域不同海拔高度为对象,以4个紫花苜蓿品种为试验材料,对不同海拔区域下各品种紫花苜蓿的干草产量和营养品质进行综合评价,明确不同品种紫花苜蓿的适应性,以为伊犁河流域紫花苜蓿种植品种筛选及区域布局提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州特克斯县塔斯巴斯村(43°0′–43°15′ N, 81°46′–81°48′ E, 海拔1300~1500 m, H₁)、尼勒克县乌赞村(43°53′–43°55′ N, 82°34′–82°36′ E, 海拔900~1100 m, H₂)和察布查尔锡伯自治县其克其博拉村(43°48′–43°54′ N, 80°55′–80°56′ E, 海拔500~700 m, H₃)。研究区均属于典型

的温带大陆性半干旱气候,无霜期为125~132 d,土壤类型为栗钙土。特克斯县年平均气温为7.2℃,年平均降水量为353.2 mm,年日照时数为2544.4 h。尼勒克县年平均气温为10.9℃,年平均降水量为215.9 mm,年日照时数为2700 h。察布查尔锡伯自治县年平均气温为11.5℃,年平均降水量为201.6 mm,年日照时数为2926.9 h。

1.2 供试材料

采用伊犁河流域广泛种植的4个紫花苜蓿品种阿尔冈金(A₁)、巨能7(A₂)、WL363HQ(A₃)、新牧4号(A₄)为试验材料。各品种的种源信息详见表1。

表1 4种紫花苜蓿的种源信息

Table 1 Provenance information of 4 alfalfa varieties

品种编号 Breed number	品种 Variety	来源 Source	国家 Country
A ₁	阿尔冈金 Algonquin	北京克劳沃种业科技有限公司 Beijing Clover Seed Technology Co., Ltd.	加拿大 Canada
A ₂	巨能7 Magnum VII	北京克劳沃种业科技有限公司 Beijing Clover Seed Technology Co., Ltd.	美国 America
A ₃	WL363HQ	北京正道种业有限公司 Beijing Rytway Seed Co., Ltd.	美国 America
A ₄	新牧4号 Xinmu 4	新疆农业大学 Xinjiang Agricultural University	中国 China

1.3 试验设计及样品采集

本研究采用双因素随机区组设计,设置3个海拔高度,分别是高海拔H₁、中海拔H₂、低海拔H₃;4个紫花苜蓿品种A₁、A₂、A₃和A₄。播种前实施除草深翻作业,2022年10月采用机械条播,播种深度为2 cm,行距为20 cm,播种量为18 kg·hm⁻²,基肥施农家肥7500 kg·hm⁻²(按当地施肥习惯)。试验期间统一田间管理,每次刈割后充分灌溉1次。建植第二年(2023年7月28—30日)采集第2茬初花期的紫花苜蓿样品。各采样地重复采集紫花苜蓿样品3次,共计36个样本。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 干草产量(hay yield, HY)测定 在紫花苜蓿初花期(开花5%~10%),随机选取长势均匀能够代表该地块的植株,用镰刀刈割1 m×1 m样方内的植株(留茬高度5 cm),重复测定5次,称重并记录样方总产量。另取300 g左右的鲜草样品带回实验室,在105℃烘箱中杀青30 min后,转入65℃烘箱烘干至恒重。称重并计算出干草产量。计算公式如下:

$$\text{干草产量} = \text{鲜草产量} \times (1 - \text{含水率}) \quad (1)$$

1.4.2 营养品质测定 粗灰分(crude ash, Ash)采用干灰化法测定^[13];粗脂肪含量(ether extract, EE)采用乙醚提取法测定^[13];粗蛋白(crude protein, CP)采用凯氏定氮法(N×6.25)测定^[13];全磷含量(total phosphorus, TP)采用钼锑抗比色法测定^[13];可溶性糖含量(soluble sugar content, SSC)采用蒽酮比色法测定^[14];酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)和中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)采用Van Soest法测定^[13];根据NDF和ADF计算相对饲喂价值(relative feeding value, RFV)。

$$\text{RFV} = 120/\text{NDF} \times [(88.9 - 0.779 \times \text{ADF})/1.29] \quad (2)$$

1.5 数据统计分析

采用Microsoft Excel 2016进行数据整理统计,运用SPSS 20.0统计软件进行数据的双因素方差分析和Duncan多重比较;采用Origin 2021软件进行主成分分析和图表的绘制,同时运用皮尔逊(Pearson)相关性分析解析紫花苜蓿干草产量和营养指标之间的关系。

采用隶属函数法综合评价出最佳组合,粗蛋白、粗脂肪、全磷、可溶性糖含量、相对饲喂价值与干草产量呈正相关,其隶属函数值计算公式为:

$$UX_{(+)} = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (3)$$

粗灰分、中性洗涤纤维含量和酸性洗涤纤维含量与干草产量呈负相关,其隶属函数值计算公式为:

$$UX_{(-)} = 1 - UX_{(+)} \quad (4)$$

式中: X 是样品测定值; $UX_{(+)}$ 是正相关隶属函数值; $UX_{(-)}$ 是负相关隶属函数值; X_{ij} 为某一指标的相对测量值, $X_{i\max}$ 和 $X_{i\min}$ 分别为第 i 个指标的最大值和最小值。

2 结果与分析

2.1 干草产量

测试结果显示,海拔、品种和两者交互作用均对紫花苜蓿干草产量有极显著影响($P < 0.01$, 表2)。各品种的干草产量差异显著,整体表现为随着海拔高度升高呈递减的趋势,在低海拔条件下干草产量达到峰值(图1)。在高海拔条件下, A_2 、 A_3 、 A_4 3个品种的干草产量显著高于 A_1 品种($P < 0.05$)。不同海拔高度条件下, A_3 品种的干草产量显著高于其他3个品种,且在低海拔条件下达到最高,为 $6244 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。除 A_3 品种的干草产量在不同海拔高度间无显著差异外($P > 0.05$),其他3个品种在 H_3 条件下的干草产量均显著大于 H_2 、 H_1 ($P < 0.05$)。

表2 紫花苜蓿品种、海拔高度对各因子影响的方差分析

Table 2 Variance analysis of alfalfa variety and altitude on each factor

CV	CP		NDF		ADF		RFV		SSC		TP		EE		Ash		HY		
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	
A	22.91	**	86.21	**	105.75	**	293.02	**	505.25	**	248.92	**	12.38	**	7.95	**	154.11	**	
H	5.23	*	7.79	**	40.86	**	34.68	**	219.05	**	103.10	**	11.09	**	3.86	ns	35.04	**	
A×H	1.701	ns	2.062	ns	0.360	ns	0.581	ns	0.990	ns	6.850	**	0.220	ns	0.280	ns	8.280	**	

注: **表示极显著($P < 0.01$), *表示显著($P < 0.05$), ns表示无显著差异。A表示紫花苜蓿品种。H表示海拔高度。CV: 变异系数 Coefficient of variation。CP: 粗蛋白 Crude protein。NDF: 中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber。ADF: 酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber。RFV: 相对饲喂价值 Relative feeding value。SSC: 可溶性糖含量 Soluble sugar content。TP: 全磷 Total phosphorus。EE: 粗脂肪 Ether extract。Ash: 粗灰分 Crude ash。HY: 干草产量 Hay yield。下同。

Note: ** means extremely significant ($P < 0.01$), * means significant ($P < 0.05$), ns means no significant difference. A represents alfalfa variety and H represents altitude. The same below.

2.2 牧草品质与饲用价值

海拔和品种因素对紫花苜蓿的CP含量具有显著影响($P < 0.05$, 表2)。相同品种条件下,紫花苜蓿的CP含量随海拔高度的降低呈逐渐增加的趋势。其中 A_3H_3 处理组的CP含量最高,为19.7%, A_1 品种的CP含量在各海拔条件下均显著低于其他品种($P < 0.05$)。与 A_4H_1 条件相比, A_4H_2 和 A_4H_3 的CP含量分别提高了8.8%和11.7%(图2)。海拔和品种因素对RFV、NDF和ADF含量具有极显著影响($P < 0.01$) (表2)。相同海拔高度条件下, A_3 品种的NDF、ADF含量显著低于其他品种($P < 0.05$)。而 A_3 品种的RFV值显著大于其他品种($P < 0.05$),且各品种的RFV值均在低海拔条件下达到最大值。

海拔和品种因素对紫花苜蓿的TP和SSC含量具有极显著影响($P < 0.01$) (表2)。随海拔高度的降低紫花苜蓿的Ash和EE含量呈逐渐升高的趋势(图3)。相同品种条件下,各品种紫花苜蓿的TP含量随海拔高度的降低呈逐渐增加的趋势。紫花苜蓿的SSC含

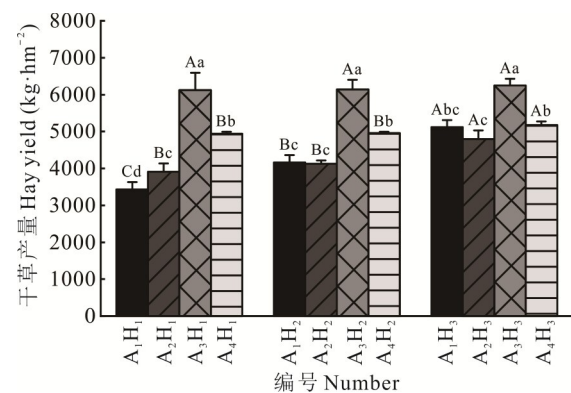


图1 不同海拔条件下紫花苜蓿品种的干草产量

Fig. 1 Hay yield of alfalfa variety at different altitudes

大写字母表示同一品种不同海拔高度间差异显著($P < 0.05$),小写字母表示同一海拔高度不同品种间差异显著($P < 0.05$)。A₁: 阿尔冈金; A₂: 巨能7; A₃: WL363HQ; A₄: 新牧4号; H₁: 高海拔; H₂: 中海拔; H₃: 低海拔。下同。Capital letters indicate significant differences among different altitudes of the same variety ($P < 0.05$), lowercase letters indicate significant differences among varieties at the same altitude ($P < 0.05$). A₁: Algonquin; A₂: Magnum VII; A₃: WL363HQ; A₄: Xinmu 4; H₁: High altitude; H₂: Medium altitude; H₃: Low altitude. The same below.

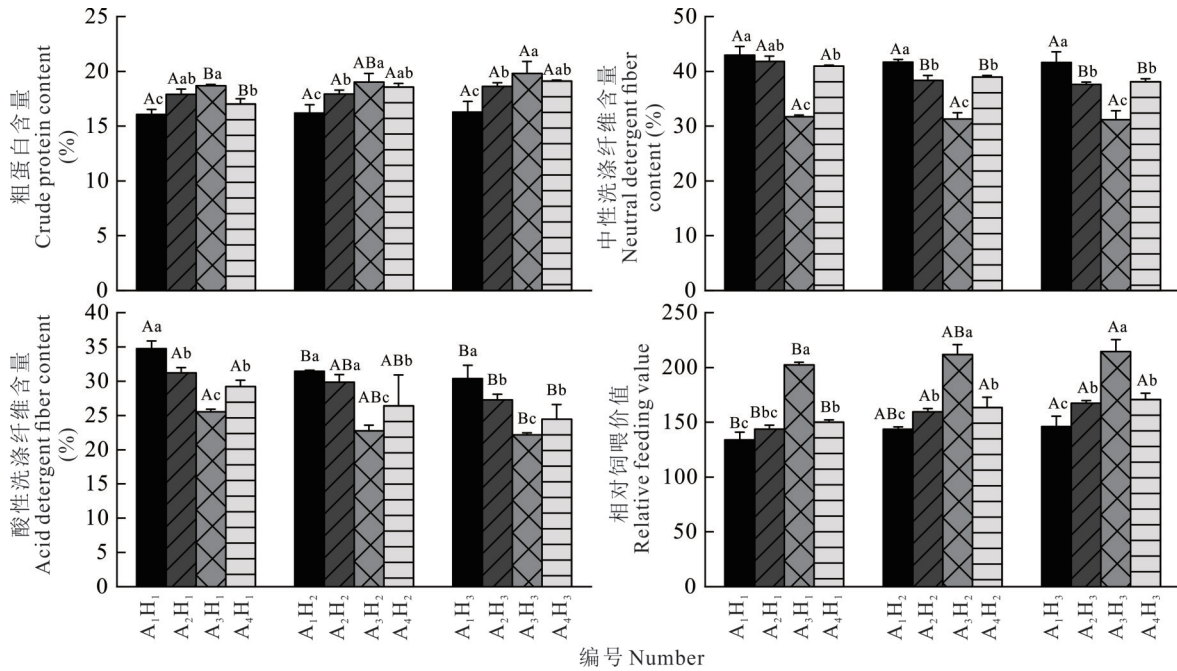


图 2 不同海拔条件下紫花苜蓿品种的营养品质及相对饲喂价值

Fig. 2 Nutritional quality and relative feeding value of alfalfa variety at different altitudes

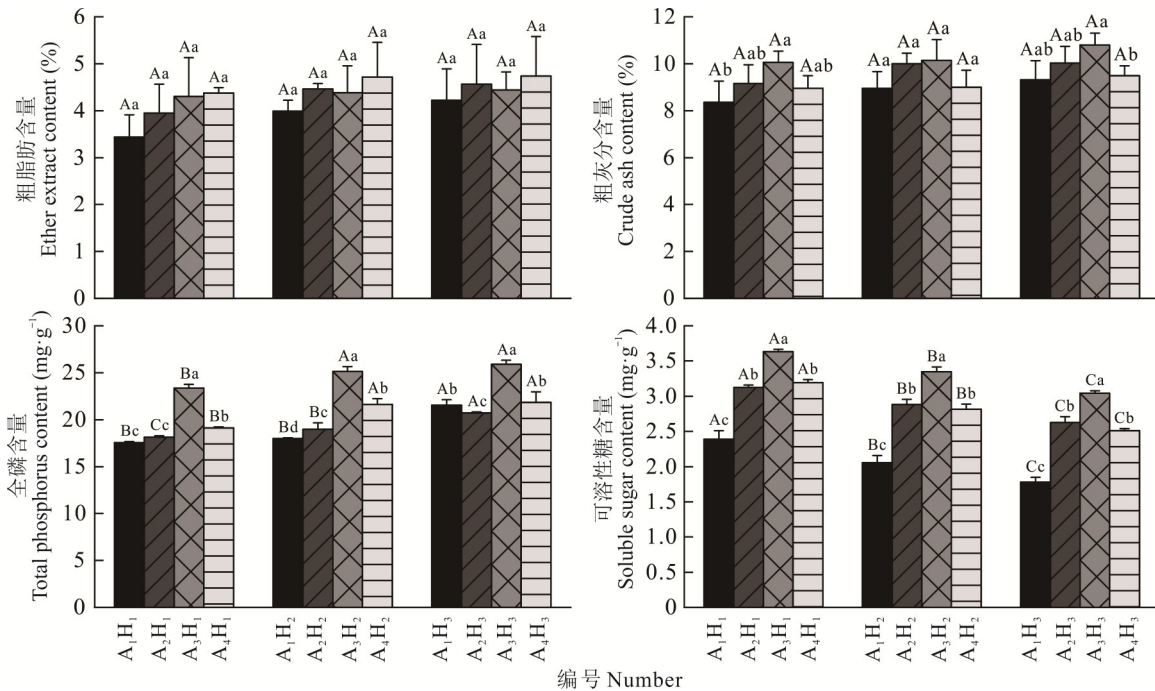


图 3 不同海拔条件下紫花苜蓿品种的粗灰分、粗脂肪、全磷及可溶性糖含量

Fig. 3 Crude ash, ether extract, total phosphorus and soluble sugar content of alfalfa variety at different altitudes

量随海拔高度的升高呈逐渐增大的趋势。与 A₄H₁ 条件相比, A₄H₂ 和 A₄H₃ 紫花苜蓿的 SSC 含量分别降低了 12.1% 和 27.1%。相同海拔高度条件下, A₃ 品种的 TP 和 SSC 含量显著高于其他品种 ($P < 0.05$)。

2.3 干草产量与营养品质的相关性分析

皮尔逊相关性分析结果显示, 紫花苜蓿的 HY 与 CP、RFV、TP 呈显著正相关 ($P < 0.05$), 与 ADF、NDF 呈显著负相关 ($P < 0.05$); CP 与 TP、RFV、EE、SSC 呈显著正相关 ($P < 0.05$), 与 ADF、NDF 呈极显著负相关 ($P <$

0.01);NDF与RFV、TP、SSC呈显著负相关($P<0.05$),与ADF呈极显著正相关($P<0.01$);ADF与RFV、EE、TP呈极显著负相关($P<0.01$);RFV与TP、SSC呈显著正相关($P<0.01$)(图4)。

2.4 干草产量与营养品质的综合性评价

通过主成分分析对不同海拔条件下紫花苜蓿干草产量和营养品质进行综合评价(图5),结果表明,第1主成分对总方差贡献率达62.33%,其中RFV贡献较大,Ash含量贡献较少。第2主成分对总方差贡献率达22.20%,其中CP、NDF、ADF和EE含量贡献较大,HY、SSC和TP含量贡献较少。主成分1和主成分2累计贡献率达到

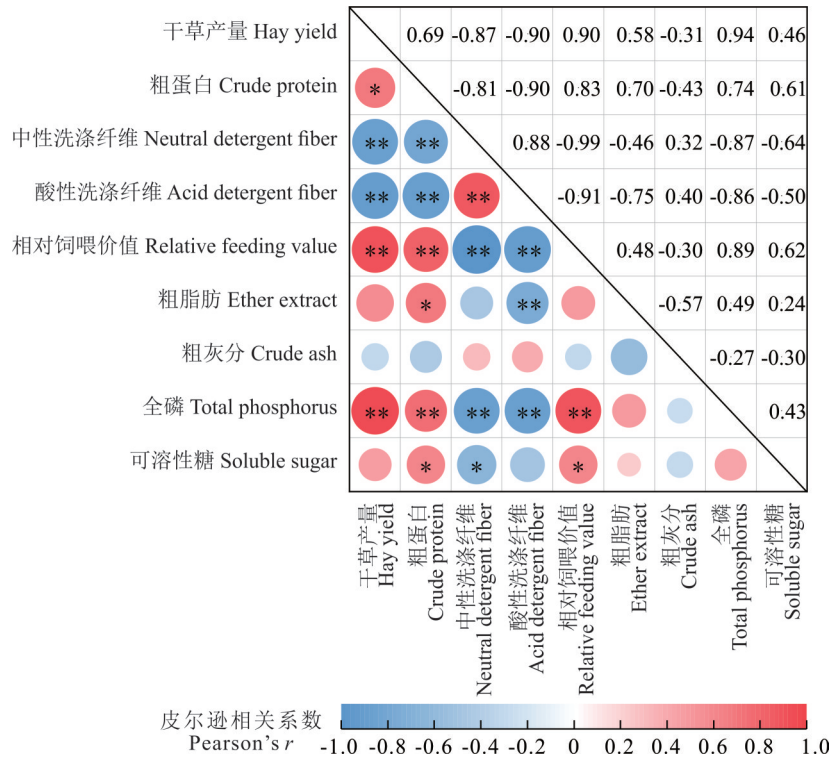


图4 不同海拔条件下紫花苜蓿品种的干草产量与营养品质相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis of hay yield and nutritional quality of alfalfa at different altitudes

*:表示在0.05水平上显著相关,**:表示在0.01水平上显著相关。*: Significant correlation at the 0.05 level, **: Significant correlation at the 0.01 level.

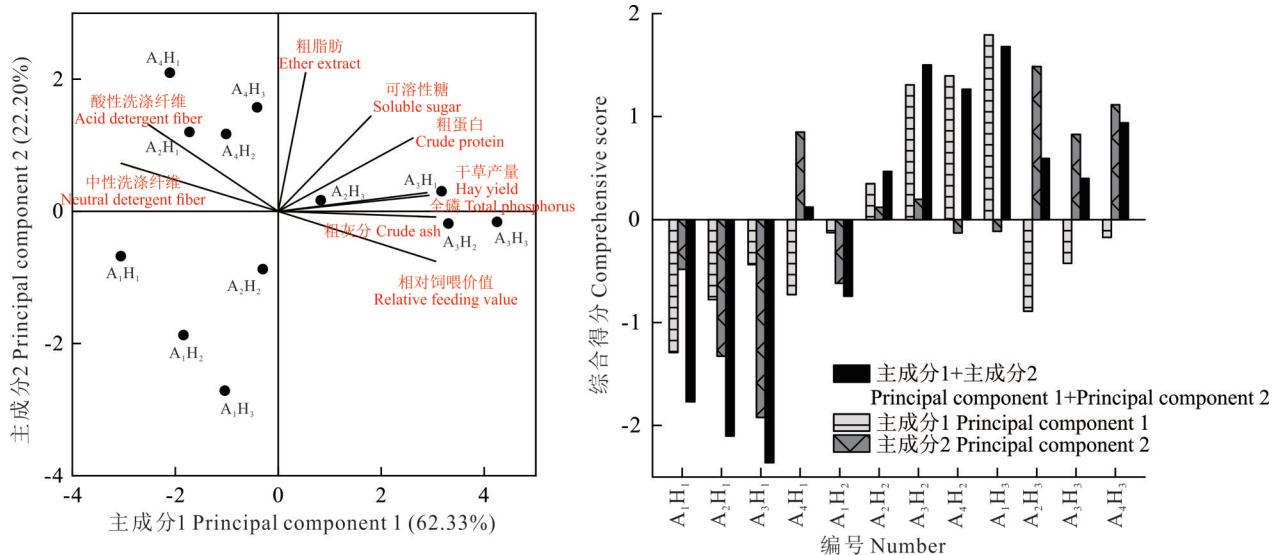


图5 不同海拔条件下紫花苜蓿品种各项指标的主成分分析及综合得分

Fig. 5 Principal component analysis and comprehensive scores of various alfalfa varieties under different altitude conditions

84.53%,说明可以代表紫花苜蓿干草产量和营养品质的绝大部分信息。不同处理下,第1主成分得分依次是 A_3H_3 、 A_3H_2 、 A_3H_1 、 A_2H_3 、 A_2H_2 、 A_4H_3 、 A_4H_2 、 A_1H_3 、 A_2H_1 、 A_1H_2 、 A_4H_1 、 A_1H_1 ;第2主成分得分依次是 A_4H_1 、 A_4H_3 、 A_2H_1 、 A_4H_2 、 A_3H_1 、 A_2H_3 、 A_3H_3 、 A_3H_2 、 A_1H_1 、 A_2H_2 、 A_1H_2 、 A_1H_3 。综合主成分1和2可知不同海拔条件下干草产量及营养品质得分最高的是 A_3H_3 ,其次分别是 $A_3H_1 > A_3H_2 > A_4H_3 > A_4H_1 > A_2H_3 > A_4H_2 > A_2H_1 > A_2H_2 > A_1H_1 > A_1H_2 > A_1H_3$ 。

2.5 干草产量与营养品质的隶属函数分析

紫花苜蓿品种的干草产量和营养品质在不同海拔条件下的表现不同,为筛选出不同海拔高度条件下最适宜种植的紫花苜蓿品种,对紫花苜蓿的干草产量、粗蛋白、全磷、可溶性糖、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量、相对饲喂价值、粗灰分、粗脂肪含量总计9个指标进行隶属函数分析,综合评价结果表明,3个试验海拔条件下 A_3 均排在第一位(表3)。

表3 不同海拔条件下紫花苜蓿品种各指标的隶属函数分析

Table 3 Membership function analysis of various indexes of alfalfa cultivars at different altitudes

编号 Number	Ash	TP	SSC	HY	CP	EE	NDF	ADF	RFV	平均值 Mean	排序 Sort
A_1H_1	0.000	0.000	0.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	12
A_1H_2	0.386	0.055	0.150	0.259	0.029	0.420	0.112	0.262	0.122	0.199	11
A_1H_3	0.184	0.480	0.000	0.600	0.057	0.599	0.116	0.346	0.150	0.281	10
A_2H_1	0.192	0.172	0.725	0.170	0.487	0.388	0.099	0.281	0.121	0.293	9
A_2H_2	0.918	0.070	0.596	0.247	0.495	0.788	0.394	0.389	0.316	0.468	7
A_2H_3	0.375	0.378	0.457	0.486	0.682	0.866	0.457	0.594	0.417	0.524	6
A_3H_1	0.849	0.907	1.000	0.955	0.702	0.665	0.949	0.734	0.850	0.846	2
A_3H_2	0.026	0.696	0.845	0.963	0.791	0.725	0.985	0.955	0.967	0.773	3
A_3H_3	0.812	1.000	0.680	1.000	1.000	0.771	1.000	1.000	1.000	0.918	1
A_4H_1	0.771	0.187	0.763	0.536	0.248	0.720	0.171	0.438	0.202	0.449	8
A_4H_2	0.356	0.490	0.559	0.544	0.666	0.983	0.343	0.663	0.365	0.552	5
A_4H_3	1.000	0.514	0.395	0.619	0.813	1.000	0.411	0.820	0.455	0.670	4

3 讨论

3.1 海拔高度对紫花苜蓿干草产量的影响

紫花苜蓿的干草产量是评价品种适应性和生产性能的重要指标^[15]。本研究结果显示,海拔高度变化对4个紫花苜蓿品种的干草产量具有显著影响,这与温度、湿度、光照时间随海拔高度的改变有关,也与不同品种对环境的适应性偏好有关。研究表明,海拔高度的升高导致紫花苜蓿干草产量降低,这可能是由于低温导致紫花苜蓿叶片中的核心蛋白D1被降解,抑制最大光化学效率的发生,减弱紫花苜蓿叶片的光合作用,进而限制了紫花苜蓿的生长和发育^[16]。本研究中,随海拔高度升高年平均降水量呈逐渐增加的趋势。而充分灌溉已被证实可通过增加紫花苜蓿的株高、分枝数和叶面积从而显著增加产量^[17]。在高海拔条件下,紫花苜蓿的干草产量存在显著的品种间差异,可能与紫花苜蓿品种的休眠级不同有关。研究表明,中度休眠型和非休眠型品种的干草产量普遍优于极休眠型和休眠型的品种^[18]。因此,不同海拔高度需根据环境特征选择适宜品种,以实现产量与适应性的最优平衡^[19]。

3.2 海拔高度对紫花苜蓿营养品质的影响

粗蛋白含量是评价紫花苜蓿营养品质的重要指标,紫花苜蓿的粗蛋白含量存在显著的品种间差异^[20]。研究表明,低海拔地区的紫花苜蓿平均粗蛋白含量高于高海拔地区^[21],针对大麦(*Hordeum vulgare*)的研究表明,大麦

籽粒的粗蛋白含量随着海拔高度的增加呈逐渐下降趋势^[22]。本研究中,海拔高度的降低导致年平均温度逐渐上升和年降水量逐渐减少,而紫花苜蓿粗蛋白含量则呈逐渐增加的趋势。研究表明,在高海拔地区种植豆科牧草,因其生长过程中受到低温、多雨和昼夜温差大等环境因素的影响,将会抑制豆科牧草粗蛋白质的积累^[22]。紫花苜蓿的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量是评价被采食潜力和消化率的国际通用指标^[23]。在不同海拔地区的燕麦(*Avena sativa*)与箭筈豌豆(*Vicia sativa*)混播试验发现,高海拔地区混播牧草的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量高于低海拔地区^[24],本研究结果与前人研究一致。紫花苜蓿的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量随海拔高度降低呈逐渐减少的趋势,中性洗涤纤维与酸性洗涤纤维含量变化趋势基本一致且有显著的正相关关系^[25],研究表明,作物为抵御海拔高度升高带来的逆境胁迫,通过增加叶脉网络中纤维素和半纤维素含量来增强作物的机械防御能力,进而导致了纤维含量的增加^[26]。

本研究发现随海拔高度升高导致紫花苜蓿的全磷、粗灰分和粗脂肪含量均降低,而可溶性糖含量则呈增加的趋势。研究表明,可溶性糖是植物细胞抗寒能力的重要渗透调节物质,植物通过分泌可溶性糖来增强细胞渗透压,减少冰晶形成,从而抵御低温对细胞的伤害^[27]。研究表明,紫花苜蓿的可溶性碳水化合物含量随着休眠等级的增加呈先增加后减小的趋势,且可溶性碳水化合物含量增幅越大,说明该品种的抗寒能力越强^[28]。因此,WL363HQ品种的可溶性糖含量高于阿尔冈金和巨能7品种,这与其较高的休眠级密切相关。磷素是植物生长所必需的营养元素,通过多种代谢途径影响植物的生理和形态^[29]。紫花苜蓿的全磷含量均随海拔高度的下降呈增加的趋势,本研究中,海拔高度降低使平均光照时间增加延长了植物光合作用的时间,平均气温升高缓解了由于低温导致的腺嘌呤核苷三磷酸合成受阻的状况,使紫花苜蓿体内的磷含量增加^[30]。同时,由于气候、土壤养分和田间管理水平等因素的影响,不同品种的紫花苜蓿在干草产量和营养品质上表现出差异。

4 结论

在伊犁河流域不同海拔高度间,不同参试紫花苜蓿品种的干草产量和营养品质存在显著差异($P < 0.05$)。低海拔(500~700 m)有利于紫花苜蓿干草产量和营养品质的形成。紫花苜蓿品种 WL363HQ的干草产量和营养品质在3个海拔高度均表现比较突出,适合在伊犁河流域推广种植。

参考文献 References:

- [1] Ren Y P, Li X S, Zhang L P. Study on foreign alfalfa cultivation technology introduced into new reclamation area of Yili River basin. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(3): 48–51.
任玉平, 李学森, 张丽萍. 伊犁河流域新垦区引进国外紫花苜蓿栽培技术研究. *新疆农业科学*, 2008, 45(3): 48–51.
- [2] Zheng M N, Liang X Z, Han Z S, *et al.* Productivity and nutritional value of 28 alfalfa varieties in the Yanmenguan area of Shanxi Province. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(5): 97–108.
郑敏娜, 梁秀芝, 韩志顺, 等. 不同苜蓿品种在雁门关地区的生产性能和营养价值研究. *草业学报*, 2018, 27(5): 97–108.
- [3] Yi L Z, Li C Z, Liu H Q, *et al.* Adaptation of different alfalfa varieties in Qingdao, Shandong Province. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(2): 147–155.
衣兰智, 李长忠, 刘洪庆, 等. 不同苜蓿品种在青岛地区的适应性. *草业学报*, 2011, 20(2): 147–155.
- [4] Wang Y T, Zhang J G, Yu L P, *et al.* Overwintering and yield responses of two late-summer seeded alfalfa cultivars to phosphate supply. *Agronomy*, 2022, 12(2): 327.
- [5] Francesco B, Valentino C, Paola B, *et al.* Shrub growth and plant diversity along an elevation gradient: evidence of indirect effects of climate on alpine ecosystems. *PLoS One*, 2018, 13(4): e0196653.
- [6] Pan H L, Tian Y, Liu Y L, *et al.* Ecological responses of *Fargesia nitida* to altitude in the Wolong Nature Reserve. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(12): 2832–2839.
潘红丽, 田雨, 刘兴良, 等. 卧龙自然保护区华西箭竹(*Fargesia nitida*)生态学特征随海拔梯度的变化. *生态环境学报*, 2010, 19(12): 2832–2839.
- [7] Zhang J H. Comparative study on yield and other characteristics of alfalfa at different altitude. Yangling: Northwest A&F University, 2007.
张建华. 不同海拔条件下紫花苜蓿产量及其生长特性比较. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.

- [8] Luo W W, Gao C X, Zhang D, *et al.* Effects of environmental factors at different altitudes on leaves and fruit quality of Fuji apple. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(8): 2243–2250.
罗文文, 高琛稀, 张东, 等. 不同海拔环境因子对富士苹果叶片和果实品质的影响. *应用生态学报*, 2014, 25(8): 2243–2250.
- [9] Xi X Y, Li Q, Li C H. Effects of altitude and varieties on overwintering adaptability and cold resistance mechanism of alfalfa roots in the Qinghai–Tibet Plateau. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2023, 103(5): 2446–2458.
- [10] Hosseinirad A, Chaichi R M, Sadeghpour A. Response of alfalfa seed yield and yield components to phosphorus fertilizing systems and seeding rate at semi-saline soil conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 2013, 36(3): 491–502.
- [11] Xu H, He L, Song M Q, *et al.* Comprehensive evaluation of the production performance of eight alfalfa varieties in the arid area of Qaidam. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2024, 42(2): 33–40.
徐航, 何霖, 宋美琪, 等. 8个紫花苜蓿品种在柴达木旱区的生产性能综合评价. *干旱地区农业研究*, 2024, 42(2): 33–40.
- [12] Wang Z P, Yu T F, An H B, *et al.* A comprehensive evaluation of 40 alfalfa varieties in the Horqin region based on yield and overwintering characteristics. *Pratacultural Science*, 2024, 41(3): 664–674.
王志鹏, 于铁峰, 安海波, 等. 基于产量及越冬特性对40个紫花苜蓿品种在科尔沁地区综合评价. *草业科学*, 2024, 41(3): 664–674.
- [13] Zhang L Y. *Feed analysis and quality testing technology*. Beijing: China Agricultural University Press, 2003.
张丽英. *饲料分析与检测技术*. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [14] Olga M, Kristian N A, Halvor S K, *et al.* Quantification of soluble solids and individual sugars in apples by Raman spectroscopy: A feasibility study. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 180: 111620.
- [15] Ding X Q, Liu B Q, Wang J T, *et al.* Comparative study on production performance of 32 alfalfa species. *Feed Research*, 2022, 45(18): 109–113.
丁小琴, 刘佰强, 王金涛, 等. 32种紫花苜蓿生产性能比较研究. *饲料研究*, 2022, 45(18): 109–113.
- [16] Zhang H Y, Liu M J, Wei D D, *et al.* Comparative study on leaf photosynthetic activity of different fall dormancy alfalfa before and after winter. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(4): 983–991.
张浩阳, 刘美君, 卫丹丹, 等. 不同休眠级苜蓿越冬前后叶片光合作用的比较研究. *草地学报*, 2022, 30(4): 983–991.
- [17] Kunrath R T, Lemaire G, Sadras O V, *et al.* Water use efficiency in perennial forage species: Interactions between nitrogen nutrition and water deficit. *Field Crops Research*, 2018, 222: 1–11.
- [18] Liu Y, Wu Q, Ge G, *et al.* Influence of drought stress on alfalfa yields and nutritional composition. *BMC Plant Biology*, 2018, 18(1): 13.
- [19] Chen J. *Comparison on agronomic traits and nutritional value of 20 alfalfa varieties in different soil conditions*. Changchun: Northeast Normal University, 2017.
陈洁. *不同土壤条件下20个紫花苜蓿品种农艺性状及营养价值的比较*. 长春: 东北师范大学, 2017.
- [20] Zhang D, Long H Y. Evaluation of production performance and nutritional value of eight alfalfa varieties in the hot-arid zone. *Chinese Journal of Grassland*, 2024, 46(1): 70–77.
张德, 龙会英. 8个紫花苜蓿品种在干热区生产性能和营养价值评价. *中国草地学报*, 2024, 46(1): 70–77.
- [21] Sun W B, Ma H L, Hou X Y, *et al.* Comprehensive evaluation of production performance and nutritional value of 20 alfalfa cultivars in two ecological areas of Gansu Province. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(3): 161–174.
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. *草业学报*, 2017, 26(3): 161–174.
- [22] Guo M, Yan D, Ma Z K, *et al.* Effects of altitude on the agronomic and qualitative characters of barley. *Barley and Cereal Sciences*, 2017, 34(6): 22–29.
郭铭, 闫栋, 马增科, 等. 不同海拔地区对大麦农艺性状和品质的影响. *大麦与谷类科学*, 2017, 34(6): 22–29.
- [23] Liu T T, Wang S W, Li Q F, *et al.* Ruminal degradation characteristics of whole maize plant material before and after ensiling in beef cattle as determined *in situ* using the nylon bag method. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(1): 159–169.
刘桃桃, 王思伟, 李秋凤, 等. 利用尼龙袋法比较3个全株玉米品种青贮前后肉牛瘤胃降解特性. *草业学报*, 2021, 30(1): 159–169.
- [24] Sun J, Gong L, Lian L, *et al.* Effect of altitude and mixed-sowing ratio on forage production and quality of oat and common vetch. *Pratacultural Science*, 2018, 35(10): 2438–2449.
孙杰, 巩林, 连露, 等. 海拔高度和混播比例对燕麦与箭筈豌豆产草量及质量的影响. *草业科学*, 2018, 35(10): 2438–

2449.

- [25] Sun Y L, Liu X S, Li S Y, *et al.* Comprehensive evaluation of production performance with different fall dormancy rates of alfalfa in Shihezi, Xinjiang. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(5): 1227–1236.
孙延亮, 刘选帅, 李生仪, 等. 新疆石河子地区不同秋眠级紫花苜蓿生产性能的综合评价. *草地学报*, 2022, 30(5): 1227–1236.
- [26] Wang X F, Gao W Q, Liu J F, *et al.* Plant defensive strategies and environment-driven mechanisms. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(12): 3542–3552.
王小菲, 高文强, 刘建锋, 等. 植物防御策略及其环境驱动机制. *生态学杂志*, 2015, 34(12): 3542–3552.
- [27] Wang Y T, Meng D B, Yu L Q, *et al.* Comparison of production performance and cold resistance of 8 alfalfa materials in Hohhot. *Chinese Journal of Grassland*, 2022, 44(6): 60–66.
王运涛, 孟德斌, 于林清, 等. 8个紫花苜蓿材料在呼和浩特地区的抗寒性和生产性能比较. *中国草地学报*, 2022, 44(6): 60–66.
- [28] Zhao J T, Yue Y F, Zhang Q B, *et al.* Relationship between cold resistance of alfalfa, degree of fall-dormancy and snow cover thickness in Northern Xinjiang. *Acta Prataculturae Sinica*, 2022, 31(8): 24–34.
赵建涛, 岳亚飞, 张前兵, 等. 不同秋眠级紫花苜蓿品种抗寒性对新疆北疆地区覆雪厚度的响应. *草业学报*, 2022, 31(8): 24–34.
- [29] Shen J B, Yuan L X, Zhang J L, *et al.* Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiology*, 2011, 156(3): 318–325.
- [30] Arenas-Castro S, Gonçalves F J, Moreno M, *et al.* Projected climate changes are expected to decrease the suitability and production of olive varieties in southern Spain. *Science of the Total Environment*, 2020, 709: 136161.