



12个燕麦品种在黄土高原沟壑区生产性能及适应性

景芳 刘彦明 南铭 边芳 任生兰 陈富 张成君

Production performance and adaptability of 12 oat varieties in the gully region of Loess Plateau

JING Fang, LIU Yanming, NAN Ming, BIAN Fang, REN Shenglan, CHEN Fu, ZHANG Chengjun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0059>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

半干旱地区燕麦种子产量及其相关农艺性状

Analysis of oat seed yield and related agronomic characteristics in semi-arid regions

草业科学. 2024, 41(2): 356 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0777>

硅肥对青藏高原高寒地区燕麦抗倒伏性状及种子产量的影响

Effects of silicon fertilizer on lodging resistance traits and seed yield of *Avena sativa* in the alpine region of Qinghai-Tibet Plateau

草业科学. 2022, 39(3): 551 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0315>

叶面喷施多效唑、矮壮素、缩节胺对燕麦抗倒伏性和种子产量的调节作用

Effects of paclobutrazol, chlormequat chloride, and mepiquat chloride on lodging resistance and seed yield in oats

草业科学. 2023, 40(9): 2340 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0008>

巴青垂穗披碱草种子产量与农艺性状相关性分析

Correlation analysis of seed yield with agronomic traits in *Elymus nutans* 'Baqing'

草业科学. 2024, 41(1): 99 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0823>

20份野豌豆种质的农艺性状、产量和品质

Analysis of agronomic, yield, and quality traits of 20 *Vicia* germplasm resources

草业科学. 2022, 39(11): 2403 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0503>

青海省东部不同燕麦种质资源产量性状评价

Evaluation of yield traits of different oat germplasms in eastern Qinghai Province

草业科学. 2022, 39(10): 2160 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0267>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0059

景芳, 刘彦明, 南铭, 边芳, 任生兰, 陈富, 张成君. 12个燕麦品种在黄土高原沟壑区生产性能及适应性. 草业科学, 2024, 41(5): 1175-1188.

JING F, LIU Y M, NAN M, BIAN F, REN S L, CHEN F, ZHANG C J. Production performance and adaptability of 12 oat varieties in the gully region of Loess Plateau. Pratacultural Science, 2024, 41(5): 1175-1188.

12个燕麦品种在黄土高原沟壑区生产性能及适应性

景芳^{1,2}, 刘彦明², 南铭³, 边芳², 任生兰², 陈富², 张成君²

(1. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃省定西市农业科学研究院, 甘肃定西 743000;
3. 甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要: 为筛选适宜黄土高原沟壑区种植的高产、抗倒伏、抗病性强的燕麦 (*Avena sativa*) 品种, 以国内外引进的12个燕麦品种为试验材料, 分析其产量相关性状、倒伏率和病害发生率, 并利用灰色关联度分析和聚类分析法进行综合评价。结果表明: 12个燕麦品种干草产量为10 800.00~15 233.33 kg·hm⁻², 平均干草产量13 298.61 kg·hm⁻²; 种子产量为3 095.24~7 857.14 kg·hm⁻², 平均值5 407.14 kg·hm⁻²; 其中, ‘坝燕6号’的倒伏率较低, 红叶病和锈病发病率最低, 为抗倒伏兼抗病品种。灰色关联度分析结果表明: 株高、干草产量、叶茎比在灰色关联评价系统中所占权重最高, 是品种选择时的重要指标。采用聚类分析方法将12个燕麦品种划分为3个类群, 第I类群可作为饲草品种, 第II类群可作为籽粒型品种, 第III类群倒伏率及病情指数低, 抗逆性好。综合灰色关联度和聚类分析方法, 筛选出适宜黄土高原沟壑区种植的产量高、适应性好的饲草型燕麦品种‘加燕2号’, 籽粒型燕麦品种‘坝燕6号’和‘美达’。

关键词: 饲草产量; 种子产量; 农艺性状; 倒伏; 病害; 灰色关联度评价; 聚类分析

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2024)05-1175-14

Production performance and adaptability of 12 oat varieties in the gully region of Loess Plateau

JING Fang^{1,2}, LIU Yanming², NAN Ming³, BIAN Fang², REN Shenglan², CHEN Fu², ZHANG Chengjun²

(1. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China;
2. Dingxi Academy of Agricultural Research Science, Dingxi 743000, Gansu, China;
3. Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: To screen *Avena sativa* varieties for high yield, lodging resistance, and strong disease resistance suitable for planting in the gully region of the Loess Plateau, 12 oat varieties introduced at home and abroad were used as experimental materials to study their yield related traits, lodging rate, and disease incidence. Grey correlation analysis and cluster analysis were used for comprehensive evaluation. The results showed that the hay yield of 12 oat varieties ranged from 10 800.00 to 15 233.33 kg·ha⁻¹, with an average of 13 298.61 kg·ha⁻¹. The seed yield ranged from 3 095.24 to 7 857.14 kg·ha⁻¹, with an average of 5 407.14 kg·ha⁻¹. The lodging rate of ‘Bayan No. 6’ was low, and the incidences of red leaf and rust diseases were the lowest. The results of grey relational degree analysis showed that plant height, hay yield, and leaf-stem ratio had the highest weight in the grey relational evaluation system, and were important indicators for variety selection. Twelve oat varieties were divided into three groups by cluster analysis. Group I varieties could be used as forage varieties, and group II varieties as grain varieties. Group III varieties had low lodging rate and disease index, but had good stress resistance. Based on the method of grey relational analysis and cluster analysis, the forage variety ‘Jiayan No. 2’, grain variety ‘Bayan

收稿日期: 2023-02-10 接受日期: 2023-05-24

基金项目: 通渭县燕麦产业绿色高效关键技术集成与示范项目 (2022YFD1100502); 甘肃重要乡土草及牧草种质创新与品种选育项目 (23ZDKA013)

通信作者: 景芳 (1990-), 女, 甘肃定西人, 助理研究员, 在读博士生, 主要从事牧草种质创新及遗传改良工作。E-mail: jingfangshi10@126.com

No. 6', and the variety 'Meida', which are suitable for planting in the gully region of the Loess Plateau, were selected and are characterized by high yield and good adaptability.

Keywords: forage yield; seed yield; agronomic traits; lodging; disease; grey relational degree evaluation; cluster analysis

Corresponding author: JING Fang E-mail: jingfangshi110@126.com

燕麦 (*Avena sativa*) 是一种“粮兼草”型一年生草本作物, 分为皮燕麦 (*A. sativa*) 和裸燕麦 (*A. nuda*)^[1]。燕麦作为粮食作物其籽粒富含粗蛋白、矿质元素、膳食纤维、维生素等, 具有医用、食用、保健的功效^[2]; 作为饲草品种, 燕麦产草量高、适口性好、粗蛋白含量高, 可消化纤维高、饲草品质优良, 受家畜喜食, 是公认的优质饲草^[3-5]。燕麦属长日照作物, 具有耐旱、耐寒、耐盐碱、耐贫瘠的特性^[6], 在海拔高、昼夜温差大、日照时间长的黄土高原沟壑区得到广泛种植和推广应用, 种植面积达到 4 万 hm^2 , 其中“粮兼草”型燕麦的面积占 40%^[7]。燕麦的种植改善了生态环境, 在防风固沙、修复天然退化草地、治理水土流失起到重要作用^[8], 同时燕麦产业的发展对推动农业结构调整、生态文明建设以及农村经济的发展意义重大。据统计, 2013—2020 年, 我国燕麦种植面积从 19 万 hm^2 增加到 52.5 万 hm^2 , 燕麦产量由 23.5 万 t 增加到 62.5 万 t (数据来源: <http://www.chinaoat.com/article.php>)。总体来看, 燕麦种植面积和产量呈上升趋势, 但是随着我国畜牧产业的快速发展, 对燕麦的需求量不断增大, 致使燕麦产量严重供应不足, 大量的优质燕麦仍依赖美国、澳大利亚等国家的进口, 仅 2020 年我国燕麦进口量为 21.35 万 t (数据来源: <http://www.forage.org.cn/front/article/>), 供需不平衡的严峻形势下, 迫切需要引进和选育优质、高产、适应性强的燕麦新品种, 提高燕麦产量, 满足燕麦产业快速发展的需求。

近年来, 燕麦在全国各地广泛引种种植, 如西藏、青海、河北、内蒙古、山东^[9-13], 但是在不同生态条件下燕麦品种的农艺性状和品质表现各异。已有研究表明, “甜燕 1 号”“牧王”“太阳神”更适宜在达拉特旗地区种植^[9]。“牧王”“太阳神”“贝勒”“燕王”和“魅力”更适宜在山东地区推广种植^[13]。南铭等^[7]筛选出西北半干旱区性状优良的皮燕麦品种为“定燕 2 号”“坝燕 4 号”和“冀张燕 4 号”, 裸燕麦品种为“远杂 2 号”“白燕 15 号”和“晋燕 14 号”。黄土高原地区现有燕麦生产普遍存在品种少、产量低、抗逆性差、

品种退化等问题, 致使种植效益无法满足新型燕麦产业快速发展的要求^[14], 加之, 倒伏和病害的发生成为影响燕麦饲草产量和种子产量的重要制约因素^[15], 倒伏造成群体生长环境恶化, 促进了细菌、真菌的滋生, 加重了病虫害的发生^[16-17], 病害的发生造成植株分蘖减少、株高降低、穗粒数减少, 降低了燕麦产量和品质^[18-19], 因此亟需筛选适宜在当地种植的高产优质饲用燕麦品种。目前, 大多数研究侧重于营养品质和产量性状方面, 在饲草生产性能, 种子生产能力、抗逆性等方面综合研究较少。为此, 在以往研究的基础上, 对 12 个燕麦品种的产量指标、农艺性状、倒伏以及病害发生情况进行综合分析, 旨在筛选适宜黄土高原沟壑区种植的高产优质、抗倒伏、抗病性强、适宜大面积推广种植的燕麦品种, 丰富当地燕麦种质资源, 为当地高产燕麦品种的推广利用提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况和试验材料

试验于 2020—2021 年在甘肃省定西市国家现代农业示范园区进行 (104°12' E, 35°17' N), 地处黄土高原沟壑地带干旱半干旱农业带, 属温带大陆型季风气候, 夏季炎热, 冬季冷凉, 昼夜温差大, 平均海拔高度 1 920 m, 最高温度 33 °C, 最低温度 -22 °C, 无霜期 140 d, 年均日照时数 1 900~2 100 h, 年均降水量 400~600 mm, 相对湿度 52%, 年均蒸发量 1 400 mm。土壤全氮占 0.27%, 全磷含量为 0.91%, 全钾含量为 1.62%, pH 7.63, 有机质含量为 1.21%, 碱解氮含量为 6.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷含量为 9.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾含量为 90 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 供试的 12 个燕麦品种名称及来源如表 1 所列。

1.2 试验设计

采用随机区组排列, 人工开沟条播, 每个小区面积 10 m^2 (2 m × 5 m), 每个品种 3 次重复, 共 36 个小区, 试验四周设保护行。播种量 150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 播

表 1 供试燕麦品种及来源
Table 1 The oat varieties used in the experiment and their sources

燕麦品种 Oat variety	品种来源 Sources of variety	皮/裸 Hulled or naked
燕王 Yanwang		皮 Hulled
美达 Meida	北京正道种业有限公司 Beijing Zhengdao Seed Industry Co. LTD	皮 Hulled
梦龙 Menglong		皮 Hulled
莫妮卡 Monica		皮 Hulled
加燕2号 Jiayan No.2	青海畜牧兽医科学院 Qinghai Academy of Animal Husbandry and Veterinary Sciences	皮 Hulled
青海甜燕麦 Qinghai sweet oat		皮 Hulled
青引1号 Qingyin No.1		皮 Hulled
陇燕3号 Longyan No.3	甘肃农业大学 Gansu Agricultural University	皮 Hulled
定引1号 Dingyin No.1	定西市农业科学研究院 Dingxi Academy of Agricultural Research Science	皮 Hulled
白燕19号 Baiyan No.19	白城市农业科学院 Baicheng Academy of Agricultural Science	皮 Hulled
坝燕4号 Bayan No.4	河北张家口 Zhangjiakou, Hebei Province	皮 Hulled
坝燕6号 Bayan No.6		皮 Hulled

种深度 4~6 cm, 行距 25 cm。播种前耕地育肥, 采用机器翻耕平整土地后, 施入过磷酸钙 (P_2O_5) 525 $kg \cdot hm^{-2}$, 硫酸钾 (K_2SO_4) 300 $kg \cdot hm^{-2}$, 播前施尿素 (N) 150 $kg \cdot hm^{-2}$, 生育期内不追肥、不灌水, 苗期中耕除草两次, 管理措施等同于大田。

1.3 测定内容及方法

1.3.1 燕麦生长指标测定

采用整体观察法^[20], 观测并记录每个品种的物候期, 包括播种期、出苗期、分蘖期、拔节期、抽穗期、开花期、乳熟期和成熟期。

牧草产量及其相关性状: 在乳熟期进行测产, 每个小区去除边际效应后选取具有代表性的 1 m^2 样段, 刈割后称重, 测定鲜草产量, 留茬高度为 3~4 cm, 将鲜样挂入风干室, 自然风干后称取干草产量; 乳熟期, 在每个小区随机拔取 10 株将茎、叶分开称取茎鲜重和叶鲜重, 并计算叶茎比。

农艺性状: 乳熟期在每个小区去除边际效应后, 随机选取 10 株挂牌定株, 用钢卷尺测定燕麦株高、旗叶长度、旗叶宽度; 用游标卡尺测量茎粗; 拔取挂牌植株, 统计单株茎节数和有效分蘖数。

种子产量及其相关性状: 完熟期在每个小区随机拔取 10 株进行考种, 测量穗长, 统计单株穗粒数、单株种子产量; 待试验脱粒收获后测定小区种子产量, 计算种子产量, 并称取千粒重。

1.3.2 燕麦倒伏及病害发生情况调查

燕麦进入灌浆期后对田间倒伏以及病害发生情况进行观测记载。田间倒伏情况参照南铭等方法^[11]依据燕麦遇大风、降水后田间植株是否发生倒伏, 调查并记录倒伏情况, 主茎与地面夹脚 $\leq 45^\circ$ 为倒伏。

实际倒伏率 = 小区倒伏面积/小区总面积 $\times 100\%$ 。

试验地主要发生的燕麦病害有红叶病、白粉病和锈病, 病害鉴定技术及方法参照中华人民共和国农业行业标准 (NY/T1443-2007)^[21], 每个小区随机取样 50 株调查整株病害发生情况。

发病率 = 病株 (器官、叶) 数/调查总株 (器官、叶) 数 $\times 100\%$ 。

病害严重度分级参照农业行业标准“牧草病害调查与防治技术规程”(NY/T 2767-2015)。根据发病植物器官的面积或体积占调查植物器官总面积或总体积的百分率, 划分植株病害发生等级, 用分级法表示, 共设 8 级, 病害严重级别分别为 1%、5%、10%、20%、40%、60%、80% 和 100%。

病情指数 = $\sum [(各级病叶数 \times 代表数值)] / (调查总叶数 \times 最高代表级值) \times 100$ 。

1.4 数据处理

采用 SPSS 25.0 软件进行单因素方差分析、聚类分析, 差异显著性采用 Duncan 法进行多重比较; 用 Excel 2010 进行数据整理、制图、以及灰色关联度分析。产量性状、倒伏情况、病害发生情况均为 2020-2021 年两年的平均值。采用灰色关联度分析法对供试的 12 个燕麦品种的生产性能指标及抗逆性进行综合评价, 将各指标归纳为一个灰色系统, 各参试性状视为系统中的一个因素, 分析系统中各因素的关联度, 关联度越大, 说明综合评价指数越高, 各因素之间的相似程度越高。首先, 构建参考数列, 记作 X_0 , 试验中各性状代表的因素作为比较数列 X_i 。对原始数据中各性状进行无量纲化

处理, 即 X_i 的数值分别除以 X_0 。之后计算出绝对值差, 即 $\Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$, 求出最大绝对值差 $\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 和最小绝对值差 $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$, 然后代入公式 (1)、(2)、(3)、(4) 进行权重综合评价。

关联度系数:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \& \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \& \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (1)$$

关联度:

$$R_i = \frac{\sum \xi_i(k)}{N} \quad (2)$$

权重系数:

$$\omega_i = \frac{R_i}{\sum R_i} \quad (3)$$

加权关联度:

$$R'_i = \frac{\sum \xi_i(k) \times \omega_i}{N} \quad (4)$$

式中: $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为最小绝对值差, $\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为最大绝对值差, $\&$ 为分辨系数, i 为品种编号, k 为性状, N 为供试燕麦品种各性状指标的个数 ($N=12$)。

2 结果与分析

2.1 不同燕麦品种物候期对比

12 个不同燕麦品种在 2020 和 2021 年均能完成生长发育过程 (附表 1)。2020 年受疫情影响播种时间推迟, 加之播种后降水较少, 导致供试燕麦出苗较迟, 出苗时间在 30~35 d; 12 个燕麦品种分蘖期和拔节期相差不大; 随着生育进程的推进, 生长速度和生育期出现一定差异, 生育期在 77~93 d, 表现为中熟品种, 其中‘美达’‘青引 1 号’的生育期最短, 仅 77 d, ‘梦龙’‘莫妮卡’‘加燕 2 号’的生育期最长, 为 93 d, 最后进入完熟期。2021 年供试燕麦品种正常播种, 播种期间土壤墒情较 2020 年好, 出苗时间为 16~19 d, 其中, ‘青海甜燕麦’‘坝燕 4 号’‘坝燕 6 号’3 个品种的出苗期较晚, 其余品种出苗时间相对一致, 分蘖期和拔节期相差不大, 生育期为 87~99 d, 较 2020 年延长了 10 d 左右, 生育期最短

的品种有‘美达’‘青引 1 号’。

2.2 不同燕麦品种干草产量对比

12 个燕麦品种两年平均干草产量为 10 800.00~15 233.33 kg·hm⁻², 平均值 13 298.61 kg·hm⁻², 其中‘梦龙’的产量最高, 较平均值高出 14.55%, 显著高于‘美达’‘莫妮卡’‘青海甜燕麦’‘白燕 19 号’ ($P < 0.05$) (图 1)。¹ ‘青海甜燕麦’产量最低, 仅为‘梦龙’的 70.90%。‘加燕 2 号’‘青引 1 号’‘陇燕 3 号’‘定引 1 号’‘坝燕 4 号’5 个品种高于平均产量, 分别较平均值高出 12.17%、13.55%、6.53%、9.79% 和 11.04%。

2.3 不同燕麦品种饲草产量相关性状对比

12 个燕麦品种 2 年平均饲草产量相关性状结果 (表 2) 表明, 鲜草产量为 38 833.33~69 333.33 kg·hm⁻², 平均值 56 555.56 kg·hm⁻², 其中‘坝燕 4 号’的鲜草产量最高, 较平均产量高出 22.59%, 与‘美达’‘青海甜燕麦’‘白燕 19 号’差异显著 ($P < 0.05$)。鲜干比的平均值为 4.27, 其中‘燕王’的鲜干比最大 (5.28), 较平均值高出 23.53%, ‘青海甜燕麦’的鲜干比最低。12 个燕麦品种中‘燕王’与‘梦龙’‘青引 1 号’‘坝燕 4 号’的茎重无显著差异 ($P > 0.05$), 与‘梦龙’‘青引 1 号’‘坝燕 6 号’的叶重差异不显著 ($P > 0.05$), 但显著高于其他品种 ($P < 0.05$)。12 个燕麦品种茎重、叶穗重的平均值分别为 325.46 g、307.98 g, 其中, ‘燕王’和‘梦龙’较平均茎重高出 61.43% 和 56.86%, 较平均叶穗重高出 32.84% 和 63.48%。叶茎比是反映牧草品质和适口性的重要指标, 叶茎比高的品种牧草的适口性较好, 两个燕麦品种中‘美达’的叶茎比最高, 达到 1.14, 平均值 0.96, ‘美达’较平均值高出 18.45%, 说明‘美达’牧草品质和适口性较佳。

12 个燕麦品种两年平均农艺性状指标测定结果表明 (表 3), 株高的范围在 105.50~132.00 cm, 其中‘加燕 2 号’的株高最高, 较平均值 (121.38 cm) 高出 8.75%, 与‘燕王’‘美达’‘白燕 19 号’3 个品种差异显著 ($P < 0.05$), 与其他品种差异不显著; ‘白燕 19 号’的株高最低。12 个品种有效分蘖为 1.75~2.70, 其中‘陇燕 3 号’的有效分蘖最多, 较平均值多出 19.62%, ‘梦龙’的有效分蘖最少。‘坝燕 6 号’的茎粗 (5.23 cm) 和旗叶宽度 (2.02 cm) 最大, 分别较平均值高出 29.41%、16.50%, ‘坝燕 6 号’的茎粗与‘燕王’

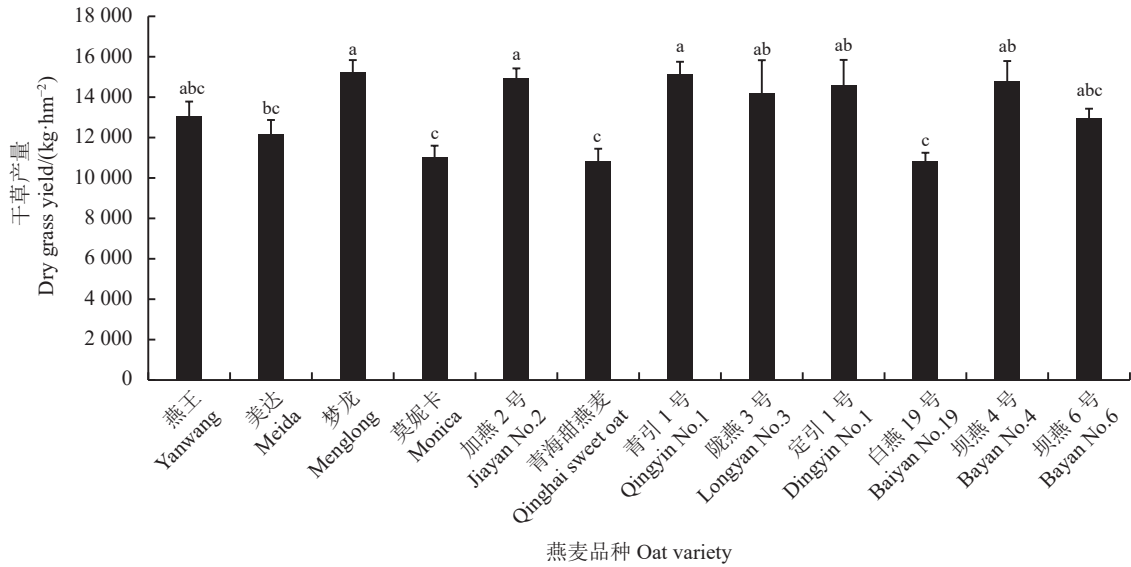


图 1 不同燕麦品种的干草产量

Figure 1 Hay yield of different oat varieties

表 2 不同燕麦品种饲草产量的相关性状

Table 2 Forage related yield traits of different oat varieties

品种名称 Variety name	鲜草产量 Fresh yield/(kg·hm ⁻²)	鲜干比 Fresh dry/%	茎重 Stem weight/g	叶重 Leaf weight/g	叶茎比 Leaf-to-stem ratio
燕王 Yanwang	69 166.67 ± 5 140.80a	5.28 ± 0.19a	525.40 ± 102.70a	409.12 ± 97.50ab	0.76 ± 0.05d
美达 Meida	47 166.67 ± 5 856.15bcd	3.82 ± 0.31cd	263.82 ± 69.12b	271.48 ± 42.55b	1.14 ± 0.09a
梦龙 Menglong	60 833.33 ± 7 939.00abc	4.06 ± 0.60bcd	510.50 ± 136.54a	503.48 ± 136.06a	0.98 ± 0.02abc
莫妮卡 Monica	53 000.00 ± 4 090.64abcd	4.81 ± 0.21abc	277.82 ± 32.05b	253.52 ± 30.99b	0.92 ± 0.03bcd
加燕2号 Jiayan No.2	55 000.00 ± 2 221.11abcd	3.73 ± 0.28cd	214.42 ± 17.94b	212.15 ± 16.36b	1.00 ± 0.05abc
青海甜燕麦 Qinghai sweet oat	38 833.33 ± 2 482.16d	3.62 ± 0.17d	290.17 ± 61.53b	280.00 ± 57.40b	0.97 ± 0.06abc
青引1号 Qingyin No.1	58 166.67 ± 6 041.06abc	3.84 ± 0.31bcd	357.67 ± 50.88ab	383.20 ± 78.16ab	1.03 ± 0.07ab
陇燕3号 Longyan No.3	61 833.33 ± 7 695.96abc	4.35 ± 0.19abcd	262.17 ± 30.60b	255.83 ± 35.26b	0.97 ± 0.05abc
定引1号 Dingyin No.1	56 333.33 ± 4 862.56abc	3.87 ± 0.13bcd	301.83 ± 20.26b	231.00 ± 19.35b	0.77 ± 0.04d
白燕19号 Baiyan No.19	45 500.00 ± 6 815.42cd	4.14 ± 0.50bcd	258.90 ± 37.11b	278.48 ± 33.20b	1.11 ± 0.06ab
坝燕4号 Bayan No.4	69 333.33 ± 3 252.35a	4.81 ± 0.40abc	336.73 ± 25.22ab	287.80 ± 50.06b	0.83 ± 0.08cd
坝燕6号 Bayan No.6	63 500.00 ± 5 058.00ab	4.96 ± 0.45ab	306.10 ± 26.77b	329.70 ± 29.45ab	1.09 ± 0.08ab

同列不同小写字母表示不同品种间差异显著($P < 0.05$), 下同。

Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between different varieties at the 0.05 level. This is applicable for the following tables as well.

‘青海甜燕麦’‘定引1号’‘坝燕4号’差异显著 ($P < 0.05$); 旗叶宽度与‘美达’‘莫妮卡’和‘白燕19号’差异显著 ($P < 0.05$)。茎节数的范围在 3.50~4.38, 其中‘定引1号’的茎节数最多, 较平均值 (3.97) 高出 10.42%; 旗叶长度的范围在 15.33~22.60 cm, ‘坝燕4号’的旗叶最长, ‘燕王’的旗叶最短。

2.4 不同燕麦品种种子产量相关性状对比

在完熟期测定 12 个燕麦品种的两平均种子产量相关性状分析显示 (表 4)。穗长为 18.00~29.67 cm, 平均值 24.86 cm, 其中‘陇燕3号’的穗最长, 显著高于‘燕王’‘美达’($P < 0.05$), 与其他品种无显著差异 ($P > 0.05$)。‘美达’的单株粒数 (94.08) 和单株粒

重 (3.01 g) 均为最高, 较平均值 (64.53、2.05 g) 分别高出 45.79% 和 46.52%; ‘青海甜燕麦’的单株粒数最少 (50.08), ‘莫妮卡’的单株粒重最低 (1.41 g)。种子产量为 3 095.24~7 857.14 kg·hm⁻², 平均值 5 407.14 kg·hm⁻², 其中‘坝燕 4 号’与‘坝燕 6 号’‘燕王’无显著差异 ($P > 0.05$), 但显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 较平均值高出 45.31%; ‘陇燕 3 号’的种子产量最低 (3 095.24 kg·hm⁻²)。千粒重为 24.87~39.8 g, 最高和最低值相差 14.93, 平均千粒重 30.84 g, ‘青海甜燕麦’显著高于其他品种 ($P < 0.05$), ‘定引 1 号’的千粒重最低。

2.5 不同燕麦品种倒伏及发病情况对比

在灌浆期调查 12 个燕麦品种两年倒伏及病害发生情况 (表 5), 实际倒伏率在 15.00~100%, 其中‘梦龙’倒伏率最高, 全部倒伏, ‘梦龙’与‘莫妮卡’‘加燕 2 号’‘青海甜燕麦’‘青引 1 号’‘陇燕 3 号’‘定引 1 号’的倒伏率差异不显著 ($P > 0.05$), 但显著高于其他品种 ($P < 0.05$); ‘坝燕 6 号’的倒伏率最低, 为抗倒伏品种。红叶病发病率为 20.7~65.63%, 病情指数为 5.56~25.67, 平均值分别为 35.95% 和 12.17, 其中, ‘青引 1 号’的发病率和病情指数显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 为 65.63% 和 25.67, 较平均值分别高出 82.56% 和 110.87%; 红叶病发病率低的品种有‘燕王’‘坝燕 6 号’, 可选定为抗红叶病品种。白粉病

发病率为 15.53~70.33%, 病情指数为 4.69~27.61, 其中‘燕王’的发病率和病情指数最高; ‘坝燕 4 号’的发病率最低, ‘加燕 2 号’的病情指数最低, 为抗白粉病品种。锈病发病率为 0~52.33%, 病情指数为 0~34.99, 平均值分别为 19.46% 和 9.7, 其中‘定引 1 号’的发病率最高, ‘坝燕 4 号’的病情指数最大; ‘燕王’‘美达’‘加燕 2 号’的发病率较低; ‘梦龙’‘莫妮卡’‘坝燕 6 号’未发病; ‘燕王’‘美达’‘梦龙’‘莫妮卡’‘坝燕 6 号’的病情指数为 0。12 个品种中‘坝燕 6 号’的倒伏率较低, 红叶病和锈病发病率最低, 为抗倒伏兼抗病品种。

2.6 燕麦各性状灰色关联度分析

选取具有代表性的指标构建理想参考品种, 饲草产量及种子产量相关性状选取各指标的最大值, 抗逆性选取除 0 外各指标最小值, 依次建立的干草产量、叶茎比、有效分蘖数、株高、千粒重、单株粒数、单株粒重、种子产量、倒伏率、红叶病病情指数、白粉病病情指数、锈病病情指数的参考序列为 $\{X_0\} = \{15\ 233.33, 1.14, 2.70, 132.00, 39.80, 94.08, 3.01, 7\ 857.14, 15.00, 5.56, 4.69, 1.59\}$, 对供试 12 个燕麦品种的两年平均产量相关性状、倒伏率以及发病率进行灰色关联度综合分析 (表 6), 12 个指标的权重顺序为株高 > 干草产量 > 叶茎比 > 有效分蘖数 > 千

表 3 不同燕麦品种的农艺性状

Table 3 Agronomic traits of different oat varieties

品种名称 Variety name	株高 Plant height/cm	有效分蘖 Effective tillers	茎粗 Stem diameter/ mm	茎节数 Internode number	旗叶长度 Flag leaf length/cm	旗叶宽度 Flag leaf width/cm
燕王 Yanwang	105.83 ± 7.59c	2.17 ± 0.21abc	4.54 ± 0.33ab	4.22 ± 0.16abc	15.33 ± 1.48b	1.63 ± 0.09abc
美达 Meida	110.00 ± 6.55bc	2.48 ± 0.17ab	3.85 ± 0.22b	3.60 ± 0.18ab	15.93 ± 1.87b	1.50 ± 0.06c
梦龙 Menglong	130.50 ± 5.11a	1.75 ± 0.25c	3.81 ± 0.25b	4.33 ± 0.33cd	18.67 ± 0.88ab	1.72 ± 0.04abc
莫妮卡 Monica	114.00 ± 4.37abc	2.33 ± 0.21abc	3.58 ± 0.34b	3.88 ± 0.18abcd	16.00 ± 0.87b	1.50 ± 0.12c
加燕2号 Jiayan No.2	132.00 ± 6.35a	2.47 ± 0.19ab	3.72 ± 0.11b	3.50 ± 0.19d	19.60 ± 2.50ab	1.90 ± 0.18abc
青海甜燕麦 Qinghai sweet oat	125.72 ± 5.80ab	2.45 ± 0.24abc	4.22 ± 0.42ab	4.00 ± 0.26abcd	20.27 ± 2.23ab	1.97 ± 0.18ab
青引1号 Qingyin No.1	126.17 ± 4.90ab	2.33 ± 0.17abc	3.85 ± 0.40b	3.67 ± 0.21bcd	20.90 ± 1.99ab	1.94 ± 0.24abc
陇燕3号 Longyan No.3	129.95 ± 5.14a	2.70 ± 0.33a	3.90 ± 0.30b	4.27 ± 0.31abc	17.73 ± 1.65ab	1.79 ± 0.16abc
定引1号 Dingyin No.1	131.17 ± 7.49a	2.05 ± 0.23abc	4.27 ± 0.78ab	4.38 ± 0.16a	17.00 ± 1.89ab	1.60 ± 0.20abc
白燕19号 Baiyan No.19	105.50 ± 4.31c	2.17 ± 0.18abc	3.37 ± 0.27b	3.60 ± 0.17cd	16.10 ± 1.36b	1.55 ± 0.03bc
坝燕4号 Bayan No.4	117.83 ± 5.13abc	2.37 ± 0.15abc	4.17 ± 0.51ab	4.23 ± 0.16abc	22.60 ± 1.45a	1.69 ± 0.03abc
坝燕6号 Bayan No.6	127.83 ± 6.73ab	1.82 ± 0.20bc	5.23 ± 0.57a	3.92 ± 0.11abcd	18.77 ± 1.08ab	2.02 ± 0.09a

表 4 不同燕麦品种种子产量相关性状
Table 4 Seed yield related traits of different oat varieties

品种名称 Variety name	穗长 Ear length/cm	单株粒数 Grain number per spike	单株粒重 Grain weight per spike/g	种子产量 Seed yield/(kg·hm ⁻²)	千粒重 Thousand seed weight/g
燕王 Yanwang	21.00 ± 1.73bc	77.02 ± 5.59ab	2.25 ± 0.25bcd	6 619.05 ± 454.26ab	29.02 ± 0.25fg
美达 Meida	18.00 ± 1.16c	94.08 ± 5.15a	3.01 ± 0.21a	5 761.91 ± 125.99bc	30.07 ± 0.48ef
梦龙 Menglong	25.00 ± 1.16abc	57.25 ± 5.92bc	1.56 ± 0.20cde	5 619.05 ± 423.25bc	28.65 ± 0.34fg
莫妮卡 Monica	25.33 ± 0.33abc	50.52 ± 3.90c	1.41 ± 0.14e	5 238.10 ± 415.13c	27.20 ± 0.85g
加燕2号 Jiayan No.2	26.67 ± 1.20ab	76.02 ± 3.99ab	2.42 ± 0.22ab	5 666.67 ± 497.16bc	28.37 ± 0.48fg
青海甜燕麦 Qinghai sweet oat	29.00 ± 1.00ab	50.08 ± 4.79c	1.91 ± 0.26bcde	3 809.52 ± 579.31de	39.80 ± 0.43a
青引1号 Qingyin No.1	24.33 ± 0.33abc	56.88 ± 6.37bc	2.08 ± 0.22bcde	5 142.86 ± 824.79c	37.80 ± 1.02b
陇燕3号 Longyan No.3	29.67 ± 2.60a	52.03 ± 4.87c	1.52 ± 0.19de	3 095.24 ± 454.26e	25.42 ± 0.67h
定引1号 Dingyin No.1	25.67 ± 6.44abc	67.35 ± 6.48bc	1.82 ± 0.22bcde	4 409.52 ± 153.27cd	24.87 ± 0.50h
白燕19号 Baiyan No.19	21.67 ± 3.67abc	63.00 ± 7.03bc	2.18 ± 0.24bcde	4 571.43 ± 82.48cd	31.25 ± 0.86de
坝燕4号 Bayan No.4	24.33 ± 0.88abc	65.50 ± 10.93	2.16 ± 0.40bcde	7 857.14 ± 82.48a	35.53 ± 0.56c
坝燕6号 Bayan No.6	27.67 ± 1.20ab	64.62 ± 6.89bc	2.34 ± 0.29abc	7 095.24 ± 47.62a	32.12 ± 0.16d

表 5 不同燕麦品种倒伏率及病害发生情况
Table 5 Lodging and disease occurrence of different oat varieties

品种名称 Variety name	实际倒伏率 Actual lodging rate/%	红叶病 Red-leaf disease		白粉病 Powdery mildew		锈病 Rust disease	
		发病率 Incidence rate/%	病情指数 Disease index	发病率 Incidence rate/%	病情指数 Disease index	发病率 Incidence rate/%	病情指数 Disease index
燕王 Yanwang	28.88 ± 16.02c	20.87 ± 1.27g	5.56 ± 0.16h	70.33 ± 2.60a	27.61 ± 0.70a	4.00 ± 2.08d	0.00 ± 0.00d
美达 Meida	31.12 ± 16.57c	48.40 ± 1.51b	17.22 ± 0.94b	42.33 ± 1.45b	8.47 ± 0.66d	8.00 ± 1.53d	0.00 ± 0.00d
梦龙 Menglong	100.00 ± 0.00a	35.13 ± 0.93d	14.40 ± 0.44cd	24.83 ± 1.01cd	5.66 ± 0.69e	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d
莫妮卡 Monica	82.50 ± 6.29ab	30.60 ± 1.31e	10.80 ± 0.67ef	30.03 ± 0.90c	5.72 ± 0.52e	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d
加燕2号 Jiayan No.2	79.93 ± 16.14ab	35.40 ± 1.40d	7.62 ± 0.63gh	19.70 ± 1.60d	4.69 ± 0.12e	6.00 ± 2.08d	1.59 ± 0.26d
青海甜燕麦 Qinghai sweet oat	81.33 ± 16.38ab	48.30 ± 1.25b	14.80 ± 0.50c	50.13 ± 1.39b	9.82 ± 0.81cd	28.60 ± 1.53b	8.40 ± 1.06c
青引1号 Qingyin No.1	56.00 ± 14.19abc	65.63 ± 1.34a	25.67 ± 0.69a	45.07 ± 9.33b	10.78 ± 1.44bcd	37.00 ± 4.36b	18.38 ± 0.98b
陇燕3号 Longyan No.3	76.00 ± 16.00ab	24.80 ± 1.22f	5.59 ± 0.06h	62.93 ± 1.90a	12.57 ± 0.46b	31.13 ± 2.14b	17.54 ± 1.07b
定引1号 Dingyin No.1	80.00 ± 16.33ab	30.60 ± 0.86e	10.39 ± 0.42ef	50.07 ± 0.87b	10.59 ± 1.12bcd	52.33 ± 5.24a	18.58 ± 0.96b
白燕19号 Baiyan No.19	38.33 ± 15.53bc	28.33 ± 1.00ef	9.71 ± 0.96fg	44.97 ± 1.36b	9.21 ± 0.76d	17.10 ± 4.82c	16.92 ± 0.96b
坝燕4号 Bayan No.4	39.35 ± 13.85bc	42.63 ± 1.00c	12.22 ± 0.81de	15.53 ± 2.44d	12.12 ± 0.90bc	49.40 ± 2.62a	34.99 ± 1.04a
坝燕6号 Bayan No.6	15.00 ± 7.19c	20.70 ± 1.51g	12.10 ± 1.51e	40.90 ± 1.16b	12.47 ± 0.96bc	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d

粒重 > 种子产量 > 单株粒数 > 单株粒重 > 红叶病病情指数 > 白粉病病情指数 > 倒伏率 > 锈病病情指数, 可见, 株高、干草产量、叶茎比 3 个性状指标在该评价系统中所占权重最高。12 个供试燕麦品种的加权关联度从高到低依次为‘加燕 2 号’ > ‘坝燕 6 号’ > ‘美达’ > ‘燕王’ > ‘莫妮卡’ > ‘梦龙’ > ‘白燕 19 号’ > ‘青海甜燕麦’ > ‘陇燕 3 号’ > ‘坝燕

4 号’ > ‘定引 1 号’ > ‘青引 1 号’, 其中‘加燕 2 号’的加权关联度最大 (0.967), 说明该品种各项指标最接近理想品种, 而‘青引 1 号’表现较差, 与理想品种相似程度最小, 其他品种处于中间水平, 加权关联度的变化范围在 0.912~0.964。

2.7 不同燕麦品种聚类分析

采用组间联接的方法, 对 12 个燕麦品种的两

平均产量性状、倒伏及发病情况进行聚类分析,当欧氏距离为15的时,依据树状图(图2)和各类群表型性状平均值(表7),将12个燕麦品种聚为3个类群。第Ⅰ类群包含‘梦龙’‘加燕2号’‘青引1号’‘陇燕3号’‘定引1号’共5个品种,该类群平均干草产量及株高较高,分别为 $14\ 803.33\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $129.96\ \text{cm}$,可作为饲草品种;但是倒伏率、红叶病及锈病病情指数也相对较高,抗逆性差。第Ⅱ类群包含‘燕王’‘坝燕6号’‘美达’‘坝燕4号’共4个品种,该类群单株粒数、单株粒重和种子产量的平均值最高,倒伏率最低,可作为籽粒型品种。第Ⅲ类群包含‘莫妮卡’‘白燕19号’‘青海甜燕麦’共3个品种,该类群干草产量及种子产量均为最低,但倒伏率、红叶病、白粉病和锈病的病情指数低,抗逆性好。

3 讨论

3.1 不同燕麦品种物候期比较

物候期与牧草自身的生物学特性、土壤墒情、播种时间、气候条件有直接关系^[22],本研究中,2020年燕麦出苗时间为30~35 d,2021年出苗时间为16~19 d,出苗时间相对较长;水热条件适宜时,燕麦播种后8~10 d即可出苗,但黄土高原沟壑区春季干旱少雨,有效积温不足,加之燕麦自身具有的“保苗”机制,整体导致了燕麦出苗时间的延长,这与张成君等^[23]的研究结果一致。另外,2020年燕麦生育期为77~93 d,2021年生育期为87~99 d,两年生育期相差10~22 d,其可能原因是2020年出苗的时间延长,加之乳熟期高温高湿气候,整体缩短了燕麦生育期,导致两年燕麦生育期相差较大。播种期、土壤墒情是影响燕麦品种出苗和早熟的重要因素,不同播种时间影响燕麦的发育过程,在异地引种时应考虑引进燕麦品种的播种时间,根据当地土壤墒情适时播种^[24]。黄土沟壑区种植的燕麦一般为春燕麦,清明节前后是最适播种时间,这个节气一般会有或多或少降水,降水改善了土壤墒情,确保了燕麦正常出苗,使得燕麦在当地气候条件下保持较好的生长发育。

3.2 不同燕麦品种饲草产量相关性状比较

本研究通过权重比较可知株高、干草产量、叶茎比在灰色关联评价系统中所占权重最高,是品种

选择时的重要指标。株高是影响燕麦产量的重要农艺性状之一,合理的株高是良好株型的基础^[25]。本研究发现,12个燕麦品种株高为 $105.50\sim 132.00\ \text{cm}$,平均株高 $121.38\ \text{cm}$,供试燕麦品种在黄土高原沟壑区的平均株高低于张掖肃南高寒冷地区^[16]和西藏河谷地带^[17]的平均株高,却明显高于冀西北地区^[26]、川西北高寒地区^[27]和达拉特旗地区^[9],这与品种自身的遗传特点有关,也与受试区域气候条件、栽培管理措施、海拔高度有关。干草产量作为衡量燕麦生产性能和经济价值的重要指标,本研究区域为黄土高原沟壑区,气候冷凉,光照充足,引进燕麦适应性和稳定性表现良好,供试的12个燕麦品种干草产量为 $10\ 800.00\sim 15\ 233.33\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均产量 $13\ 298.61\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,接近饲用燕麦中产区的产量水平,显著高于黄河三角洲^[28]、西藏日喀则^[29]地区的燕麦干草产量,说明引进燕麦品种在黄土高原沟壑区有较高的产量价值。叶茎比与产草量、纤维含量、营养品质和饲用价值有关,叶茎比较大的品种叶量丰富,营养品质高^[14]。本研究中‘美达’的叶茎比最高,达到1.14,较平均值高出18.45%,说明‘美达’的牧草品质和适口性较佳,而张杰等研究表明‘美达’的叶茎比较低,这可能与供试材料以及受试区域有关。

3.3 不同燕麦品种种子产量相关性状比较

种子产量是燕麦种子生产性能的直接体现^[30],本研究中,12个燕麦品种的种子产量为 $3\ 095.24\sim 7\ 857.14\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均值 $5\ 407.14\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,种子产量较川西北高寒地区^[27]高,说明黄土高原沟壑区较川西北高寒地区更适宜籽粒型燕麦的种植。影响种子产量的因素有很多,主要包括粒数、粒重、千粒重等,其中任何一个因素的变化,都可引起产量的变化^[31]。张琦等^[32]研究表明单株分蘖数对于江淮地区燕麦籽粒丰产至关重要;郭兴燕等^[33]研究发现在宁夏引黄灌区有效分蘖数、单穗重、每小穗粒数对燕麦单株种子产量的贡献率最大。本研究中‘坝燕4号’的种子产量最高,而‘坝燕4号’的单株穗粒数、单株种子产量均居中,千粒重则相对较高,说明千粒重对种子产量的影响较大。千粒重作为影响产量的重要农艺性状,是种子质量的标志,柴继宽等^[31]在分析燕麦种子产量构成因子与产量的关联性时发现,千粒重与种子产量显著相关,种子千粒重标志着种子的发育程度,种子越饱满、发育越完全,相

表 6 燕麦各性状关联度分析
Table 6 Correlation degrees of various traits in oat

品种名称 Variety name	干草产量 Hay yield	叶茎比 Leaf-to-stem ratio	有效分蘖 Effective tillers	株高 Plant height	千粒重 Thousand seed weight	单粒粒数 Grain number per spike	单株粒重 Grain weight per spike	种子产量 Seed yield	倒伏率 Lodging rate	红叶病 Red-leaf disease	白粉病 Powdery mildew	锈病 Rust disease	加权关联度 Weighted correlation degree	排序 Ranking
燕王 Yanwang	0.987	0.970	0.982	0.982	0.975	0.983	0.977	0.985	0.919	1.000	0.683	0.913	0.949	4
美达 Meida	0.981	1.000	0.992	0.984	0.977	1.000	1.000	0.975	0.907	0.834	0.929	0.913	0.961	3
梦龙 Menglong	1.000	0.987	0.968	0.999	0.974	0.964	0.956	0.974	0.650	0.869	0.981	0.913	0.942	6
莫妮卡 Monica	0.974	0.982	0.987	0.987	0.971	0.958	0.952	0.969	0.700	0.918	0.980	0.913	0.945	5
加燕2号 Jiayan No.2	0.998	0.989	0.992	1.000	0.973	0.982	0.982	0.974	0.708	0.966	1.000	1.000	0.967	1
青海甜燕麦 Qinghai sweet oat	0.973	0.986	0.991	0.996	1.000	0.957	0.966	0.953	0.704	0.863	0.906	0.710	0.926	8
青引1号 Qingyin No.1	0.999	0.991	0.987	0.996	0.995	0.964	0.971	0.968	0.794	0.744	0.890	0.499	0.912	12
陇燕3号 Longyan No.3	0.993	0.987	1.000	0.999	0.967	0.959	0.955	0.945	0.721	1.000	0.862	0.512	0.920	9
定引1号 Dingyin No.1	0.996	0.970	0.978	0.999	0.966	0.974	0.964	0.960	0.708	0.924	0.893	0.496	0.915	11
白燕19号 Baiyan No.19	0.973	0.998	0.982	0.981	0.980	0.970	0.974	0.962	0.871	0.934	0.916	0.521	0.932	7
坝燕4号 Bayan No.4	0.997	0.975	0.989	0.990	0.990	0.972	0.974	1.000	0.866	0.898	0.869	0.333	0.919	10
坝燕6号 Bayan No.6	0.986	0.996	0.970	0.997	0.982	0.971	0.979	0.991	1.000	0.899	0.864	0.913	0.964	2
关联度 Relevancy	0.988	0.986	0.985	0.992	0.979	0.971	0.971	0.971	0.796	0.904	0.898	0.720		
权重系数 Weight coefficient	0.089	0.088	0.088	0.089	0.088	0.087	0.087	0.087	0.071	0.081	0.080	0.065		
排名 Ranking	2	3	4	1	5	7	8	6	11	9	10	12		

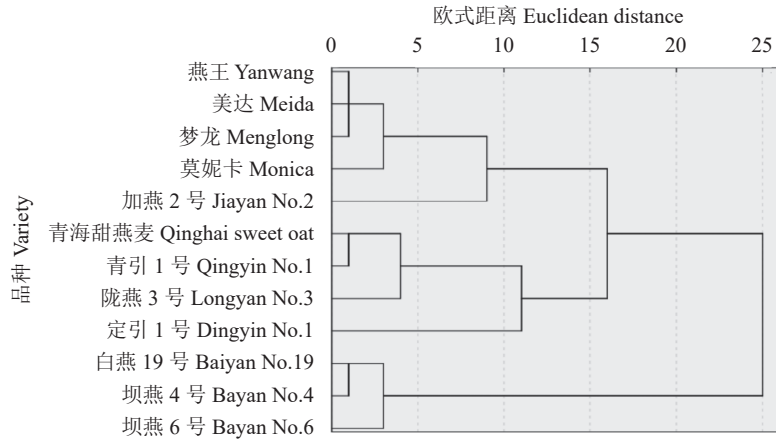


图 2 不同燕麦品种系统聚类图

Figure 2 Cluster analysis diagram of different oat varieties

表 7 不同燕麦品种类群划分

Table 7 Classification of different oat varieties

性状 Trait	类群 I Group I		类群 II Group II		类群 III Group III	
	平均值 Average	变异系数(CV) Coefficient of variation/%	平均值 Average	变异系数(CV) Coefficient of variation/%	平均值 Average	变异系数(CV) Coefficient of variation/%
干草产量 Hay yield	14 803.33	2.59	13 233.34	7.18	10 877.78	0.80
叶茎比 Leaf-to-stem ratio	0.95	9.90	0.95	17.08	1.00	8.09
有效分蘖 Effective tillers	2.26	14.63	2.21	11.36	2.32	4.95
株高 Plant height	129.96	1.55	115.37	7.27	115.07	7.20
千粒重 Thousand seed weight	29.03	16.00	31.69	7.84	32.75	16.04
单株粒数 Grain number per spike	61.91	13.96	75.31	15.79	54.53	10.98
单株粒重 Grain weight per spike	1.88	17.92	2.44	13.74	1.83	17.40
种子产量 Seed yield	4 786.67	20.03	6 833.34	11.12	4 539.68	12.86
倒伏率 Lodging rate	78.39	17.85	28.59	30.64	67.39	30.50
红叶病病情指数 Red-leaf disease	12.73	55.84	11.78	35.16	11.77	18.59
白粉病病情指数 Powdery mildew	8.86	35.00	15.17	48.48	8.25	21.89
锈病病情指数 Rust disease	11.22	76.06	8.75	173.21	8.44	81.84

应的千粒重越大。

3.4 不同燕麦品种倒伏及病害发生情况比较

综合评价燕麦品种不仅要关注农艺性状，倒伏和病害发生情况也对燕麦产量和营养品质也造成直接影响。黄土高原沟壑区属中温带半干旱区，燕麦灌浆期田间群体郁蔽程度高，茎秆支撑强度弱，极易发生倒伏^[34]。本研究中，12个燕麦品种在灌浆期出现不同程度倒伏，实际倒伏率为15%~100%，其中，‘梦龙’倒伏率最高，全部倒伏，‘坝燕

6号’倒伏率最低，为抗倒伏品种。燕麦红叶病是该地区发病范围最广，危害程度最高的病害，本研究中，红叶病发病率为20.7~65.63%，其中，‘青引1号’发病率和病情指数最高，‘燕王’‘坝燕6号’的发病率较低。胡凯军^[35]研究发现红叶病的发生与燕麦品种的遗传特性以及对环境的适应性有关，燕麦抗逆性越好，病害发生率越低；环境条件越有利，越能够较大程度减轻病害发生，因此筛选出‘燕王’‘坝燕6号’为该地区抗红叶病品种。白粉病是麦类植物上危害较为严重的真菌性病害之一，赵峰等^[36]

和郭斌等^[37]研究发现影响燕麦白粉病发生最主要因素是品种,不同基因型的燕麦品种对白粉病病原菌抗性存在差异,本研究中,不同燕麦品种白粉病发病率不同,其中‘燕王’的发病率和病情指数最高,为感病品种;‘坝燕 4 号’的发病率最低,‘加燕 2 号’的病情指数最低,为抗白粉病品种;当地品种‘定引 1 号’的发病率较高,为 50.07%,这与孙浩洋等^[38]的研究结果存在差异,说明黄土高原地区不同种植区域的燕麦病害差异较大。本研究仅对供试材料的倒伏及病害发生情况进行了评价,未考虑这些品种因倒伏和病害的发生对燕麦饲草品质和饲用性能造成的影响,因此在后续的研究中会纳入上述评价指标,进行综合分析。

3.5 不同燕麦品种性状指标综合分析

燕麦的遗传特性和生长环境共同决定了燕麦的生长适应性,采用聚类分析方法可使性状相似的品种聚为同一类。周青平等^[39]采用聚类分析方法将青海省普遍种植的 8 种燕麦品种分为 2 大类,分别为综合表现差的品种和好品种;姜慧新等^[40]对 22 个参试品种的生长性状与养分指标进行聚类分析,将品种划分为 4 个类群,第 I 类群为高相对饲

喂价值的优质组,第 II 类群为低相对饲喂价值的劣质组,第 III 类群为植株高大组,第 IV 类群为叶量丰富的高蛋白组。本研究采用聚类分析方法将 12 个燕麦品种划分为 3 个类群,第 I 类群可作为饲草品种,第 II 类群可作为籽粒型品种,第 III 类群倒伏率及病情指数低,抗逆性好。综合灰色关联度和聚类分析方法,筛选出适宜黄土高原沟壑区种植的产量高、适应性好的饲草燕麦品种为‘加燕 2 号’,籽粒型燕麦品种为‘坝燕 6 号’和‘美达’。

4 结论

通过对国内外引进的 12 个燕麦品种在黄土高原沟壑区两年产量相关性状、倒伏及病害发生情况进行综合分析,筛选出指标最接近理想品种,加权关联度最大的燕麦品种‘加燕 2 号’,其干草产量为 14 916.67 kg·hm⁻²,种子产量为 5 666.67 kg·hm⁻²,株高 132 cm,分蘖数 2.47,千粒重 28.37g,红叶病病情指数 7.62,白粉病病情指数 4.69,锈病病情指数 1.59。综合灰色关联度和聚类分析方法,筛选出适宜黄土高原沟壑区种植的产量高、适应性好的饲草燕麦品种为‘加燕 2 号’,籽粒型燕麦品种为‘坝燕 6 号’和‘美达’。

参考文献 References:

- [1] 任长忠,胡跃高,刘景辉. 中国燕麦学. 北京: 中国农业出版社, 2013: 1-4.
REN C Z, HU Y G, LIU J H. Chinese Oatology. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 1-4.
- [2] 王慧,杨富,姜超,施毅,李刚. 燕麦品种(系)的营养品质综合评价. 麦类作物学报, 2021, 41(2): 203-211.
WANG H, YANG F, JIANG C, SHI Y, LI G. Comprehensive evaluation of nutritional quality of oat varieties (lines). Journal of Triticeae Crops, 2021, 41(2): 203-211.
- [3] OBOUR A K, HOLMAN J D, SCHLEGEL A J. Seeding rate and nitrogen application effects on oat forage yield and nutritional value. Journal of Plant Nutrition, 2019, 42(13): 1-9.
- [4] 张莹,陈志飞,张晓娜,宋书红,杨卓,杨云贵. 不同刈割期对春播、秋播燕麦干草产量和品质的影响. 草业学报, 2016, 25(11): 124-135.
ZHANG Y, CHEN Z F, ZHANG X N, SONG S H, YANG Z, YANG Y G. Influence of different mowing time on yield and quality of spring and autumn sown oat hay. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(11): 124-135.
- [5] ABDELERALEIL S A M, ABDELRAZEEK N, SOLIMAN S A. Herbicidal activity of three sesquiterpene lactones on wild oat (*Avena fatua*) and their possible mode of action. Weed Science, 2009, 57(1): 6-9.
- [6] 慕平,赵桂琴,柴继宽. 基于 GGE-Biplot 的甘肃省不同生态区燕麦生产性能及适应性分析. 中国生态农业学报, 2015, 23 (6): 705.
MU P, ZHAO G Q, CHAI J K. Analysis of oats productivity and adaptability in different ecological regions of Gansu Province using GGE-Biplot. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23 (6): 705-712.
- [7] 南铭,赵桂琴,李晶,柴继宽. 西北半干旱区引种燕麦品种产量与品质的关联分析及评价. 草地学报, 2018, 26(1): 125-133.

- NAN M, ZHAO G Q, LI J, CHAI J K. Correlation analysis and synthesis evaluation of yield and quality introduced oat varieties in semi-arid area of northwest. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(1): 125-133.
- [8] ACHLEITNER A, TINKER N A, ZECHNER E. Genetic diversity among oat varieties of worldwide origin and associations of AFLP markers with quantitative traits. *Theoretical and Applied Genetics*, 2008, 117(7): 1041-1053.
- [9] 张杰, 闫志坚, 尹强, 王慧, 于洁, 孟元发, 王育青. 22种燕麦饲草品种在达拉特旗地区的评价与筛选. *中国草地学报*, 2020, 42(6): 134-140.
- ZHANG J, YAN Z J, YIN Q, WANG H, YU J, MENG Y F, WANG Y Q. Evaluation and screening of twenty two oat forage cultivars in Dalad Qi. *Chinese Journal of Grassland*, 2020, 42(6): 134-140.
- [10] 魏小星, 阿敞兰, 刘勇, 贾志峰, 石红霄, 周青平, 刘芳. 青海东部农区不同饲用燕麦品种生产性能及营养品质的比较. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(6): 24-28.
- WEI X X, A Q L, LIU Y, JIA Z F, SHI H X, ZHOU Q P, LIU F. Study on the production performance and nutritional quality of different oat varieties in the pastoral region of eastern Qinghai Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2019, 37(6): 24-28.
- [11] 曹丽霞, 赵世锋, 石碧红, 张新军, 李云霞, 杨志敏. 6个饲用燕麦品种不同刈割期的产草量比较. *河北农业科学*, 2017, 21(6): 11-16.
- CAO L X, ZHAO S F, SHI B H, ZHANG X J, LI Y X, YANG Z M. Comparison of grass yield of six forage oat varieties at different mowing periods. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2017, 21(6): 11-16.
- [12] 王霞. 不同饲用燕麦和玉米品种在乌兰察布不同地区品比研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2020.
- WANG X. Study on forage oat and maize varieties in different areas of Ulanqab. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020.
- [13] 赵怡然, 高峰, 白倩, 苗福泓, 杨国峰, 孙震, 刘洪庆, 孙娟. 山东地区宜栽燕麦品种筛选. *青岛农业大学学报*, 2018, 35(1): 022-026.
- ZHAO Y R, GAO F, BAI Q, MIAO F H, YANG G F, SUN Z, LIU H Q, SUN J. Screening of suitable oat varieties for early spring cultivation in Shandong Province. *Journal of Qingdao Agricultural University*, 2018, 35(1): 022-026.
- [14] 赵宁, 赵秀芳, 赵来喜, 戎郁萍. 不同燕麦品种在坝上地区的适应性评价. *草地学报*, 2009, 17(1): 68-72.
- ZHAO N, ZHAO X F, ZHAO L X, RONG Y P. Adaptability evaluation of different *Avena sativa* varieties in Bashang, Hebei Province. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(1): 68-72.
- [15] 吴亚, 张卫红, 陈鸣晖, 刘大林. 不同品种燕麦在扬州地区的生产性能. *草业科学*, 2018, 35(7): 1728-1733.
- WU Y, ZHANG W H, CHEN M H, LIU D L. Production performance of different oat varieties in Yangzhou region. *Pratacultural Science*, 2018, 35(7): 1728-1733.
- [16] 杨海磊, 徐长林, 鱼小军, 肖红, 张建文, 安晓东, 杨发森, 任宝虎, 周瑞娟. 14份燕麦种质在肃南皇城镇的生产性能比较. *草业科学*, 2016, 33(1): 129-135.
- YANG H L, XU C L, YU X J, XIAO H, ZHANG J W, AN X D, YANG F S, REN B H, ZHOU R J. Comparative study on the performance of 14 oat (*Avena sativa*) germplasm in Huangcheng Town of Sunan County, Gansu Province. *Pratacultural Science*, 2016, 33(1): 129-135.
- [17] 张光雨, 王江伟, 张豪睿, 付刚, 沈振西. 西藏日喀则地区8个引进燕麦品种的生产性能和营养品质比较. *草业科学*, 2019, 36(4): 1117-1125.
- ZHANG G Y, WANG J W, ZHANG H R, FU G, SHEN Z X. Comparative study on production performance and nutritional quality of eight imported oat varieties in the Shigatse region of Tibet, China. *Pratacultural Science*, 2019, 36(4): 1117-1125.
- [18] 赵祎伟, 马祥, 张然, 马晖玲. 青海东部农区高产优质燕麦品种筛选. *草业科学*, 2020, 37(3): 532-541.
- ZHAO Y W, MA X, ZHANG R, MA H L. Selection of high-yield and good-quality oat varieties in the eastern agricultural area of Qinghai Province. *Pratacultural Science*, 2020, 37(3): 532-541.
- [19] 柴继宽, 慕平, 赵桂琴. 8个燕麦品种在甘肃的产量稳定性及试点代表性研究. *草地学报*, 2016, 24(5): 1100-1107.
- CHAI J K, MU P, ZHAO G Q. Study on Yield stability and test representative study of eight oat varieties in Gansu Province. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(5): 1100-1107.
- [20] 郑殿升, 王晓鸣, 张京. 燕麦种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 55-57.

- ZHENG D S, WANG X M, ZHANG J. Specification and Data Standard for Description of Oat Germplasm Resources. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 55-57.
- [21] 中华人民共和国农业部. NY/T 1443.6—2007 小麦抗病虫害性评价技术规范. 北京: 中国农业出版社, 2007.
MINISTRY OF AGRICULTURE, PRC. NY/T 1443.6—2007 Technical Specification for Evaluation of Wheat Resistance to Disease and Insect. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [22] 徐雅梅, 张卫红, 蔺永和, 刘大林, 苗彦军. 锰对西藏不同地域野生赖草萌发的影响及评价. 环境科学与技术, 2017, 40(5): 73-79.
XU Y M, ZHANG W H, LIN Y H, LIU D L, MIAO Y J. Effects and evaluations on germination on period of wild *Leymus secalinus* in different regions of Tibet under the MnCl₂ stress. Environmental Science & Technology, 2017, 40(5): 73-79.
- [23] 张成君, 任生兰, 边芳, 黄凯, 陈富, 杨洁, 张明, 刘彦明. 陇中黄土高原半干旱区 9 个燕麦品种籽粒产量及其营养价值研究. 草地学报, 2022, 30(11): 3082-3089.
ZHANG C J, REN S L, BIAN FANG, HUANG K, CHEN F, YANG J, ZHANG M, LIU Y M. Study on the grain yield and nutritional value of nine oat varieties in the semi-arid area of the Loess Plateau in central Gansu. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(11): 3082-3089.
- [24] 南铭, 景芳, 边芳, 任生兰, 刘彦明. 6 个裸燕麦品种在甘肃中部引洮灌区的生产性能及饲用价值比较. 草地学报, 2020, 28(6): 1635-1642.
NAN M, JING F, BIAN F, REN S L, LIU Y M. Comparison of production performance and feeding value of six oat varieties at Tao river irrigation middle-area in Gansu Province. Acta Agrestia Sinica, 2020, 28(6): 1635-1642.
- [25] 琚泽亮, 赵桂琴, 柴继宽, 贾志峰, 梁国玲. 不同燕麦品种在甘肃中部的营养价值及青贮发酵品质综合评价, 草业学报, 2019, 28(9): 77-86.
JU Z L, ZHAO G Q, CHAI J K, JIA Z F, LIANG G L. Comprehensive evaluation of nutritional value and silage fermentation quality of of different oat varieties in central Gansu Province, Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(9): 77-86.
- [26] 王运涛, 杨志敏, 刘建成, 李峰, 于林清, 远婷, 梁潇, 周文秀. 冀西北地区 21 个燕麦品种生产性能与营养品质综合评价, 草地学报, 2020, 28(5): 1311-1318.
WANG Y T, YANG Z M, LIU J C, LI F, YU L Q, YUAN T, LIANG X, ZHOU W X. Comprehensive evaluation of production performance and nutritional quality of 21 oat varieties in northwest Hebei Province. Acta Agronomica Sinica, 2020, 28(5): 1311-1318.
- [27] 彭先琴, 周青平, 刘文辉, 魏小星, 田莉华, 陈有军, 王沛. 川西北高寒地区 6 个燕麦品种生长特性的比较分析. 草业科学, 2018, 35(5): 1208-1217.
PENG X Q, ZHOU Q P, LIU W H, WEI X X, TIAN L H, CHEN Y J, WANG P. A comparative analysis of growth characteristics of six oat cultivars in the north-west Sichuan Alpine Region. Pratacultural Science, 2018, 35(5): 1208-1217.
- [28] 王国良, 吴波, 张进红, 姜慧新, 孙启忠. 黄河三角洲地区不同品种燕麦生产性能比较, 中国草地学报, 2020, 42(6): 141-148.
WANG G L, WU B, ZHANG J H, JIANG H X, SUN Q Z. The Comparison of production of different oat varieties in the Yellow River Delta, Chinese Journal of Grassland, 2020, 42(6): 141-148.
- [29] 吴海艳, 曲珍, 刘昭明, 拉巴顿珠, 同桑措姆, 曲尼, 尼玛, 卓嘎, 马玉寿. 基于主成分分析的燕麦品种生产性能的比较研究, 草地学报, 2021, 29(9): 1967-1973.
WU H Y, QU Z, LIU Z M, Labadunzhu, Tongsanguomu, QU N, NI M, ZHUO G, MA Y T. Comparative study on production performance of oat varieties based on principal component analysis, Acta Agrestia Sinica, 2021, 29(9): 1967-1973.
- [30] 张光雨, 马和平, 邵小明, 王江伟, 沈振西, 付刚. 西藏河谷区 9 个引进燕麦品种的生产性能和营养品质比较研究. 草业学报, 2019, 28(5): 121-131.
ZHANG G Y, MA H P, SHAO X M, WANG J W, SHEN Z X, FU G. A comparative study of yield and nutritive value of nine imported oat varieties in the valley region of Tibet. Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(5): 121-131.
- [31] 柴继宽, 赵桂琴, 师尚礼. 燕麦种子产量构成因子与产量的关联性分析, 草地学报, 2012, 20(1): 49-53.
CHAI J K, ZHAO G Q, SHI S L. Association analysis between seed yield and yield components of oats. Acta Agrestia Sinica, 2012, 20(1): 49-53.
- [32] 张琦, 魏臻武, 闫天芳. 江淮地区燕麦籽粒产量与农艺性状的相关性及通径分析. 作物杂志, 2021(5): 146-152.

- ZHANG Q, WEI Z W, YAN T F. Correlation and path analysis of oat seed yield with agronomic characters in Jiang-Huai area. *Crops*, 2021(5): 146-152.
- [33] 郭兴燕, 梁丹妮, 兰剑. 宁夏引黄灌区燕麦品种生产性能及营养价值研究. *作物杂志*, 2016(4): 105-111.
GUO X Y, LIANG D N, LAN J. Research on productive performance and nutritive value of 11 oat varieties in Ningxia irrigation area. *Crops*, 2016(4): 105-111.
- [34] 南铭, 赵桂琴, 柴继宽. 20 份饲草型燕麦品种的抗倒伏性研究. *草原与草坪*, 2019, 39(5): 62-68.
NAN M, ZHAO G Q, CHAI J K. Study on lodging resistance of 20 forage oat (*Avena sativa*) varieties. *Grassland and Turf*, 2019, 39(5): 62-68.
- [35] 胡凯军. 抗红叶病燕麦种质评价与筛选. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2010.
Hu Kaijun. Evaluation and screening of Oat germplasm resistant to red leaf disease. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2010.
- [36] 赵峰, 郭满库, 郭成, 尚新新, 赵志鹏, 赵桂琴. 213 份燕麦种质的白粉病抗性评价. *草业科学*, 2017, 34(2): 331-338.
ZHAO F, GUO M K, GUO C, SHANG X X, ZHAO Z P, ZHAO G Q. Powdery mildew resistance evaluation of 213 oat germplasm resistance powdery mildew. *Pratacultural Science*, 2017, 34(2): 331-338.
- [37] 郭斌, 郭满库, 郭成, 尚新新, 赵志鹏, 赵桂琴. 燕麦种质资源抗白粉病鉴定及利用评价. *植物保护*, 2012, 38(4): 144-146.
GUO B, GUO M K, GUO C, SHANG X X, ZHAO Z P, ZHAO G Q. Identification and evaluation of oat germplasm resistance to powdery mildew. *Plant Protection*, 2012, 38(4): 144-146.
- [38] 孙浩洋, 赵桂琴, 张建贵, 李鑫, 杨琰珊, 柴继宽, 曾亮, 焦润安, 金小雯, 黎蓉, 宫文龙. 甘肃省燕麦主产区白粉病调查及病原鉴定. *草地学报*, 2020, 28(6): 1535-1543.
SUN H Y, ZHAO G Q, ZHANG J G, LI X, YANG Y S, CHAI J K, ZENG L, JIAO R A, JIN X W, LI R, GONG W L. Incidence of oat powdery mildew and pathogen identification in the main oat production areas of Gansu Province. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(6): 1535-1543.
- [39] 周青平, 颜红波, 梁国玲, 贾志峰, 刘文辉, 田莉华, 陈有军, 陈仕勇. 不同燕麦品种饲草和籽粒生产性能分析. *草业学报*, 2015, 24(10): 120-130.
ZHOU Q P, YAN H B, LIANG G L, JIA Z F, LIU W H, TIAN L H, CHEN Y J, CHEN S Y. Analysis of the forage and grain productivity of oat cultivars. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(10): 120-130.
- [40] 姜慧新, 柏杉杉, 吴波, 宋静怡, 王国良. 22 个燕麦品种在黄淮海地区的农艺性状与饲草品质综合评价. *草业学报*, 2021, 30(1): 140-149.
JIANG H X, BAI S S, WU B, SONG J Y, WANG G L. A multivariate evaluation of agronomic traits and forage quality of 22 oat varieties in the Huang-Huai-Hai area of China. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(1): 140-149.

(责任编辑 苟燕妮)