

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.04.012

引用格式:张金凤,张婷,张运婷,等.晋北黄土旱塬区38个饲用燕麦品种的适应性综合评价[J].草地学报,2026,34(4):1262—1274

ZHANG Jin-feng, ZHANG Ting, ZHANG Yun-ting, et al. Adaptive Comprehensive Evaluation of 38 Forage Oat Varieties in the Northern Shanxi Dryland Loess Plateau[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(4):1262—1274

晋北黄土旱塬区38个饲用燕麦品种的适应性综合评价

张金凤¹, 张婷², 张运婷², 左爱玲³, 杨子森², 侯东来², 赵祥¹, 高鹏^{1*}

(1. 山西农业大学草业学院/农业农村部饲草高效生产模式创新重点实验室/草地生态保护与乡土草种质创新山西省重点实验室, 山西 太谷 030801; 2. 山西省畜牧技术推广服务中心, 山西 太原 030031; 3. 山西省畜牧兽医学校, 山西 太原 030024)

摘要: 山西省北部黄土旱塬区是我国重要燕麦产区,但因降水不足、适宜品种缺乏,饲草效益偏低。为筛选优质高产饲用燕麦品种,本研究引进并评估38个国产及进口主推品种,综合分析其生育期、农艺性状、产量及营养品质。结果表明:生育期87~127 d,极晚熟品种占多数(21个),早熟仅3个;‘牧乐思’和‘甜燕3号’鲜草与干草产量最高(分别达 27.1×10^3 和 $23.5 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 鲜草, 11.7×10^3 和 $11.5 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 干草);‘梦龙’等5个品种可溶性糖含量最高(16.4%~18.1%),‘苏特’等3个粗蛋白含量最高(8.7%~8.8%);17个品种相对饲喂价值(R)达113.7~126.1,属优质饲草。按《燕麦干草质量分级》标准,13个为A型草,9个为B型草(均为三级)。综合表现最优的‘牧乐思’‘梦龙’‘甜燕3号’‘加燕2号’和‘美达’建议在晋北旱塬区优先推广。

关键词: 燕麦;生育期;生产性能;营养品质;聚类分析;隶属函数

中图分类号:S544.9

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)04-1262-13

Adaptive Comprehensive Evaluation of 38 Forage Oat Varieties in the Northern Shanxi Dryland Loess Plateau

ZHANG Jin-feng¹, ZHANG Ting², ZHANG Yun-ting², ZUO Ai-ling³, YANG Zi-sen², HOU Dong-lai², ZHAO Xiang¹, GAO Peng^{1*}

(1. College of Grassland Science, Shanxi Agricultural University / Key Laboratory for Model Innovation in Forage Production Efficiency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Shanxi Key Laboratory of Grassland Ecological Protection and Native Grass Germplasm Innovation, Taiyuan, Shanxi Province 030801, China; 2. Center of Animal Husbandry Technology Extension Service on Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi Province 030031, China; 3. Shanxi Vocational College of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Taiyuan, Shanxi Province 030024, China)

Abstract: Though the Loess Plateau dryland region in northern Shanxi is a key oat-producing area in China, its forage productivity remains low due to limited rainfall and a lack of suitable oat varieties. To identify high-quality, high-yield forage oat (*Avena sativa*) cultivars, we evaluated 38 widely promoted domestic and imported varieties, assessing their growth periods, agronomic traits, yields, and nutritional quality. The results showed that there was significant variation in maturity time (86-127 days), with late-maturing types predominating (21/38). ‘Molasses’ and ‘Tianyan No. 3’ achieved the highest fresh ($27\ 100$ and $23\ 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) and dry forage yields ($11\ 700$ and $11\ 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$). Five cultivars-including ‘Magnum’-had the highest soluble sugar content (16.4%-18.1%), while ‘Shooter’ ‘Longyan No. 2’ and ‘Longyan No. 1’ had the greatest crude protein content (8.7%-8.8%). Seventeen varieties exhibited premium forage quality, with Relative Forage Value values

收稿日期:2025-10-30;修回日期:2025-12-14

基金项目:山西农业大学科技创新基金(2018YJ37);山西省现代农业产业技术体系建设专项资金(2025MC-02-01)资助

作者简介:张金凤(1999-),女,汉族,陕西汉中,硕士研究生,主要从事牧草抗病育种研究,E-mail:2656954568@qq.com;*通信作者 Author for correspondence, E-mail:zyjt_721@163.com

of 113.7-126.1. Based on the “Quality Classification of Oat Hay” standard, 13 cultivars were classified as Type A hay and 9 as Type B (all Grade III). Overall, ‘Molasses’ ‘Magnum’ ‘Tianyan No. 3’ ‘Jiayan No. 2,’ and ‘Monida’ demonstrated superior performance and are recommended for priority adoption in eastern dryland areas of northern Shanxi’s Loess Plateau.

Key words: Oat (*Avena sativa*); Growth period; Production performance; Nutritional quality; Cluster analysis; Membership function

燕麦(*Avena sativa*)作为全球广泛栽培的一年生粮饲兼用作物,根据籽粒结构可分为皮燕麦和裸燕麦两类^[1]。其地上部分营养丰富、适口性好,是仅次于饲用玉米和紫花苜蓿的第三大饲草作物,在反刍动物日粮中具有重要地位^[2]。其中,皮燕麦多作饲用,主要分布于我国青藏高原^[3]、河西走廊^[4]及内蒙古中西部等高寒干旱区^[5]。山西省北部(晋北)黄土高原地区不仅是世界裸燕麦起源中心,也是我国裸燕麦传统种植区^[6]。近年来,随着“退耕还草”“粮改饲”等国家政策深入推进,饲用燕麦种植面积持续扩大,成为雁门关农牧交错带草牧业发展的关键饲草作物,并在黄河流域生态保护与高质量发展战略中扮演着重要角色^[7]。

然而,晋北黄土旱塬区属典型雨养农业区,降水时空分布不均、土壤贫瘠,干旱频发,对饲草作物的抗逆性与资源利用效率提出更高要求^[8]。选育或引进适宜当地生态条件的高产、优质、抗逆饲用燕麦品种,是提升草地产出效益、推动草牧业高质量发展的核心路径^[9]。目前,针对黄土高原中部旱塬区(如甘肃环县^[10]、定西^[11]、宁夏盐池^[12])已开展多项饲用燕麦品种适应性评价,但对东部晋北地区的系统研究仍显不足。现有研究多集中于灌溉条件下的平原区域^[13-14],且供试品种数量有限,以国外引进种为主,难以全面反映当前主推品种在晋北典型旱作条件下的实际表现。

饲用燕麦品种的综合评价通常涵盖形态学指标

(如株高、茎粗、分蘖)、产量性状(鲜草与干草产量)及营养品质(粗蛋白、可溶性糖、相对饲喂价值等)^[15]。近年来,灰色关联分析^[16]、隶属函数法^[17]等多指标综合评价方法被广泛应用于品种筛选,显著提升了评价的科学性与实用性。与此同时,随着商品化燕麦草产业快速发展,干草质量分级已成为影响市场定价与经济效益的关键环节。然而,将产品、品质与质量分级体系相结合的系统性研究,在晋北黄土旱塬区尚属空白。

鉴于此,本研究立足晋北黄土高原东部典型旱塬生态条件,系统引入当前国内主推的 38 个国产与进口饲用燕麦品种,通过对其生育期、农艺性状、产量表现、营养品质及干草质量等级的综合评价,旨在筛选出高产、优质、抗逆且具市场竞争力的适宜品种,为黄土高原农牧交错带饲草产业布局优化及草地农业可持续发展提供科学依据与品种支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究地点位于山西省朔州市平鲁区双碾乡的燕麦种植基地(112.13°E, 39.64°N),属黄土高原东部旱塬区,海拔 1636 m。该区域是典型的温带半干旱大陆性季风气候,年平均气温为 5.5℃,年均降水量约为 400 mm,且大部分降水发生在 6 月至 9 月。试验地土壤的基本理化性质参见表 1。

表 1 试验地的土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the soil at the experimental site

土层深度 Soil depth/cm	速效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)	pH	速效氮 Available N/(mg·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter/(g·kg ⁻¹)	含盐量 TDS/(g·kg ⁻¹)
0~20	19.31	82.65	7.53	153.60	9.04	0.52

1.2 试验材料

38 个供试饲用燕麦品种中,进口品种 27 个,均在美国和加拿大登记注册,其他均为国产品种。‘陇燕 3 号’‘青引 2 号’‘速瑞’(Souris)‘英迪米特’(Intimidator)‘苏特’(Shooter)‘黑玫克’(Haymaker)和‘爱沃’(Everleaf 126)为全国草品种审定委员会审定品种,品种名称及来源见表 2。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,每个品种设置 3 个重复,每个小区面积 3 m×5 m,周围设置 1 m 保护行。播种前精细整地,按 1000 kg·hm⁻²施用复合肥[CH₄N₂O:(NH₄)₂HPO₄:(NH₄)₃PO₄=13:10:10]作为基肥。2023 年 6 月 26 日人工开沟并进行条播,行距 15 cm,播深 3~5 cm,播种量 110 kg·hm⁻²。在

表 2 供试燕麦品种信息

Table 2 List of oat varieties tested

代码 Code	品种 Varieties	来源 Sources	代码 Code	品种 Varieties	来源 Sources
OV1	青甜 2 号 Qingtian No.2	中国 China	OV20	陇燕 2 号 Longyan No. 2	中国 China
OV2	梦龙 Magnum	澳大利亚 Australia	OV21	陇燕 3 号 Longyan No. 3	中国 China
OV3	摩登 Modern	美国 America	OV22	陇燕 1 号 Longyan No. 1	中国 China
OV4	青引 2 号 Qingyin No.2	中国 China	OV23	美达 Monida	美国 America
OV5	凯撒 Caesar	加拿大 Canada	OV24	福瑞至 Forage Plus	美国 America
OV6	速锐 Souris	加拿大 Canada	OV25	苏特 Shooter	美国 America
OV7	科纳 Kona	美国 America	OV26	黑玫克 Haymaker	加拿大 Canada
OV8	定燕 2 号 Dingyan No.2	中国 China	OV27	加燕 2 号 Jiayan No. 2	加拿大 Canada
OV9	青海甜燕麦 Qinghai sweet oat	中国 China	OV28	矮马 Cayuse	美国 America
OV10	英迪米特 Intimidator	美国 America	OV29	青甜 1 号 Qingtian No. 1	中国 China
OV11	猛士 1 号 Mengshi No.1	美国 America	OV30	林纳 Lena	中国 China
OV12	甜燕 70 Tianyan No.70	加拿大 Canada	OV31	爱沃 Everleaf 126	美国 America
OV13	甜燕 2 号 Tianyan No.2	加拿大 Canada	OV32	福星 Fuxing	美国 America
OV14	甜燕 3 号 Tianyan No.3	加拿大 Canada	OV33	楷模 Model	加拿大 Canada
OV15	理查德 Richard	加拿大 Canada	OV34	萨摩 Satsuma	加拿大 Canada
OV16	牧乐思 Molasses	加拿大 Canada	OV35	贝勒 Baler	加拿大 Canada
OV17	白燕 7 号 Baiyan No.7	中国 China	OV36	青海 444 Qinghai 444	中国 China
OV18	牧思特 Mustang	加拿大 Canada	OV37	奈尔森 Nelson	加拿大 Canada
OV19	大瀑布 Niagara	加拿大 Canada	OV38	挑战者 Challengers	加拿大 Canada

拔节期和灌浆期分别追施 $80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的磷酸二铵, 苗期、拔节期进行人工除草。

1.4 测定指标

物候期: 播种后每日进行田间观测, 记录不同饲用燕麦品种的生育期, 出苗期、分蘖期、抽穗期、灌浆期和乳熟期为燕麦播种后全小区 50% 以上的植株达到某一生育阶段的日期, 完熟期为燕麦品种 80% 以上的植株穗子枯黄, 其籽粒进入蜡熟时的日期^[18]。参考田长叶的五分法^[19]并结合生产中饲用燕麦常用的熟性划分方法, 将生育期划分为极早熟 ($\leq 85 \text{ d}$)、早熟 ($86 \sim 95 \text{ d}$)、中熟 ($96 \sim 105 \text{ d}$)、晚熟 ($105 \sim 115 \text{ d}$) 和极晚熟 ($\geq 116 \text{ d}$) 五种熟性。

生产性能: 在灌浆—乳熟期, 每个小区随机选取 10 株燕麦, 用卷尺测定每株的绝对高度, 为株高; 用游标卡尺测定每株主茎地上第二节间的粗度, 为茎粗; 记录刈割后每株的总叶片数和分蘖数。在距小区边缘 30 cm 的区域, 沿对角线方向设置 2 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的标准样方, 齐地面刈割后立即称量鲜草重量; 将 2 个样方的植株混匀后, 称取约 500 g 装入尼龙网袋, 自然风干 1 周后称量干草重量, 计算单位面积干草产量; 风干样品带回实验室, 将茎、叶、穗分离, 置于烘箱中 75°C 烘干至恒重, 分别称量茎、叶、穗干重, 计算茎叶比。

营养品质: 将茎叶穗样品混合后, 用超纯水清洗

3 次, 75°C 烘干水分至恒重。使用研磨机粉碎后过 60 目筛, 留取 50 g 置于干燥皿中保存, 用于营养成分的测定。采用“凯氏定氮法”^[20]测定粗蛋白 (Crude protein, CP) 含量, 采用“索氏抽提法”^[21]测定粗脂肪 (Ether extract, EE) 含量, 采用“VanSoest 法”^[22]测定中性洗涤纤维 (Neutral detergent fibre, NDF) 和酸性洗涤纤维 (Acid detergent fibre, ADF) 含量, 采用“高温灼烧法”^[23]测定粗灰分 (Crude ash, Ash) 含量, 采用“蒽酮比色法”^[24]测定可溶性糖 (Water soluble carbohydrate, WSC) 含量。并进行相对饲喂价值 (Relative feed value, RFV) 评价, 计算公式^[25]如下:

$$R = D \times I / 1.29$$

式中, R 表示相对饲喂价值, $I = 120/N$, I 表示每千克体重动物的干物质采食量, N 表示中性洗涤纤维含量; $D = 88.9 - 0.779A$, D 表示可消化性干物质, A 表示酸性洗涤纤维含量。

按照《燕麦干草质量分级》^[26]标准将饲用燕麦品种分为 A 型草和 B 型草, 并进行质量等级划分。

1.5 综合评价

利用隶属函数法对供试饲用燕麦品种的生产性能和营养成分进行综合评价, 求出不同品种燕麦的隶属值 (μ_{in}) 和综合得分 (D_n), 隶属函数计算公式如下^[27]:

$$\mu_{in} = (X_{in} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin})$$

$$\omega_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^P \lambda_i$$

$$D_n = \sum_{i=1}^P (\omega_i \times \mu_{in})$$

式中, μ_{in} 为第 n 个品种的第 i 个主成分得分值的隶属值; X_{in} 为第 n 个品种的第 i 个主成分的得分值; X_{omin} 为所有品种的第 i 个主成分的最小值; X_{imax} 为所有品种的第 i 个主成分的最大值。 ω_i 为第 i 个主成分的权重; λ_i 为第 i 个主成分的贡献率; P 为提取的主成分数目。 D_n 为第 n 个品种的综合得分; ω_i 为第 i 个主成分的权重; μ_{in} 为第 n 个品种的第 i 个主成分得分值的隶属值。

1.6 数据统计与分析

使用最小显著差数(LSD)法对不同品种的生产性能和营养指标进行单因素方差分析,差异显著水平设为 $\alpha=0.05$ 。采用Pearson相关分析对生产性能指标与营养品质指标之间的相关性进行分析。利用SPSS Statistic 25.0对38个燕麦的生产性能和营养品质指标进行系统聚类分析并绘制谱系图,根据分类结果对不同类别再进行单因素方差分析,平方欧氏距离设置为15。通过SPSS Statistic 25.0对产量和营养指标进行标准化处理,并进行主成分分析,得到因子得分以及载荷值,再利用Excel 2016进行隶属函数计算。

2 结果与分析

2.1 不同饲用燕麦品种的生育期

如表3所示,38个饲用燕麦品种在山西北部黄土旱塬区均能完成生育周期,生育期范围为87~127 d,其中‘青海444’生育期最短,为87 d,‘定燕2号’生育期最长,为127 d。38个饲用燕麦品种中,极晚熟品种最多,有21个,晚熟品种有9个,中熟品种有5个,早熟品种有3个。

2.2 不同饲用燕麦品种的生产性能指标比较

如表4所示,38个饲用燕麦品种的分蘖数为0~2个,茎粗为3.09~5.04 mm,叶片数为3~6片,株高为65.9~98.4 cm,鲜草产量为 $12.1 \times 10^3 \sim 27.1 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,干草产量为 $4.7 \times 10^3 \sim 11.7 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,茎叶比为0.99~1.57,穗比重为0.28~0.50。

方差分析结果表明,除分蘖数和茎粗外,其余6项生产性状指标在38个供试品种间均达极显著差异

水平($P<0.001$),表明供试品种在农艺与产量性状上具有丰富的遗传变异,为区域适应性筛选提供了重要基础。在茎秆性状方面,‘陇燕3号’茎粗最大,达5.04 mm,显著高于茎粗最小的‘矮马’(3.09 mm, $P<0.05$)。叶片数以‘理查德’‘牧乐思’和‘黑玫克’最多,均为6片,显著高于‘林纳’和‘楷模’(均为3片, $P<0.05$),反映出不同品种在光合器官构建上的显著分化。株高表现差异尤为突出。‘甜燕3号’(98.4 cm)‘英迪米特’(97.9 cm)‘定燕2号’(97 cm)‘苏特’(94.3 cm)‘贝勒’(94.2 cm)‘加燕2号’(93.6 cm)‘牧乐思’(93 cm)和‘黑玫克’(92.9 cm)等8个品种株高显著高于‘爱沃’‘福星’‘猛士1号’等7个矮秆品种株高(65.9~73.3 cm, $P<0.05$),后者可能更适用于抗倒伏或机械化收获场景。

产量性状方面,‘牧乐思’鲜草产量最高($27.1 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),其次为‘甜燕3号’($23.5 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),二者均显著高于‘楷模’‘青海444’‘甜燕2号’等8个低产品种($12.1 \times 10^3 \sim 15.6 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $P<0.05$)。干草产量趋势一致,最高的品种是‘牧乐思’($11.7 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和‘甜燕3号’($11.5 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)同样居于前两位,显著高于‘楷模’‘青海444’‘科纳’等5个品种($4.7 \times 10^3 \sim 5.8 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $P<0.05$),表明前者在晋北旱作条件下具备突出的生物量积累能力。结构比例性状亦呈现显著分化。‘定燕2号’茎叶比最高(1.57),显著高于包括‘黑玫克’在内的23个品种(茎叶比为0.99~1.14),提示其茎秆占比偏高,可能影响饲草适口性与消化率。穗比重方面,‘楷模’‘矮马’‘甜燕2号’等14个品种穗比重较高(0.45~0.50),显著高于‘英迪米特’(0.28)‘定燕2号’(0.31)‘爱沃’(0.32)‘梦龙’(0.32)和‘理查德’(0.33)等5个品种($P<0.05$),反映前者生殖生长投入更大,而后者营养生长优势更为明显。

2.3 不同饲用燕麦品种的营养品质及干草质量分级

如表5所示,38个饲用燕麦品种的可溶性糖含量为8.2%~18.1%,粗蛋白含量为6.7%~8.8%,粗脂肪含量为1.4%~2.8%,粗灰分含量为3.8%~6.0%,酸性洗涤纤维含量为26.1%~35.7%,中性洗涤纤维含量为49.0%~62.4%,相对饲喂价值为93.8~126.1。

方差分析结果表明,除粗脂肪外,其余5个营养

表 3 38 个饲用燕麦品种的物候期
Table 3 Phenological stages of 38 oat varieties

编号 Number	出苗期 Emergence date	分蘖期 Tillering stage	抽穗期 Heading stage	灌浆期 Grain filling stage	乳熟期 Milky stage	完熟期 Physiological maturity	生育期 Growing period/d	熟性 Maturity type
OV1	7月15日	7月26日	8月24日	9月1日	10月5日	10月17日	113	晚熟 Late maturing
OV2	7月13日	7月22日	9月3日	9月24日	10月9日	10月28日	124	极晚熟 Very late maturing
OV3	7月10日	7月24日	8月24日	9月3日	9月28日	10月7日	103	中熟 Medium maturing
OV4	7月10日	7月21日	8月22日	8月31日	9月15日	10月1日	97	中熟 Medium maturing
OV5	7月15日	7月24日	9月3日	9月21日	10月8日	10月25日	121	极晚熟 Very late maturing
OV6	7月13日	7月24日	8月18日	8月28日	9月14日	9月29日	95	早熟 Early maturing
OV7	7月10日	7月24日	8月26日	9月3日	9月26日	10月21日	117	极晚熟 Very late maturing
OV8	7月15日	7月24日	9月2日	10月7日	10月19日	10月31日	127	极晚熟 Very late maturing
OV9	7月15日	7月26日	8月26日	9月3日	10月7日	10月21日	117	极晚熟 Very late maturing
OV10	7月13日	7月26日	8月27日	9月7日	10月19日	10月25日	121	极晚熟 Very late maturing
OV11	7月15日	7月24日	8月24日	8月31日	9月26日	10月9日	105	中熟 Medium maturing
OV12	7月13日	7月24日	8月26日	9月1日	10月5日	10月20日	116	极晚熟 Very late maturing
OV13	7月15日	7月24日	8月24日	8月30日	10月5日	10月19日	115	晚熟 Late maturing
OV14	7月15日	7月24日	9月6日	10月3日	10月19日	10月25日	121	极晚熟 Very late maturing
OV15	7月15日	7月24日	9月5日	9月24日	10月9日	10月21日	117	极晚熟 Very late maturing
OV16	7月15日	7月24日	9月3日	10月2日	10月18日	10月29日	125	极晚熟 Very late maturing
OV17	7月15日	7月24日	8月24日	8月30日	9月25日	10月10日	106	晚熟 Late maturing
OV18	7月15日	7月24日	8月27日	9月15日	10月5日	10月21日	117	极晚熟 Very late maturing
OV19	7月10日	7月24日	8月24日	8月31日	9月26日	10月9日	105	中熟 Medium maturing
OV20	7月15日	7月24日	8月26日	8月31日	9月26日	10月11日	107	晚熟 Late maturing
OV21	7月10日	7月24日	8月26日	9月3日	10月7日	10月20日	116	极晚熟 Very late maturing
OV22	7月13日	7月23日	8月24日	8月29日	9月30日	10月13日	109	晚熟 Late maturing
OV23	7月13日	7月24日	8月24日	8月30日	9月28日	10月10日	106	晚熟 Late maturing
OV24	7月15日	7月24日	9月3日	9月8日	10月4日	10月22日	118	极晚熟 Very late maturing
OV25	7月15日	7月24日	8月27日	9月9日	10月3日	10月20日	116	极晚熟 Very late maturing
OV26	7月13日	7月22日	8月26日	9月14日	10月9日	10月22日	118	极晚熟 Very late maturing
OV27	7月17日	7月24日	8月27日	9月3日	10月5日	10月24日	120	极晚熟 Very late maturing
OV28	7月15日	7月24日	8月20日	8月30日	9月14日	9月28日	94	早熟 Early maturing
OV29	7月15日	7月24日	8月26日	9月3日	10月4日	10月21日	117	极晚熟 Very late maturing
OV30	7月15日	7月24日	8月20日	8月29日	9月28日	10月15日	111	晚熟 Late maturing
OV31	7月10日	7月24日	9月7日	10月2日	10月18日	10月28日	124	极晚熟 Very late maturing
OV32	7月15日	7月24日	9月7日	10月3日	10月18日	10月28日	124	极晚熟 Very late maturing
OV33	7月15日	7月24日	8月22日	8月31日	9月24日	10月7日	103	中熟 Medium maturing
OV34	7月15日	7月23日	8月22日	8月29日	9月28日	10月13日	109	晚熟 Late maturing
OV35	7月15日	7月26日	9月3日	9月17日	10月8日	10月21日	117	极晚熟 Very late maturing
OV36	7月13日	7月22日	8月15日	8月28日	9月7日	9月21日	87	早熟 Early maturing
OV37	7月17日	7月26日	8月26日	9月3日	10月9日	10月20日	116	极晚熟 Very late maturing
OV38	7月15日	7月22日	8月22日	9月3日	9月22日	10月16日	112	晚熟 Late maturing

指标在 38 个供试品种间均达显著差异水平 ($P < 0.05$), 这表明供试品种在营养品质上存在丰富的遗传变异, 为优良品种选育提供了重要依据。在能量指标可溶性糖含量方面, ‘梦龙’ ‘福星’ ‘爱沃’ ‘美达’ 和 ‘青海甜燕麦’ 表现最佳, 分别达到 18.1%, 17.0%, 16.8%, 16.7% 和 16.4%, 显著高于最低的 ‘萨摩’ ‘科纳’ ‘青引 2 号’ 等 10 个品种 (8.2%~10.4%, $P < 0.05$), 这表明部分品种在能量供给上具有明显优势。粗蛋白含量反映了牧草

中结构与功能型营养素的供给水平, ‘苏特’ ‘陇燕 2 号’ 及 ‘陇燕 1 号’ 的粗蛋白含量最高, 分别为 8.8%, 8.7% 和 8.7%, 显著高于最低的 ‘定燕 2 号’ (6.7%, $P < 0.05$), 粗蛋白含高的品种可作为高产奶牛、育肥牛羊和种畜日粮中的优质蛋白来源。粗灰分是牧草中矿物质含量的粗略估计, ‘福瑞至’ ‘萨摩’ 和 ‘陇燕 2 号’ 的粗灰分最高, 分别为 6.0%, 5.8% 和 5.5%, 显著高于最低的 ‘定燕 2 号’ (3.8%, $P < 0.05$)。

表 4 38 个燕麦品种的生产性能指标

Table 4 Production performance traits of 38 oat varieties

品种 Varieties	分蘖数 Number of tillers/个	茎粗 Stem thickness/mm	叶片数 Number of leaves/片	株高 Plant height/cm	鲜草产量 Fresh forage yield/ ($\times 10^3\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	干草产量 Dry forage yield/ ($\times 10^3\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	茎叶比 Stem-to-leaf ratio	穗比重 Panicle biomass proportion
OV1	1	3.62	5	84.7	18.2	7.6	1.14	0.44
OV2	2	4.07	5	84.9	21.3	9.6	1.06	0.32
OV3	1	3.95	4	78.1	15.4	6.3	1.14	0.48
OV4	1	3.54	4	78.7	17.8	6.4	1.14	0.44
OV5	1	4.26	5	86.5	18.7	7.2	1.21	0.37
OV6	1	3.35	5	77.1	15.4	5.8	1.12	0.47
OV7	1	3.29	5	72.0	16.1	5.6	1.07	0.43
OV8	1	3.33	5	97.0	19.9	9.1	1.57	0.31
OV9	1	4.25	5	79.5	17.5	8.1	1.28	0.40
OV10	1	3.26	4	97.9	22.4	9.4	1.35	0.28
OV11	1	3.48	4	69.8	17.5	6.9	1.10	0.47
OV12	0	3.80	5	75.1	16.9	7.0	1.11	0.45
OV13	1	3.48	4	84.3	14.4	5.7	1.11	0.48
OV14	2	4.32	5	98.4	23.5	11.5	1.20	0.36
OV15	1	3.92	6	89.7	18.5	6.6	1.16	0.33
OV16	2	4.05	6	93.0	27.1	11.7	1.10	0.35
OV17	2	4.02	4	89.5	19.3	7.1	1.08	0.47
OV18	1	4.42	5	82.8	18.5	7.2	1.09	0.35
OV19	1	3.50	5	85.0	16.8	7.0	1.01	0.45
OV20	1	3.69	5	88.7	22.1	7.8	1.08	0.39
OV21	1	5.04	5	85.0	18.2	7.2	1.29	0.43
OV22	1	3.78	5	88.7	15.6	6.0	1.13	0.45
OV23	2	3.33	5	70.3	15.4	6.1	1.34	0.39
OV24	0	4.40	5	79.0	18.2	6.8	1.04	0.38
OV25	2	3.36	5	94.3	14.9	6.3	1.20	0.40
OV26	1	4.30	6	92.9	18.3	7.5	0.99	0.40
OV27	1	4.81	5	93.6	20.7	8.0	1.14	0.44
OV28	1	3.09	4	78.2	19.9	7.3	1.23	0.49
OV29	1	3.95	5	85.8	19.2	7.9	1.11	0.44
OV30	1	3.40	3	73.3	17.1	6.3	1.07	0.46
OV31	1	3.90	5	65.9	20.8	7.9	1.19	0.32
OV32	1	4.36	5	68.6	23.1	9.0	1.21	0.36
OV33	1	3.43	3	70.3	12.1	4.7	1.33	0.50
OV34	2	3.39	5	77.1	18.1	6.1	1.13	0.48
OV35	2	4.52	5	94.2	16.0	6.2	1.20	0.39
OV36	0	4.45	4	85.8	12.2	4.7	1.09	0.44
OV37	1	3.73	4	81.8	16.3	6.7	1.19	0.48
OV38	2	3.77	5	81.4	16.9	6.5	1.14	0.47
F	1.470	1.443	5.575	10.590	5.225	9.575	3.512	8.21
P	0.079	0.089	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
LSD $\alpha=0.05$	0.963	1.117	0.731	7.597	3.744	1.360	0.163	0.058

供试品种之间纤维组分呈显著分化。酸性洗涤纤维在饲料中的含量越高,反刍动物的消化率与可利用能量就越低,‘贝勒’‘青海 444’‘科纳’及‘楷模’的酸性洗涤纤维含量占据前列,分别为 35.7%,34.0%,33.4% 和 33.3%,显著高于最低的‘美达’与‘林纳’(分别为 26.1% 和 27.3%, $P<0.05$)。中性洗涤纤维是限制反刍动物干物质采食量的主要因素,其含量越高,采食率越低,中性洗涤纤维含量最高的包括‘萨摩’‘青海 444’‘楷模’等 11 个品种(62.4%~57.1%),显著高于‘加燕 2 号’‘摩登’‘青

甜 1 号’等 18 个品种(54.3%~49.0%, $P<0.05$)。相对饲喂价值由酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维计算而来,相对饲喂价值最高的品种有‘加燕 2 号’‘美达’‘梦龙’等 17 个,其范围为 113.7~126.1,显著高于‘青海 444’‘楷模’‘贝勒’等 13 个品种(93.8~106.3, $P<0.05$),这反映出前者作为饲草的消化率较高,采食潜力更大。

根据《燕麦干草质量分级》标准,‘美达’‘黑玫克’‘苏特’等 13 个品种为 A 型草,可作为生产型家畜的蛋白供给草种;‘梦龙’‘定燕 2 号’‘青海甜燕

麦‘美达’‘爱沃’等9个品种为B型草,可用于犍牛和围产期奶牛的补饲草种。上述品种的干草质量分级均为三级,反映出草产品质量尚有较大的提升空间。

表5 38个燕麦品种的营养品质指标及干草质量分级

Table 5 Nutritional quality indicators of 38 oat varieties

品种 Varieties	可溶性糖 WSC/%	粗蛋白 CP/%	粗脂肪 EE/%	酸性洗涤纤维 ADF/%	中性洗涤纤维 NDF/%	粗灰分 Ash/%	相对饲喂价值 RFV	干草质量分级 Hay quality classes
OV1	14.9	7.2	2.6	31.0	52.7	5.3	114.8	———
OV2	18.1	7.9	2.2	28.2	50.2	4.9	124.1	三级B型草
OV3	14.2	7.9	2.2	30.3	49.6	4.8	122.5	———
OV4	9.4	7.8	2.1	32.5	58.5	5.2	101.3	———
OV5	12.6	7.6	1.7	31.7	56.2	5.3	106.3	———
OV6	10.3	7.7	2.0	31.8	59.8	5.3	99.9	———
OV7	8.3	7.7	2.1	33.4	57.5	5.3	101.7	———
OV8	15.3	6.7	2.2	31.4	52.5	3.8	114.1	三级B型草
OV9	16.4	7.8	1.9	29.7	51.0	5.2	119.9	三级B型草
OV10	15.3	6.9	1.8	31.5	53.7	4.4	111.4	三级B型草
OV11	11.4	8.4	2.3	30.4	54.9	5.1	111.2	三级A型草
OV12	10.4	8.2	2.7	28.2	52.8	5.4	119.2	三级A型草
OV13	12.6	7.7	2.2	28.9	51.6	4.8	119.7	———
OV14	15.6	6.9	1.9	28.5	51.7	4.3	120.1	三级B型草
OV15	12.6	7.9	2.4	31.7	57.1	5.3	104.7	———
OV16	14.8	7.6	1.4	28.8	52.6	4.7	117.6	———
OV17	9.6	8.5	1.9	29.0	52.5	5.5	117.7	三级A型草
OV18	13.0	7.9	2.1	31.8	51.2	5.1	117.9	———
OV19	15.4	8.1	2.2	31.2	55.5	5.1	108.9	三级A、B型草
OV20	11.2	8.7	1.7	32.8	56.4	5.5	104.6	三级A型草
OV21	9.9	7.6	2.2	30.6	54.3	5.0	112.0	———
OV22	11.3	8.6	2.4	29.1	54.8	4.8	113.7	三级A型草
OV23	16.7	8.2	2.8	26.1	51.7	4.9	124.1	三级A、B型草
OV24	10.9	8.5	2.3	29.7	52.6	6.0	116.4	三级A型草
OV25	10.4	8.8	2.3	31.0	55.9	5.2	108.1	三级A型草
OV26	12.8	7.9	2.0	30.2	57.5	4.9	106.1	———
OV27	14.7	7.6	1.9	30.5	49.0	5.3	126.1	———
OV28	10.3	8.2	2.6	31.0	56.0	5.0	107.7	三级A型草
OV29	14.1	7.8	2.1	29.8	49.9	4.9	123.1	———
OV30	12.3	8.6	2.3	27.3	52.3	5.1	120.6	三级A型草
OV31	16.8	7.6	1.3	32.3	55.0	4.7	108.0	三级B型草
OV32	17.0	7.4	1.5	30.9	57.2	5.0	105.7	三级B型草
OV33	11.7	8.0	1.9	33.3	61.2	5.2	95.6	三级A型草
OV34	8.2	8.2	1.8	29.4	62.4	5.7	98.4	三级A型草
OV35	12.1	7.9	2.5	35.7	58.2	5.2	97.6	———
OV36	10.4	7.7	2.0	34.0	61.9	4.9	93.8	———
OV37	14.1	7.5	1.9	28.9	55.3	5.4	111.8	———
OV38	13.4	8.4	2.1	30.5	58.4	5.3	104.0	三级A型草
F	8.516	1.654	1.212	7.159	3.021	5.395	3.376	———
P	0.000	0.033	0.238	0.000	0.000	0.000	0.000	———
LSD $\alpha=0.05$	2.486	1.103	0.845	2.027	5.623	0.463	13.454	———

2.4 不同饲用燕麦品种的生产性能与产量和营养品质的相关性

如表6所示,鲜草产量与叶片数呈极显著正相关($r=0.413, P<0.01$),与穗比重呈极显著负相关($r=-0.592, P<0.01$)。干草产量与叶片数呈显著正相关($r=0.400, P<0.05$),与株高呈极显著正相关($r=0.424, P<0.01$),与穗比重呈极显著负相关($r=-0.625, P<0.01$),营养生长的强弱是决定

干草高产的关键因素,为高产牧草品种选育及刈割时机调控提供了重要理论依据。可溶性糖与穗比重呈极显著负相关($r=-0.526, P<0.01$)。粗蛋白与穗比重呈极显著正相关($r=0.435, P<0.01$),与茎叶比呈极显著负相关($r=-0.48, P<0.01$),这表明,生殖生长显著影响牧草的营养品质,因此需科学调控刈割时期,在高产与高质之间实现最优平衡。

表 6 生产性能指标与营养品质指标的相关系数
Table 6 Correlation between oat yield and quality traits

项目 Item	分蘖数 Number of tillers	茎粗 Stem thickness	叶片数 Number of leaves	株高 Plant height	穗比重 Panicle biomass proportion	茎叶比 Stem-to-leaf ratio
鲜草产量 Fresh forage yield	0.263	0.212	0.413**	0.310	-0.592**	0.031
干草产量 Dry forage yield	0.296	0.236	0.400*	0.424**	-0.625**	0.150
可溶性糖 WSC	0.192	0.157	0.205	0.084	-0.526**	0.265
粗蛋白 CP	0.070	-0.157	-0.124	-0.276	0.435**	-0.483**

注:*和**表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关
Note: * and ** means the significant correlation at 0.05 and 0.01 level. respectively

2.5 不同饲用燕麦品种的聚类分析

如图 1 所示,将 38 个燕麦品种分为 4 类。第 I 类为‘理查德’‘陇燕 2 号’‘凯撒’‘苏特’‘黑攻克’‘大瀑布’‘奈尔森’‘矮马’‘挑战者’‘贝勒’和‘青海 444’一共 11 个品种。第 II 类为‘爱沃’‘福星’‘猛士 1 号’‘青引 2 号’‘速瑞’‘萨摩’‘科纳’和‘楷模’一共 8 个品种。第 III 类为‘定燕 2 号’‘英迪米特’‘甜燕 3 号’‘牧乐思’和‘加燕 2 号’一共 5 个品种。第 IV 类为‘甜燕 70’‘林纳’‘美达’‘陇燕 3 号’‘陇燕 1 号’‘白燕 7 号’‘梦龙’‘青甜 1 号’‘摩登’‘青海甜燕麦’‘甜燕 2 号’‘牧思特’‘青甜 2 号’和‘福瑞至’一共 14 个品种。

如表 7 所示,对四类饲用燕麦品种分别进行归类统计和显著性分析,第 I 类品种除株高显著高于第 II 和第 IV 组外($P<0.05$),其余各项指标均居中,为均衡组。第 II 类品种株高显著低于其他三类($P<0.05$),其余品质产量均中等,为矮秆组。第 III 类品种株高、鲜草产量、干草产量和茎叶比显著高于其他三类($P<0.05$),穗比重、粗蛋白显著低于其他三类($P<0.05$),可溶性糖含量和相对饲喂价值显著高于第 I 和第 II

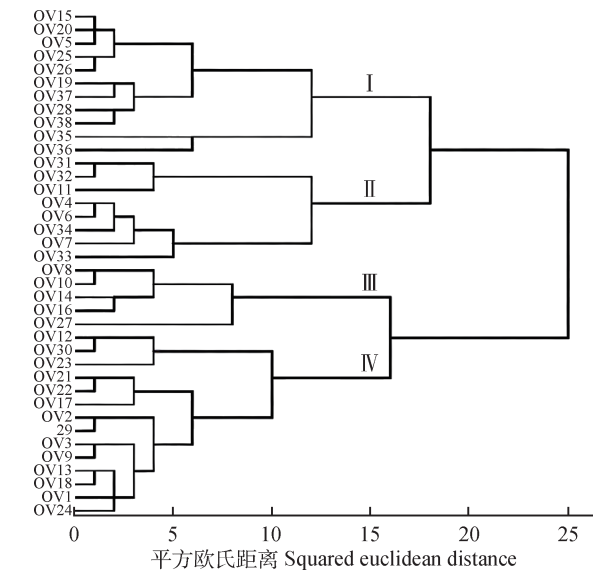


图 1 38 个饲用燕麦品种生产性能与营养品质的聚类谱系图
Fig. 1 Cluster analysis of yield and nutritional quality of different oat varieties

类($P<0.05$),其中株高和产量表现最优,为高产优质组。第 IV 类品种相对饲喂价值显著高于第 I 和第 II 类($P<0.05$),其余指标均居中,也为均衡组。

表 7 38 个燕麦品种生产性能与营养品质的聚类特征表

Table 7 Cluster characteristics of production performance and nutritional quality for 38 oat varieties

性状 Trait	分类 Classification			
	I	II	III	IV
分蘖数 Number of tillers/个	1±0.60 ^a	1±0.35 ^a	1±0.54 ^a	1±0.62 ^a
茎粗 Stem thickness/mm	3.87±0.47 ^a	3.59±0.36 ^a	3.95±0.66 ^a	3.97±0.46 ^a
叶片数 Number of leaves/片	5±0.7 ^a	5±0.76 ^a	5±0.71 ^a	5±0.63 ^a
株高 Plant height/cm	87.1±5.40 ^b	72.4±4.66 ^d	96.0±2.51 ^a	81.5±5.77 ^c
鲜草产量 Fresh forage yield/(×10 ³ kg·hm ⁻²)	17.3±2627 ^b	17.6±3337 ^b	22.7±2837 ^a	17.5±1876 ^b
干草产量 Dry forage yield/(×10 ³ kg·hm ⁻²)	6.7±820 ^b	6.6±1369 ^b	9.9±1601 ^a	7.1±1010 ^b
茎叶比 Stem-to-leaf ratio	1.14±0.08 ^b	1.16±0.08 ^b	1.27±0.19 ^a	1.14±0.09 ^b
穗比重 Panicle biomass proportion	0.42±0.05 ^a	0.43±0.06 ^a	0.35±0.06 ^b	0.42±0.50 ^a
可溶性糖 WSC/%	12.3±1.64 ^b	11.6±3.49 ^b	15.1±0.38 ^a	13.2±2.67 ^{ab}
粗蛋白 CP/%	8.1±0.43 ^a	7.9±0.33 ^a	7.1±0.43 ^b	8.0±0.42 ^a
粗脂肪 EE/%	2.1±0.30 ^{ab}	1.9±0.33 ^b	1.8±0.29 ^b	2.3±0.27 ^a
酸性洗涤纤维 ADF/%	31.7±1.88 ^a	31.8±1.42 ^a	30.1±1.42 ^{ab}	29.3±1.50 ^b
中性洗涤纤维 NDF/%	57.1±1.89 ^a	58.3±2.72 ^a	51.9±1.77 ^b	51.9±1.52 ^b
粗灰分 Ash/%	5.2±0.20 ^a	5.2±0.29 ^a	4.5±0.55 ^b	5.1±0.34 ^a
相对饲喂价值 RFV	104.9±5.12 ^b	102.7±5.20 ^b	117.9±5.68 ^a	119.0±3.82 ^a

2.6 不同饲用燕麦品种的综合评价

对38个饲用燕麦的生产性能指标和营养品质数据标准化处理后进行主成分分析,根据特征值 ≥ 1 的原则,提取5个主成分。得到:主成分1的特征值为4.866,贡献率为32.4%;主成分2的特征值为2.483,贡献率为16.6%;主成分3的特征值为1.875,贡献率为12.5%;主成分4的特征值为1.256,贡献率为8.4%;主成分5的特征值为1.156,贡献率为7.7%。5个主成分的累计贡献率为77.6%,基本包含所测数据的信息。

由表8可知,第1主成分主要包括鲜草产量、干草产量和可溶性糖,主要与产量和含糖量有关。第2主成分主要包括酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、相对饲喂价值和粗蛋白,主要与品质有关。第3主成分主要包括穗比重、叶片数、茎粗和粗灰分,第4主成分和第5主成分分别为分蘖数和株高,均与生长特性有关。

计算主成分得分需要算出各主成分的得分系数,该值由因子载荷除以主成分对应的特征值得到,各主成分得分值的公式为:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 0.059Y_1 + 0.062Y_2 + 0.089Y_3 + 0.098Y_4 + \\
 &0.161Y_5 + 0.188Y_6 - 0.150Y_7 + 0.061Y_8 + 0.154Y_9 \\
 &- 0.120Y_{10} - 0.063Y_{11} + 0.064Y_{12} + 0.130Y_{13} - \\
 &0.127Y_{14} + 0.119Y_{15} \\
 F_2 &= 0.012Y_1 - 0.041Y_2 - 0.075Y_3 - 0.085Y_4 - \\
 &0.050Y_5 - 0.023Y_6 + 0.143Y_7 - 0.109Y_8 + \\
 &0.045Y_9 + 0.176Y_{10} + 0.204Y_{11} + 0.320Y_{12} + \\
 &0.268Y_{13} + 0.068Y_{14} + 0.315Y_{15} \\
 F_3 &= 0.044Y_1 + 0.284Y_2 + 0.296Y_3 + 0.082Y_4 + \\
 &0.170Y_5 + 0.077Y_6 - 0.028Y_7 - 0.389Y_8 - \\
 &0.108Y_9 + 0.204Y_{10} - 0.137Y_{11} + 0.000Y_{12} - \\
 &0.025Y_{13} + 0.311Y_{14} - 0.016Y_{15} \\
 F_4 &= 0.652Y_1 - 0.433Y_2 + 0.043Y_3 + 0.049Y_4 + \\
 &0.149Y_5 + 0.105Y_6 + 0.042Y_7 + 0.044Y_8 - \\
 &0.062Y_9 + 0.224Y_{10} - 0.054Y_{11} + 0.179Y_{12} - \\
 &0.197Y_{13} - 0.014Y_{14} - 0.124Y_{15} \\
 F_5 &= 0.128Y_1 + 0.096Y_2 + 0.301Y_3 + 0.558Y_4 - \\
 &0.223Y_5 - 0.120Y_6 - 0.080Y_7 + 0.118Y_8 - \\
 &0.175Y_9 + 0.041Y_{10} + 0.546Y_{11} - 0.112Y_{12} + \\
 &0.045Y_{13} - 0.090Y_{14} + 0.007Y_{15}
 \end{aligned}$$

表8 主成分的因子载荷、特征值、贡献率与权重

Table 8 Loading factor and contribution rate of principal component

指标 Indexes	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
分蘖数 Number of tillers	0.287	0.031	0.083	0.818	0.148
茎粗 Stem thickness	0.303	-0.103	0.533	-0.544	0.111
叶片数 Number of leaves	0.431	-0.186	0.556	0.054	0.349
株高 Plant height	0.475	-0.211	0.153	0.061	0.645
鲜草产量 Fresh forage yield	0.784	-0.124	0.319	0.187	-0.258
干草产量 Dry forage yield	0.917	-0.056	0.145	0.132	-0.138
茎叶比 Stem-to-leaf ratio	-0.728	0.354	-0.053	0.053	-0.092
穗比重 Panicle biomass proportion	0.296	-0.272	-0.728	0.055	0.137
可溶性糖 WSC	0.750	0.112	-0.202	-0.078	-0.202
粗蛋白 CP	-0.585	0.437	0.382	0.281	0.047
粗脂肪 EE	-0.306	0.506	-0.257	-0.067	0.631
酸性洗涤纤维 ADF	0.313	0.794	-0.001	0.225	-0.129
中性洗涤纤维 NDF	0.631	0.666	-0.048	-0.247	0.052
粗灰分 Ash	-0.616	0.170	0.583	-0.018	-0.105
相对饲喂价值 RFV	0.579	0.782	-0.031	-0.156	0.008
特征值 Eigenvalue	4.866	2.483	1.875	1.256	1.156
贡献率 Contribution rate/%	32.4	16.6	12.5	8.4	7.7
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	32.4	50.0	61.5	69.9	77.6
权重 Weight	0.42	0.21	0.16	0.11	0.10

通过主成分因子得分(F_1, F_2, F_3, F_4, F_5)和贡献率,计算权重 ω 和隶属函数值 μ ,最终计算各品种的综合得分 D ,并进行排序。如表10所示,综合得分 D 值越大表示该品种的综合价值越高。供试的

38个饲用燕麦品种 D 值排名前5的品种依次为:‘牧乐思’>‘梦龙’>‘甜燕3号’>‘加燕2号’>‘美达’, D 值排名后5的品种依次为:‘楷模’<‘青海444’<‘科纳’<‘速瑞’<‘青引2号’。

表 9 38 个燕麦品种的主成分得分值
Table 9 Principal component scores of 38 oat varieties

品种 Varieties	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
OV1	0.2053	0.4101	-0.3579	-0.5665	0.6757
OV2	1.5801	1.0738	0.5719	0.6958	-0.1308
OV3	-0.0960	1.2508	-0.8506	-0.9676	-0.2882
OV4	-0.9672	-0.7750	-0.3079	0.1867	-0.4117
OV5	0.1665	-1.0469	0.5059	-0.5218	-0.2063
OV6	-1.1460	-0.8055	-0.0580	0.3660	-0.2629
OV7	-1.2059	-0.8131	0.1061	0.0884	-0.2095
OV8	1.8393	-1.2354	-2.9585	-0.1242	1.4494
OV9	0.7153	0.5016	-0.1495	-0.8284	-0.5307
OV10	1.5810	-1.3010	-1.7399	0.1449	-0.1343
OV11	-0.8196	0.7666	-0.3341	0.2645	-0.8945
OV12	-0.5840	1.5165	0.2074	-1.3386	0.3304
OV13	-0.3426	1.1715	-1.0498	-0.3718	0.0774
OV14	2.3163	-0.1610	-0.0955	0.6637	0.2903
OV15	0.0219	-0.7817	0.7664	-0.1393	1.5821
OV16	2.2042	-0.3957	1.5505	1.5308	-0.8234
OV17	-0.2773	1.0143	1.0028	1.2021	-0.1255
OV18	0.4056	0.1641	0.7143	-1.1524	0.2802
OV19	-0.2928	0.1930	0.3052	0.0826	0.0724
OV20	-0.2366	-0.7662	1.5310	0.6266	-0.4401
OV21	0.1468	-0.2851	0.2607	-1.2890	0.9305
OV22	-0.4788	0.7992	0.0067	0.1640	1.2604
OV23	0.3044	2.0055	-1.5861	1.2785	0.6542
OV24	-0.5218	0.9547	1.6953	-1.8280	-0.0758
OV25	-0.5875	0.0965	0.1411	1.8301	1.8456
OV26	0.2052	-0.5499	1.4596	-0.2125	0.8635
OV27	0.9669	0.6527	1.0064	-1.4730	0.2027
OV28	-0.7283	0.3631	-1.0282	0.8244	0.0519
OV29	0.6231	0.9290	0.1554	-0.5790	0.0372
OV30	-0.6789	1.9871	-0.7151	0.2834	-1.2480
OV31	0.7778	-1.1694	-0.1565	-0.3713	-2.4900
OV32	0.8898	-1.1238	0.3242	-0.3923	-2.4023
OV33	-1.8424	-1.0639	-1.8883	0.1228	-1.1899
OV34	-1.2530	-0.5914	0.8889	2.3764	-0.6559
OV35	-0.4713	-1.5667	0.4076	0.1643	2.3915
OV36	-1.4866	-1.6946	-0.2434	-2.0916	0.3471
OV37	-0.3190	0.3533	-0.5513	-0.1956	-0.9618
OV38	-0.6139	-0.0769	0.4636	1.5471	0.1391

3 讨论

生育期是决定饲草种植制度、刈割时间及种子生产的关键农艺参数^[28]。本研究中,38 个燕麦主推品种在晋北黄土旱塬区均能完成生育周期,表明该地区具备满足燕麦生长所需的光热资源基础。然而,品种间生育期跨度达 87~127 d,变异显著,反映出遗传背景与环境互作的复杂性。参照田长叶等^[19]提出的燕麦熟性划分标准(极早熟≤85 d、早熟

表 10 38 个燕麦品种的主成分得分值的隶属函数值、综合得分和排名

Table 10 Membership values, comprehensive scores, and rankings of 38 oat varieties

品种 Varieties	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	D 值 D value	排名 Rank
OV1	0.4924	0.5688	0.5588	0.3413	0.6485	0.518	13
OV2	0.8230	0.7482	0.7586	0.6239	0.4833	0.741	2
OV3	0.4199	0.7960	0.4529	0.2516	0.4510	0.489	19
OV4	0.2104	0.2485	0.5696	0.5099	0.4258	0.330	34
OV5	0.4830	0.1750	0.7444	0.3514	0.4678	0.444	27
OV6	0.1675	0.2403	0.6233	0.5501	0.4562	0.327	35
OV7	0.1531	0.2382	0.6585	0.4879	0.4672	0.320	36
OV8	0.8853	0.1241	0.0000	0.4403	0.8070	0.527	11
OV9	0.6150	0.5936	0.6036	0.2827	0.4014	0.551	8
OV10	0.8232	0.1064	0.2619	0.5006	0.4826	0.513	15
OV11	0.2459	0.6652	0.5639	0.5273	0.3269	0.424	30
OV12	0.3026	0.8679	0.6803	0.1685	0.5778	0.495	18
OV13	0.3606	0.7746	0.4101	0.3849	0.5259	0.475	25
OV14	1.0000	0.4145	0.6152	0.6167	0.5696	0.730	3
OV15	0.4483	0.2467	0.8004	0.4370	0.8342	0.500	17
OV16	0.9730	0.3511	0.9689	0.8107	0.3414	0.761	1
OV17	0.3763	0.7321	0.8512	0.7372	0.4844	0.578	7
OV18	0.5406	0.5023	0.7892	0.2102	0.5675	0.539	9
OV19	0.3726	0.5102	0.7013	0.4866	0.5249	0.482	21
OV20	0.3861	0.2509	0.9647	0.6084	0.4199	0.478	23
OV21	0.4783	0.3809	0.6918	0.1796	0.7007	0.481	22
OV22	0.3279	0.6740	0.6372	0.5048	0.7683	0.514	14
OV23	0.5162	1.0000	0.2949	0.7543	0.6441	0.621	5
OV24	0.3176	0.7160	1.0000	0.0590	0.4946	0.500	16
OV25	0.3017	0.4841	0.6660	0.8777	0.8882	0.520	12
OV26	0.4924	0.3094	0.9494	0.4206	0.6870	0.539	10
OV27	0.6755	0.6344	0.8520	0.1384	0.5516	0.624	4
OV28	0.2679	0.5561	0.4148	0.6526	0.5207	0.420	31
OV29	0.5929	0.7091	0.6691	0.3386	0.5177	0.594	6
OV30	0.2798	0.9950	0.4821	0.5316	0.2544	0.488	20
OV31	0.6301	0.1419	0.6021	0.3850	0.0000	0.433	28
OV32	0.6570	0.1543	0.7054	0.3803	0.0180	0.465	26
OV33	0.0000	0.1705	0.2300	0.4956	0.2663	0.154	38
OV34	0.1417	0.2982	0.8267	1.0000	0.3757	0.402	33
OV35	0.3297	0.0346	0.7233	0.5049	1.0000	0.417	32
OV36	0.0856	0.0000	0.5834	0.0000	0.5812	0.187	37
OV37	0.3663	0.5535	0.5173	0.4244	0.3131	0.431	29
OV38	0.2954	0.4372	0.7353	0.8144	0.5386	0.477	24

86~95 d、中熟 96~105 d、晚熟 105~115 d 和极晚熟 ≥116 d),本研究进一步结合饲用目的对熟性分类进行适用性调整。结果显示,极晚熟品种占比高达 55.3%(21/38),而早熟及极早熟品种合计不足 10%,提示当前主推品种体系可能更偏向于高海拔或冷凉湿润区选育,在晋北典型雨养旱作条件下存在熟期偏长,遭遇后期干旱或早霜风险增高的隐

患。因此,未来应加强早熟、抗逆型饲用燕麦品种的引进与本地化选育,以匹配区域气候窗口。

株高作为影响生物量积累的核心形态指标,与饲草产量密切相关^[29]。本研究中,‘甜燕3号’(98.40 cm)和‘贝勒’(94.2 cm)等高秆品种表现突出,但其株高仍显著低于李鸿飞等^[30]在呼伦贝尔黑土区的报道(>117 cm),差异可能源于两地生态条件相似度较低:呼伦贝尔年均温更低、无霜期短、土壤有机质含量高,更契合燕麦喜冷凉、需肥沃的生物学特性。类似地,‘陇燕3号’茎粗达5.04 mm,优于景芳等^[31]在甘肃黄土沟壑区的观测值(3.90 mm),进一步印证了水分与养分胁迫对茎秆发育的抑制作用。值得注意的是,茎粗不仅关联产量潜力,亦是抗倒伏能力的重要表型基础^[32],在晋北多风、偶发强降雨的背景下,适度增加茎粗有助于提升田间稳产性。

产量表现具有显著的地域依赖性^[6]。例如:‘美达’在川西高寒湿润区鲜草产量可达 $31.5 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[33],而在本研究中仅为 $15.4 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。相反,‘牧乐思’在本试验中干草产量($11.7 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)显著高于其在川西地区的表现($6.0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),且与相近区域阿鲁科尔沁旗的研究结果一致^[34]。这一“品种×环境”互作现象表明,燕麦作为典型的冷凉型作物,其生产力并非单纯由遗传潜力决定,而是高度依赖于区域水热耦合状态与土壤肥力水平^[35-36]。晋北黄土旱塬区虽具备适宜积温,但降水不足、土壤贫瘠(尤其氮素匮乏)成为限制高产品种发挥潜力的关键瓶颈。因此,在推广高产品种的同时,亟需配套水肥协同管理措施,如增施氮肥、实施覆膜保墒或与豆科混播,以缓解资源约束。

营养品质方面,本研究供试品种粗蛋白含量(6.7%~8.8%)略低于孙建平等^[13]在山西北部平原区的研究结果,进一步佐证了氮素供应对蛋白质合成的决定性作用。鉴于黄土旱塬区土壤全氮含量普遍偏低($<0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),通过合理施氮或引入固氮豆科作物构建复合种植系统,是提升饲草蛋白水平的有效路径^[37]。可溶性糖含量(8.2%~18.1%)整体处于较高水平,部分品种显著优于吴欣明等^[14]的研究结果,这主要归因于采样时期的差异:本研究统一于灌浆至乳熟初期收获,而后者采样偏晚(乳熟后期)。已有研究表明,燕麦可溶性糖在开花至灌浆期达峰值,随后随籽粒灌浆而转移消耗^[38-39]。因此,适时早刈不仅是保障高糖含量的关键,也有

助于维持较高的RFV,契合优质商品草生产需求。

为进一步挖掘品种资源的利用价值,本研究结合聚类分析与主成分-隶属函数综合评价方法,实现多维性状的整合解析。聚类结果将38个燕麦品种划分为四个类群,其中“高产优质组”(‘牧乐思’‘甜燕3号’‘加燕2号’等)在株高、产量、可溶性糖含量及RFV等指标上全面领先,与其综合排名高度一致,验证了该类群作为区域主推品种的可行性。而“矮秆组”虽产量和品质表现一般,但其紧凑株型与潜在抗倒伏特性,可为抗逆育种提供优良亲本。主成分分析进一步表明,第一主成分主要由鲜/干草产量与可溶性糖载荷主导,强调二者在饲用燕麦品种筛选中的核心地位。值得注意的是,穗比重与多数产量及品质指标呈显著负相关,表明生殖生长过强可能抑制营养器官发育,导致饲草产出下降,这一发现为“粮饲兼用”与“专饲专用”品种的定向选育提供了理论依据。

4 结论

本研究在晋北黄土高原东部典型旱塬区对38个主推饲用燕麦品种开展系统评价,结果表明:供试品种在生育期、农艺性状、产量表现及营养品质等方面存在显著遗传分化,适应性差异明显。综合生产性能、饲用价值与干草质量分级结果表明,‘牧乐思’‘梦龙’‘甜燕3号’‘加燕2号’和‘美达’综合表现最优,兼具高产、优质与良好生态适应性,可作为该区域优先推广的饲用燕麦主栽品种。

参考文献

- [1] 张向前,刘景辉,齐冰洁,等. 燕麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(2): 168-174
ZHANG X Q, LIU J H, QI B J, et al. Genetic diversity analysis of main agronomic traits in oat germplasm resources [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(2): 168-174
- [2] 刘昀,侯洁琼,薛世明,等. 旱作条件下秋播饲用燕麦在曲靖地区的生产性能评价[J]. 草学, 2025(4): 41-50, 86
LIU Y, HOU J Q, XUE S M, et al. Evaluation of production performance of autumn-sown forage oats in Qujing region under dryland farming conditions [J]. Grass Science, 2025(4): 41-50+86
- [3] 杨雪,李嘉楠,王博,等. 解淀粉芽孢杆菌增强燕麦干旱适生性及促生基因分析[J]. 微生物学报, 2025, 65(3): 1-25
YANG X, LI J N, WANG B, et al. Bacillus amyloliquefaciens enhances drought tolerance in oats and analysis of plant growth-

- promoting genes [J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2025, 65(3): 1-25
- [4] 乔斌,王乃昂,王义鹏,等. 山地-绿洲“共轭型”生态牧场理念源起、概念框架与发展模式——以祁连山牧区为例[J]. *生态学报*, 2023, 43(21): 8917-8932
- QIAO B, WANG N A, WANG Y P, et al. The origin, conceptual framework, and development model of mountain-oasis conjugated ecological pasture: A case study of Qilian Mountain pastoral area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(21): 8917-8932
- [5] 孙艳楠,路耿新,李冠义,等. 燕麦种质资源形态学性状的遗传多样性[J]. *西北植物学报*, 2024, 44(1): 112-121
- SUN Y N, LU G X, LI G Y, et al. Genetic diversity of morphological traits in oat germplasm resources [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2024, 44(1): 112-121
- [6] 郑殿升,张宗文. 中国燕麦种质资源国外引种与利用[J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(6): 1001-1005
- ZHENG D S, ZHANG Z W. Introduction and utilization of foreign oat germplasm resources in China [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(6): 1001-1005
- [7] 杨富,郑敏娜,康佳惠,等. 9个燕麦品种在晋北地区的生产性能及饲用价值综合评价[J]. *作物杂志*, 2019(2): 94-98
- YANG F, ZHENG M N, KANG J H, et al. Comprehensive evaluation of production performance and forage value of nine oat varieties in northern Shanxi region [J]. *Crops*, 2019, (2): 94-98
- [8] 杜璐宁,李文净,王小玲,等. 缓释氮肥配施尿素对冬小麦产量和氮肥利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2025, 43: 1-15
- DU L N, LI W J, WANG X L, et al. Effects of slow-release nitrogen fertilizer combined with urea on winter wheat yield and nitrogen use efficiency [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2025, 43: 1-15
- [9] 刘汉成,侯明杰,毛建文. 甘南高寒牧区禾-豆混播草地生产性能与经济效益分析[J]. *饲料工业*, 2025, 46(20): 126-131
- LIU H C, HOU M J, MAO J W. Analysis of production performance and economic benefits of grass-legume mixed sowing pasture in Gannan alpine pastoral area [J]. *Feed Industry*, 2025, 46(20): 126-131
- [10] 梁万鹏,张金霞,施海娜,等. 燕麦在庆阳市北部旱作区生长适应性评价[J]. *饲料研究*, 2020, 43(5): 100-102
- LIANG W P, ZHANG J X, SHI H N, et al. Evaluation of growth adaptability of oat in the rainfed area of northern Qingyang City [J]. *Feed Research*, 2020, 43(5): 100-102
- [11] 任家辉,孙娟娟,郝莹璐,等. 内蒙古中部地区饲用燕麦品种筛选及青贮品质评价[J]. *中国农业科学*, 2025, 58(19): 4026-4038
- REN J H, SUN J J, HAO Y L, et al. Screening of forage oat varieties and evaluation of silage quality in central Inner Mongolia [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2025, 58(19): 4026-4038
- [12] 刘定鑫,孙丽婷,武育芳,等. 宁夏农牧交错带燕麦品种农艺性状和营养成分综合评价[J]. *甘肃农业大学学报*, 2024, 59(3): 62-68+80
- LIU D X, SUN L T, WU Y F, et al. Comprehensive evaluation of agronomic traits and nutritional components of oat varieties in the agro-pastoral ecotone of Ningxia [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2024, 59(3): 62-68
- [13] 孙建平,董宽虎,蒯晓妍,等. 晋北农牧交错区引进燕麦品种生产性能及饲用价值比较[J]. *草业学报*, 2017, 26(11): 222-230
- SUN J P, DONG K H, KUAI X Y, et al. Comparison of production performance and forage value of introduced oat varieties in the agro-pastoral ecotone of northern Shanxi [J]. *Acta Prata-cultura Sinica*, 2017, 26(11): 222-230
- [14] 吴欣明,陈智君,池惠武,等. 25个饲草燕麦品种农艺性状与品质比较[J]. *草业科学*, 2023, 40(7): 1902-1912
- WU X M, CHEN Z J, CHI H W, et al. Comparison of agro-nomic traits and quality among 25 forage oat varieties [J]. *Prata-cultural Science*, 2023, 40(7): 1902-1912
- [15] 董嘉莉,何建龙,杜建民,等. 宁夏银北地区不同饲用燕麦品种适应性评价[J]. *草地学报*, 2025, 33(7): 2299-2308
- DONG J L, HE J L, DU J M, et al. Adaptability evaluation of different forage oat varieties in Yinchuan North region, Ningxia [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2025, 33(7): 2299-2308
- [16] 王德贵,董永梅,呼延美静,等. 川西北农牧交错区9个秋播饲用燕麦生产性能综合评价[J]. *草地学报*, 2025, 33(06): 1878-1885
- WANG D G, DONG Y M, HUYAN M J, et al. Comprehensive evaluation of production performance of nine autumn-sown forage oat varieties in the agro-pastoral ecotone of northwest Sichuan [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2025, 33(6): 1878-1885
- [17] 张官禄,周宏伟,慕平,等. 15个燕麦品种在山丹半干旱区的适应性研究[J]. *草原与草坪*, 2025, 47: 1-13
- ZHANG G L, ZHOU H W, MU P, et al. Adaptability study of 15 oat varieties in the semi-arid region of Shandan [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2025, 47: 1-13
- [18] 郑殿升,王晓鸣,张京. 燕麦种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006: 13
- ZHENG D S, WANG X M, ZHANG J. Oat germplasm resources: descriptive standards and data specifications [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 13
- [19] 田长叶,张斌. 燕麦实用技术[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2016: 49
- TIAN C Y, ZHANG B. Practical techniques for oats [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2016: 49
- [20] SAEZ-PLAZA P, NAVAS J M, WYBRANIEC S, et al. An overview of the kjeldahl method of nitrogen determination. part i. early history, chemistry of the procedure, and titrimetric finish [J]. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2013, 43(4): 224-272
- [21] THIEX N J, ANDERSON S, GILDEMEISTER B, et al. Crude fat, hexanes extraction, in feed, cereal grain, and forage (randall/soxtec/submersion method): collaborative study [J]. *Journal of Aoac International*, 2003, 86(5): 899-908
- [22] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysac-

- charides in relation to animal nutrition[J]. *Journal of Science*, 1991, 74: 3583-3597
- [23] 中国国家标准化管理委员会. 饲料中粗灰分的测定: GB/T 6438—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 1-3
Standardization Administration of the People's Republic of China. Animal feeding stuffs—determination of crude ash: GB/T 6438—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007: 1-3
- [24] 国家技术监督局. 实验动物配合饲料常规营养成分的测定, GB/T 14924. 9[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 147
National Technical Supervision Bureau. Determination of routine nutritional components in compound feeds for laboratory animals, GB/T 14924. 9[S]. Beijing: Standards Press of China, 2001: 147
- [25] 马玉颜, 胥成梅, 赵雅姣, 等. 青海省圈窝种草下混播青干草及青贮草的利用价值研究[J]. *草地学报*, 2025, 33: 1-19
MA Y Y, XU C M, ZHAO Y J, et al. Study on the utilization value of mixed hay and silage in enclosure grass planting in Qinghai Province[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2025, 33: 1-19
- [26] 中国畜牧业协会. 燕麦干草质量分级 T/CAAA 002—2018[S]. 北京: 中国畜牧业协会, 2018: 1-3
China Animal Agriculture Association. Quality classification of oat hay T/CAAA 002—2018[S]. Beijing: China Animal Agriculture Association, 2018: 1-3
- [27] 马文艳, 李杰东, 周镇磊, 等. 肥料、保水剂和播种量互作对燕麦综合生产性能的影响[J]. *草业学报*, 2025, 34(10): 107-119
MA W Y, LI J D, ZHOU Z L, et al. Effects of interactions among fertilizers, water retention agents, and seeding rates on the comprehensive production performance of oats[J]. *Acta Pratacultura Sinica*, 2025, 34(10): 107-119
- [28] 温丽, 毕盛楠, 徐兴健, 等. 饲用燕麦种子产量与产量相关性状相关性分析及综合评价[J]. *土壤与作物*, 2023, 12(1): 69-75
WEN L, BIS N, XU X J, et al. Correlation analysis and comprehensive evaluation of yield-related traits in forage oat seeds[J]. *Soil and Crop Science*, 2023, 12(1): 69-75
- [29] 张志鹏, 蒋庆雪, 周昕越, 等. 转录组和蛋白组联合筛选饲用燕麦株高性状候选基因[J]. *草业学报*, 2025, 34(9): 147-161
ZHANG Z P, JIANG Q X, ZHOU X Y, et al. Joint screening of candidate genes for oat plant height using transcriptomics and proteomics[J]. *Acta Pratacultura Sinica*, 2025, 34(9): 147-161
- [30] 李鸿飞, 周帮伟, 张森, 等. 不同燕麦品种在呼伦贝尔地区的引种适应性评价[J]. *草业学报*, 2024, 33(4): 60-72
LI H F, ZHOU B W, ZHANG M, et al. Evaluation of introduction adaptability of different oat varieties in Hulunbuir region[J]. *Acta Pratacultura Sinica*, 2024, 33(4): 60-72
- [31] 景芳, 刘彦明, 南铭, 等. 12个燕麦品种在黄土高原沟壑区生产性能及适应性[J]. *草业科学*, 2024, 41(5): 1175-1188
JING F, LIU Y M, NAN M, et al. Production performance and adaptability of 12 oat varieties in the gully area of the Loess Plateau[J]. *Pratacultura Science*, 2024, 41(5): 1175-1188
- [32] 何丽丽, 王佳豪, 王晓丽, 等. 柴达木盆地干旱区盐碱地国外引进燕麦品种适应性评价[J]. *青海科技*, 2025, 32(5): 68-78
HE L L, WANG J H, WANG X L, et al. Evaluation of adaptability of introduced oat varieties on saline-alkali soils in the arid region of Qaidam Basin[J]. *Qinghai Science and Technology*, 2025, 32(5): 68-78.
- [33] 田科, 闫雅倩, 熊艳丽, 等. 7个燕麦品种在川西北高原的生产性能综合评价[J]. *草学*, 2024, (6): 42-51
TIAN K, YAN Y Q, XIONG Y L, et al. Comprehensive evaluation of production performance of 7 oat varieties in northwestern Sichuan plateau[J]. *Grass Science*, 2024, (6): 42-51
- [34] 马晓东, 王飞, 李东琴, 等. 不同燕麦品种在阿鲁科尔沁旗的适应性评价[J]. *寒旱农业科学*, 2024, 3(11): 1048-1054
MA X D, WANG F, LI D Q, et al. Evaluation of adaptability of different oat varieties in Alukeerqin Banner[J]. *Cold and Arid Regions Agricultural Sciences*, 2024, 3(11): 1048-1054
- [35] 罗安雄. 燕麦在甘肃不同生态区的生产性能及营养品质研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018: I
LUO A X. Study on production performance and nutritional quality of oats in different ecological zones of Gansu [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018: I
- [36] 李忆菲. 陇中二阴区燕麦适应性品种筛选及雨肥一体化栽培研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2025: 73
LI Y F. Screening of adaptive oat varieties and integrated rainfall-fertilizer cultivation in the Liangzhong cool and humid region of Gansu [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2025: 73
- [37] 沈笑天. 氮磷钾配施对雨养区燕麦生产性能及土壤理化性质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2022: 31
SHEN X T. Effects of combined application of nitrogen, phosphorus and potassium on oat production performance and soil physicochemical properties in rainfed areas [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2022: 31
- [38] 王茜, 李志坚, 李晶, 等. 不同类型燕麦农艺和饲草品质性状分析[J]. *草业学报*, 2019, 28(12): 149-158
WANG Q, LI Z J, LI J, et al. Analysis of agronomic and forage quality traits of different oat types[J]. *Acta Pratacultura Sinica*, 2019, 28(12): 149-158
- [39] 肖海峻, 孟利前, 朱建晨, 等. 不同品种皮燕麦营养成分的评价与筛选[J]. *现代农业科技*, 2020(5): 199-201
XIAO H J, MENG L Q, ZHU J C, et al. Evaluation and screening of nutritional components in different hull oats varieties[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020 (5): 199, 201

(责任编辑 付 宸)