网络出版时间:2026-04-08 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.10.005

黄土高原黄河灌区不同品种饲用小黑麦的适应性评价

呼国斌[1,2],马维越[1,2],赖佳辉[1,2],段迎港[1,2],詹文晶[1,2],
孙梦雨[1,2],黄体乐[1,2],高文俊[1,2]

(1 山西农业大学 草业学院,山西 太谷 030801;2 农业农村部 饲草高效生产模式创新重点实验室,山西 太谷 030801)

[摘 要] 【目的】对黄土高原黄河灌区饲用小黑麦(*Triticale wittmack*)的适应性进行评价,为筛选适宜该区域种植的优质饲用小黑麦品种提供参考。【方法】2022年在山西太原市清徐县开展甘农2号、石大1号、冀饲1号、冀饲2号、冀饲3号、冀饲4号、中饲1048、中饲3297、临草2号、晋饲草1号和优能共11个饲用小黑麦的适应性研究,并利用主成分分析(PCA)对参试品种的产量、农艺性状和营养品质等指标进行综合评价。【结果】供试11个饲用小黑麦产量、农艺性状和营养品质等均存在一定差异,其中冀饲3号的株高(195.00 cm)、鲜草产量(42.47 t/hm^2)、干草产量(11.37 t/hm^2)、粗蛋白产量(1.19 t/hm^2)、产奶净能(5.56 MJ/kg)、产奶量(1 301.48 kg/t)、相对饲喂价值(88.83%)均为最高;冀饲2号的干鲜比(0.25)最小;石大1号的酸性洗涤纤维(ADF)含量最低(38.19%);晋饲草1号的中性洗涤纤维(NDF)含量最低(60.76%),而粗蛋白含量(10.74%)、总可消化养分(53.94%)和增重净能(2.34 MJ/kg)、相对牧草质量(95.42%)均为最高。主成分分析表明,综合排名前二的饲用小黑麦品种为晋饲草1号和冀饲3号。【结论】晋饲草1号和冀饲3号可作为优良饲用小黑麦品种在黄土高原黄河灌区推广种植。

[关键词] 饲用小黑麦;农艺性状;营养品质;适应性评价;黄河灌区
[中图分类号] S512.403.7 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)10-0039-10

Adaptability evaluation of different varieties of forage triticale in the Yellow River irrigation area of the Loess Plateau

HU Guobin[1,2], MA Weiyue[1,2], LAI Jiahui[1,2], DU Yinggang[1,2], ZHAN Wenjing[1,2],
SUN Mengyu[1,2], HUANG Tile[1,2], GAO Wenjun[1,2]

(1 *College of Grassland Science, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi* 030801, *China*; 2 *Key Laboratory for Model Innovation in Forage Production Efficiency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Taigu, Shanxi* 030801, *China*)

Abstract: 【Objective】 The aim of this study was to evaluate the adaptability of forage triticale (*Triticosecale wittmack*) in the Yellow River irrigated area of the Loess Plateau, and to provide a reference for selecting high-quality forage triticale varieties suitable for cultivation in this region. 【Method】 In 2022, an experiment was conducted in Qingxu County, Taiyuan City, Shanxi Province, to evaluate the adaptability of 11 forage triticale varieties: Gannong No. 2, Shida No. 1, Jisi No. 1, Jisi No. 2, Jisi No. 3, Jisi No. 4, Zhongsi 1048, Zhongsi 3297, Lincao No. 2, Jinsicao No. 1, and Youneng. The study also comprehensively evaluated the tested varieties in terms of yield, agronomic traits, and nutritional quality using Principal Component Analysis (PCA). 【Result】

[收稿日期] 2025-07-18 [修回日期] 2025-08-14
[基金项目] 山西省农业重大协同推广项目"饲用小黑麦高效生产技术"(2023XTTG03-1);山西省现代牧草产业技术体系项目(2023CYJSTX11-09)
[作者简介] 呼国斌(1998—),男,陕西定边人,在读硕士,主要从事饲料加工与利用研究。E-mail:17836500727@163.com
[通信作者] 高文俊(1976—),男,山西介休人,副教授,博士,主要从事草地改良、饲料加工与利用研究。E-mail:wenjungao437@126.com

There are certain differences among the 11 tested varieties of forage triticale in terms of yield, agronomic traits, and nutritional quality. Among them, Jisi No. 3 had the highest plant height (195.00 cm), fresh grass yield (42.47 t/hm^2), hay yield (11.37 t/hm^2), crude protein yield (1.19 t/hm^2), milk net energy (5.56 MJ/kg), milk yield (1 301.48 kg/t), and relative feeding value (88.83%). Jisi No. 2 showed the lowest dry-to-fresh ratio (0.25). Shida No. 1 had the lowest acid detergent fiber (ADF) content (38.19%); while Jinsicao No. 1 not only had the lowest neutral detergent fiber (NDF) content (60.76%), but also the highest values for crude protein content (10.74%), total digestible nutrients (53.94%), net energy for gain (2.34 MJ/kg), and relative forage quality (95.42%). Principal Component Analysis (PCA) revealed that Jinsicao No. 1 and Jisi No. 3 were the top two best-performing forage triticale varieties based on the comprehensive evaluation.【Conclusion】Jinsicao No. 1 and Jisi No. 3 are recommended for cultivation as excellent forage triticale varieties in the Yellow River irrigation area of the Loess Plateau.

Key words: forage triticale; agronomic traits; nutritional quality; adaptability evaluation; Yellow River irrigation area

饲用小黑麦(*Triticosecale* Wittmack)是由小麦(*Triticum* spp.)和黑麦(*Secale* spp.)经属间有性杂交和染色体数加倍后人工培育的新物种[1],兼具小麦的高产特性和黑麦耐贫瘠、抗病害以及抗逆性强等优点,杂种优势明显,营养品质好[2]。近年来,随着人口的不断增长以及生活水平的提高,人们对肉类、奶类等动物源性食品的需求持续攀升。饲用小黑麦作为一种优质的饲料作物,因富含蛋白质、膳食纤维和多种维生素、矿物质,有助于提高牲畜的免疫力和生长性能,进而提升动物源性食品的质量和产量[3]而备受关注。此外,山西省中部地区有20万hm^{2}冬闲田未得到有效利用,而饲用小黑麦能在时间和空间上合理利用冬闲田,有效改善冬季饲草短缺的问题。

然而,在饲用小黑麦的推广应用过程中尚存在一些亟待解决的问题,例如在不同区域下,不同品种饲用小黑麦的产量、农艺性状以及饲用品质等表现出显著差异[4]。因此,在实际生产当中,需要根据具体种植区域的环境特点选择适宜品种。刁玉虹等[5]研究指出,小黑麦草产量和营养价值受基因型和环境的交互影响,同一品种在不同地区的生长特性和产量表现出地域差异。马霞等[6]通过对10个饲用小黑麦品种(系)的适应性研究表明,冀饲3号和晋饲草1号的粗蛋白和相对饲喂价值较高,适合在宁夏盐碱地大面积推广种植。何鹏亮等[7]在湖南冬闲田的引种试验表明,小黑麦中饲3297的粗蛋白和粗脂肪含量均最高,粗灰分和中性洗涤纤维含量均最低,综合分析指出中饲3297小黑麦适宜在湖南冬闲田种植;刘彦培等[8]研究表明,在迪庆高寒地区冀饲2号、优能、冀饲3号、甘农2号和中饲1048的综合评价较高;祁星民等[9]在青海湖西部对8个不同品种小黑麦的农艺性状进行综合评价,结果发现中饲1号综合表现最好,可作为优质饲草品种在环湖地区推广。然而,当前关于黄土高原黄河灌区饲用小黑麦品种比较试验的研究较少,且缺乏关于其在特定区域生产性能与营养价值的综合评价。因此,本研究选取了11个在黄土高原黄河灌区具有代表性的饲用小黑麦品种,系统研究其在该区域的产量表现、生长指标和营养成分,以期筛选出适宜在当地种植的饲用小黑麦品种,为黄土高原黄河灌区优质饲用小黑麦的种植提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,共设置11个处理,每个处理包含4个重复。试验小区呈南北向排列,每个小区播种25行,行距0.2 m,行长3.0 m,小区面积3 m×5 m,小区间距为1 m,四周设有1.5 m的保护行。试验于2022年10月13日带肥(磷酸二铵,300 kg/hm^2)播种,播种方式为条播,播种量为525万株/hm^{2}基本幼苗。返青前追施尿素(N≥46%)150 kg/hm^2。饲用小黑麦生育期内灌水2次(2022年11月16日灌溉越冬水,2023年3月27日灌溉返青水,灌溉量均为450 m^3/hm^2)。

1.2 试验地概况

试验地位于山西省冬闲田饲用小黑麦高效生产技术集成示范基地(122°23′03″ E,37°31′47″ N),该基地属温带大陆性气候,海拔803 m;年降水量为483 mm,多集中在6—8月;年积温为3 250 ℃,年均温为10.6 ℃,无霜期178 d。土壤类型为褐土,

速效磷含量 19.80 mg/kg，速效钾含量 160.98 mg/kg，全氮含量 1.06 g/kg，有机质含量 13.00 g/kg，pH 8.1。

1.3　试验材料

供试11个饲用小黑麦品种的来源见表1。

表1　11个饲用小黑麦品种的来源信息

Table 1　Source information of 11 forage triticale varieties

品种 Variety	品种来源 Institution of origin	品种 Variety	品种来源 Institution of origin
甘农2号 Gannong No. 2	甘肃农业大学 Gansu Agricultural University	中饲1048 Zhongsi 1048	中国农业科学院作物科学研究所 Institute of Crop Science，Chinese Academy of Agricultural Sciences
石大1号 Shida No. 1	石河子大学 Shihezi University	中饲3297 Zhongsi 3297	中国农业科学院作物科学研究所 Institute of Crop Science，Chinese Academy of Agricultural Sciences
冀饲1号 Jisi No. 1	河北省农林科学院旱作农业研究所 Dryland Farming Institute，Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences	临草2号 Lincao No. 2	山西省农业科学院小麦研究所饲草课题组 Forage Research Group，Wheat Research Institute，Shanxi Academy of Agricultural Sciences
冀饲2号 Jisi No. 2	河北省农林科学院旱作农业研究所 Dryland Farming Institute，Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences	晋饲草1号 Jinsicao No. 1	山西省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute，Shanxi Academy of Agricultural Sciences
冀饲3号 Jisi No. 3	河北省农林科学院旱作农业研究所 Dryland Farming Institute，Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences	优能 Youneng	北京正道公司 Beijing Zhengdao Company
冀饲4号 Jisi No. 4	河北省农林科学院旱作农业研究所 Dryland Farming Institute，Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences		

1.4　测定指标

1.4.1　*形态指标*　(1)株高。在饲用小黑麦扬花期，从每个小区中随机挑选10株饲用小黑麦，利用卷尺测量其从地面至穗顶(不计芒长)的高度，再计算其平均值[10]。(2)鲜、干草产量和干鲜比。在饲用小黑麦扬花期进行样方测产，样方面积为1 m^2(1 m×1 m)，留茬5 cm刈割后测定鲜草质量并换算为单位面积产量。在称取鲜质量后的鲜草中随机选取1 kg小样带回实验室，于烘箱内105 ℃杀青30 min后，调至65 ℃烘干至质量恒定，称量干草质量并计算1 kg草样的鲜干比，再根据所测小区鲜质量计算单位面积产量(t/hm^2)。

1.4.2　*营养品质*　于饲用小黑麦扬花期，在每个试验小区测产后的干草中随机选取500 g样品，粉碎过孔径0.075 mm筛后，选取150 g样品，用FOSS DS2500F近红外分析仪[11]测定样品的粗蛋白(crude protein，CP)、粗脂肪(ether extract，EE)、粗灰分(crude ash，Ash)、干物质(dry matter，DM)、木质素(lignin)、中性洗涤纤维(neutral detergent fibre，NDF)、酸性洗涤纤维(acid detergent fibre，ADF)、可溶性碳水化合物(water soluble carbohydrates，WSC)及钙(Ca)、磷(P)、钾(K)、镁(Mg)含量，并测定中性洗涤纤维体内30 h消化率(30-hour *in vivo* digestibility of neutral detergent fiber，dNDF30)、体内48 h消化率(48-hour *in vivo* digestibility of neutral detergent fiber，dNDF48)、体外30 h消化率(30-hour *in vitro* digestibility of neutral detergent fiber，NDFD30)和体外48 h消化率(48-hour *in vitro* digestibility of neutral detergent fiber，NDFD48)，以及产奶净能(net milk production，NMP)、增重净能(gain weight net energy，GWNE)和产奶量(milk yield，MY)。

利用上述测定结果计算粗蛋白产量(crude protein yield，CPY)、总可消化养分(total digestible nutrients，TDN)、相对饲喂价值(relative feed value，RFV)和相对牧草质量(relative grass quality，RFQ)，其计算公式分别为[12]：

$$CPY=CP\times DM,$$

$$TDN=82.38-(0.7515\times ADF),$$

$$RFV=(88.9-0.779\times ADF)\times(120/NDF)/1.29,$$

$$RFQ=TDN\times(120/NDF)/1.23。$$

以上指标除产奶净能、增重净能和产奶量外均采用质量分数(%)表示。

1.5　数据统计与分析

运用SPSS 26.0对所测数据进行统计与分析，结果用“平均值±标准差”表示。不同品种间的差异采用Duncan's法进行多重比较，利用Origin 2025制图。

2 结果与分析

2.1 不同品种饲用小黑麦株高和产量的比较

由表2可知,11个饲用小黑麦的株高和产量存在一定差异。其中冀饲3号的株高为195.00 cm,显著高于其他品种($P<0.05$);其次是晋饲草1号,其株高为175.00 cm,显著高于甘农2号、石大1号、中饲1048、临草2号和优能;优能株高最低,仅为112.50 cm,显著低于其他品种($P<0.05$)。11种饲用小黑麦的干鲜比为0.25~0.32,其中优能的干鲜比最高,且显著高于除中饲1048、中饲3297和甘农2号外的其他品种($P<0.05$);冀饲2号和冀饲1号的干鲜比较低,分别为0.25和0.26,其中冀饲2号的干鲜比显著低于除石大1号、冀饲1号、冀饲3号、临草2号和晋饲草1号外的其他品种($P<0.05$)。冀饲3号、冀饲2号和晋饲草1号的鲜草产量较高,均超过40 t/hm^2,而中饲3297的鲜草产量最低,仅28.54 t/hm^2。冀饲3号的干草产量最高,达11.37 t/hm^2,与中饲1048、中饲3297和临草2号存在显著差异($P<0.05$)。冀饲3号的粗蛋白产量(1.19 t/hm^2)最高,与晋饲草1号差异不显著,但二者均显著高于其他品种($P<0.05$)。

表2 11个饲用小黑麦株高和产量的比较

Table 2 Comparison of plant height and yield among 11 forage triticale varieties

品种 Variety	株高/cm Plant height	鲜草产量/(t·hm^{-2}) Fresh grass yield	干草产量/(t·hm^{-2}) Hay yield	干鲜比 Dry-to-fresh ratio	粗蛋白产量/(t·hm^{-2}) Crude protein yield
甘农2号 Gannong No. 2	122.50±5.40 e	31.87±3.65 cd	9.45±1.29 abc	0.30±0.01 abc	0.69±0.09 c
石大1号 Shida No. 1	165.50±5.99 c	39.81±6.25 ab	10.77±1.52 abc	0.27±0.01 cde	0.93±0.12 bc
冀饲1号 Jisi No. 1	170.50±9.56 bc	38.79±3.57 ab	10.07±0.77 abc	0.26±0.01 de	0.87±0.18 bc
冀饲2号 Jisi No. 2	172.50±5.40 bc	41.45±2.71 ab	10.16±0.53 abc	0.25±0.02 e	0.97±0.10 b
冀饲3号 Jisi No. 3	195.00±4.08 a	42.47±2.33 a	11.37±0.50 a	0.27±0.01 cde	1.19±0.08 a
冀饲4号 Jisi No. 4	170.50±5.99 bc	36.14±3.82 abc	10.19±1.61 abc	0.28±0.03 bcd	0.84±0.15 bc
中饲1048 Zhongsi 1048	158.50±8.18 d	29.34±2.25 d	9.01±0.13 bc	0.31±0.03 ab	0.71±0.06 c
中饲3297 Zhongsi 3297	169.50±9.56 bc	28.54±2.90 d	8.84±1.04 c	0.31±0.02 ab	0.70±0.12 c
临草2号 Lincao No. 2	167.00±5.87 c	34.92±3.80 bcd	9.32±1.37 bc	0.27±0.02 cde	0.76±0.11 bc
晋饲草1号 Jinsicao No. 1	175.00±9.13 b	40.97±1.72 ab	10.98±0.28 ab	0.27±0.01 cde	1.18±0.10 a
优能 Youneng	112.50±11.37 f	29.50±2.70 d	9.49±0.96 abc	0.32±0.02 a	0.77±0.16 bc

注:同列数据后标不同小写字母表示不同品种间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters within a column indicate significant differences among varieties ($P<0.05$). The same below.

2.2 不同品种饲用小黑麦营养成分的比较

由表3可知,11个饲用小黑麦的干物质含量为94.79%~95.70%,其中以临草2号最高,显著高于冀饲3号和晋饲草1号($P<0.05$),其余品种间差异不明显。粗蛋白含量为7.37%~10.74%,其中以晋饲草1号的粗蛋白含量(10.74%)最高,显著高于除冀饲2号和冀饲3号外的其他品种($P<0.05$);粗脂肪含量为2.31%~2.74%,以冀饲2号的粗脂肪含量(2.74%)最高,且显著高于甘农2号、冀饲1号、中饲1048、中饲3297和优能($P<0.05$);粗灰分含量为5.22%~8.30%,以冀饲3号粗灰分含量(5.22%)最低,显著低于除冀饲1号、冀饲2号、冀饲4号和晋饲草1号外的其他品种($P<0.05$)。木质素含量为4.77%~6.19%,其中以中饲1048含量(6.19%)最高,且与冀饲2号、冀饲3号、冀饲4号和晋饲草1号存在显著差异($P<0.05$)。可溶性碳水化合物含量为11.40%~17.31%,其中冀饲3号的可溶性碳水化合物含量(17.31%)最高,且显著高于除石大1号、冀饲1号、冀饲2号和晋饲草1号外的其他品种($P<0.05$)。

2.3 不同品种饲用小黑麦常规营养成分的比较

由表4可知,11个饲用小黑麦中钙含量为0.91%~0.98%,以中饲1048含量最高,显著高于除优能外的其他品种($P<0.05$)。磷含量为0.19%~0.24%,其中以冀饲4号和中饲1048较高,且显著高于除甘农2号、冀饲1号、临草2号、晋饲草1号和优能外的其他品种($P<0.05$)。钾含量为0.80%~1.42%,其中以冀饲4号最高,分别与甘农2号、石大1号、冀饲2号、冀饲3号和中饲3297存在显著差异($P<0.05$)。镁含量为0.11%~0.19%,其中中饲1048最高,与石大1号、冀饲3号和临草2号差异显著($P<0.05$)。

表3　11个饲用小黑麦营养成分的比较

Table 3　Comparison of nutrient composition among 11 forage triticale varieties　%

品种 Variety	干物质 Dry matter	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Ether extract	粗灰分 Crude ash	木质素 Lignin	可溶性碳水化合物 Soluble carbohydrates
甘农2号 Gannong No. 2	95.40±0.35 ab	7.37±0.83 c	2.42±0.05 cd	7.68±0.24 ab	5.86±0.03 abc	14.97±0.26 bcd
石大1号 Shida No. 1	95.18±0.42 ab	8.62±0.16 bc	2.54±0.02 abc	6.50±0.20 cde	5.63±0.28 abc	15.54±0.71 abcd
冀饲1号 Jisi No. 1	95.11±0.47 ab	8.59±1.13 bc	2.43±0.14 bcd	5.85±0.43 ef	5.72±0.32 abc	15.88±0.70 abc
冀饲2号 Jisi No. 2	95.11±0.19 ab	9.55±0.97 ab	2.74±0.08 a	6.06±0.51 def	5.51±0.22 bc	16.14±0.95 ab
冀饲3号 Jisi No. 3	94.79±0.10 b	10.47±0.39 a	2.65±0.11 ab	5.22±0.44 f	5.39±0.10 cd	17.31±0.97 a
冀饲4号 Jisi No. 4	95.16±0.56 ab	8.33±1.03 bc	2.55±0.04 abc	5.91±0.83 ef	5.20±0.70 cd	12.56±0.66 ef
中饲1048 Zhongsi 1048	95.39±0.26 ab	7.88±0.60 c	2.51±0.08 bcd	6.99±0.44 bcd	6.19±0.17 a	11.40±0.41 f
中饲3297 Zhongsi 3297	95.25±0.18 ab	7.93±0.59 bc	2.45±0.03 bcd	7.54±1.09 abc	6.12±0.42 ab	12.14±0.58 ef
临草2号 Lincao No. 2	95.70±0.09 a	8.21±0.78 bc	2.58±0.26 abc	8.30±0.57 a	6.07±0.03 ab	13.85±1.19 cde
晋饲草1号 Jinsicao No. 1	94.99±0.31 b	10.74±0.83 a	2.54±0.12 abc	6.09±0.23 def	4.77±0.48 d	16.05±2.78 ab
优能 Youneng	95.32±0.41 ab	8.07±1.34 bc	2.31±0.02 d	7.40±0.66 abc	5.86±0.41 abc	13.69±0.83 de

表4　11个饲用小黑麦常规营养成分(质量分数)的比较

Table 4　Comparison of conventional nutrient composition (mass fraction) among 11 forage triticale varieties　%

品种 Variety	钙(Ca) Calcium	磷(P) Phosphorus	钾(K) Kalium	镁(Mg) Magnesium
甘农2号 Gannong No. 2	0.91±0.02 b	0.21±0.01 abc	1.03±0.05 bcd	0.14±0.02 ab
石大1号 Shida No. 1	0.91±0.01 b	0.20±0.01 bc	0.96±0.14 cd	0.11±0.01 b
冀饲1号 Jisi No. 1	0.91±0.01 b	0.21±0.01 abc	1.07±0.05 abcd	0.13±0.02 ab
冀饲2号 Jisi No. 2	0.92±0.02 b	0.20±0.01 bc	1.02±0.14 bcd	0.13±0.03 ab
冀饲3号 Jisi No. 3	0.91±0.01 b	0.19±0.02 c	0.80±0.18 d	0.13±0.02 b
冀饲4号 Jisi No. 4	0.94±0.02 b	0.24±0.02 a	1.42±0.18 a	0.15±0.05 ab
中饲1048 Zhongsi 1048	0.98±0.04 a	0.24±0.02 a	1.40±0.14 ab	0.19±0.05 a
中饲3297 Zhongsi 3297	0.93±0.01 b	0.20±0.01 bc	0.94±0.10 cd	0.13±0.01 ab
临草2号 Lincao No. 2	0.91±0.04 b	0.22±0.01 abc	1.17±0.12 abcd	0.12±0.01 b
晋饲草1号 Jinsicao No. 1	0.91±0.01 b	0.22±0.04 ab	1.26±0.50 abc	0.16±0.03 ab
优能 Youneng	0.95±0.03 ab	0.21±0.02 abc	1.21±0.17 abc	0.15±0.02 ab

2.4　不同品种饲用小黑麦纤维含量及纤维消化率的比较

由表5可知,11个饲用小黑麦酸性洗涤纤维(ADF)含量为38.19%～44.87%,其中以石大1号的ADF含量最低(38.19%),与甘农2号、中饲1048、中饲3297和临草2号差异显著($P<0.05$);中性洗涤纤维(NDF)含量为60.76%～70.91%,其中以晋饲草1号的NDF含量最低(60.76%),显著低于甘农2号、中饲1048、中饲3297、临草2号和优能($P<0.05$)。11个饲用小黑麦中,中性洗涤纤维体内30 h消化率(dNDF30)和体外30与40 h消化率(NDFD30、NDFD48)最高的均为晋饲草1号,其中dNDF30和NDFD48与除冀饲4号外的其余品种均存在显著差异($P<0.05$),NDFD30与其他品种均有显著差异($P<0.05$)。11个饲用小黑麦中,中性洗涤纤维体内48 h消化率(dNDF48)以冀饲4号最高,显著高于除中饲1048和晋饲草1号外的其他品种($P<0.05$)。

2.5　不同品种饲用小黑麦有效能值的比较

由表6可知,11个饲用小黑麦的总可消化养分为44.64%～53.94%,总可消化养分最高的为晋饲草1号(53.94%),显著高于除冀饲2号和冀饲3号外的其他品种($P<0.05$)。产奶净能为4.69～5.56 MJ/kg,其中以冀饲3号的产奶净能(5.56 MJ/kg)最高,显著高于除冀饲2号和晋饲草1号外的其他品种($P<0.05$);增重净能为1.21～2.34 MJ/kg,其中晋饲草1号的增重净能最高(2.34 MJ/kg),显著高于除冀饲2号和冀饲3号外的其他品种($P<0.05$)。产奶量为982.83～1 301.48 kg/t,以冀饲3号的产奶量最高(1 301.48 kg/t),显著高于除冀饲2号和晋饲草1号外的其他品种($P<0.05$)。

表5 11个饲用小黑麦纤维含量及纤维消化率的比较

Table 5 Comparison of fiber content and digestibility among 11 forage triticale varieties %

品种 Variety	酸性洗涤纤维 Acidic detergent fiber	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	中性洗涤纤维消化率 Neutral detergent fiber digestibility			
			dNDF30	dNDF48	NDFD30	NDFD48
甘农2号 Gannong No. 2	42.60±1.88 abc	67.23±1.17 ab	23.65±0.97 cd	32.98±0.63 cde	35.10±0.99 d	48.96±0.31 b
石大1号 Shida No. 1	38.19±1.01 d	65.73±2.54 abc	24.02±0.53 cd	32.09±0.09 de	36.94±0.83 c	49.38±1.33 b
冀饲1号 Jisi No. 1	41.32±1.48 abcd	66.46±2.35 abc	24.59±0.76 bcd	32.28±0.30 de	37.97±0.54 bc	49.87±1.62 b
冀饲2号 Jisi No. 2	41.05±1.31 abcd	64.94±1.49 abc	24.70±0.48 bc	31.74±0.64 de	38.85±0.74 b	49.91±1.02 b
冀饲3号 Jisi No. 3	38.59±2.72 cd	61.75±2.56 bc	23.51±0.14 cd	30.38±0.62 e	38.69±0.46 b	50.00±0.46 b
冀饲4号 Jisi No. 4	41.27±4.46 abcd	65.44±5.72 abc	26.06±0.45 ab	37.26±0.96 a	37.82±0.52 bc	54.11±2.55 a
中饲1048 Zhongsi 1048	43.82±3.46 ab	69.10±5.56 a	23.02±0.48 d	35.27±0.99 abc	31.64±0.54 e	48.47±0.59 bc
中饲3297 Zhongsi 3297	42.74±1.58 abc	70.91±0.23 a	20.45±0.88 e	31.86±1.91 de	29.22±1.32 f	45.53±2.62 c
临草2号 Lincao No. 2	44.87±0.70 a	68.39±2.85 a	24.38±0.36 cd	34.37±0.40 bcd	34.94±0.79 d	49.25±0.08 b
晋饲草1号 Jinsicao No. 1	40.45±0.89 bcd	60.76±0.92 c	27.46±1.47 a	36.14±3.55 ab	42.68±0.31 a	56.09±3.15 a
优能 Youneng	41.32±1.94 abcd	68.36±3.55 a	23.44±1.52 cd	32.13±2.63 de	34.86±0.35 d	47.75±1.12 bc

注:表中dNDF30、dNDF48和NDFD30、NDFD48分别表示中性洗涤纤维的体内30,48 h消化率和体外30,48 h消化率。

Note: In the table, dNDF30, dNDF48 and NDFD30, NDFD48 indicate 30-hour, 48-hour *in vivo* digestibility and 30-hour, 48-hour *in vitro* digestibility of neutral detergent fiber, respectively.

表6 11个饲用小黑麦有效能值的比较

Table 6 Comparison of available energy values among 11 forage triticale varieties

品种 Variety	总可消化养分/% Total digestible nutrients	产奶净能/(MJ·kg^{-1}) Net energy for milk production	增重净能/(MJ·kg^{-1}) Net energy for gain	产奶量/(kg·t^{-1}) Milk yield
甘农2号 Gannong No. 2	48.41±0.46 cde	5.06±0.04 cd	1.63±0.04 cd	1 116.03±17.66 cde
石大1号 Shida No. 1	50.59±1.78 bc	5.27±0.13 bc	1.92±0.21 bc	1 196.07±56.47 bc
冀饲1号 Jisi No. 1	50.56±1.52 bcd	5.27±0.08 bc	1.92±0.17 bc	1 188.23±42.93 bcd
冀饲2号 Jisi No. 2	51.53±0.24 ab	5.36±0.18 ab	2.05±0.04 ab	1 224.94±7.23 ab
冀饲3号 Jisi No. 3	53.59±0.93 a	5.56±0.13 a	2.30±0.13 a	1 301.48±36.72 a
冀饲4号 Jisi No. 4	49.48±2.89 bcde	4.98±0.21 d	1.80±0.33 cd	1 107.89±89.17 cdef
中饲1048 Zhongsi 1048	44.64±0.43 f	4.69±0.08 e	1.21±0.04 e	982.83±20.97 g
中饲3297 Zhongsi 3297	44.91±1.28 f	4.85±0.08 de	1.21±0.17 e	1 017.42±28.25 fg
临草2号 Lincao No. 2	46.83±0.69 ef	4.90±0.08 de	1.46±0.08 de	1 054.81±27.77 efg
晋饲草1号 Jinsicao No. 1	53.94±1.33 a	5.40±0.25 ab	2.34±0.17 a	1 262.44±75.14 ab
优能 Youneng	47.68±2.27 de	5.02±0.25 cd	1.55±0.29 d	1 097.39±88.60 def

2.6 不同品种饲用小黑麦相对牧草质量和相对饲喂价值的比较

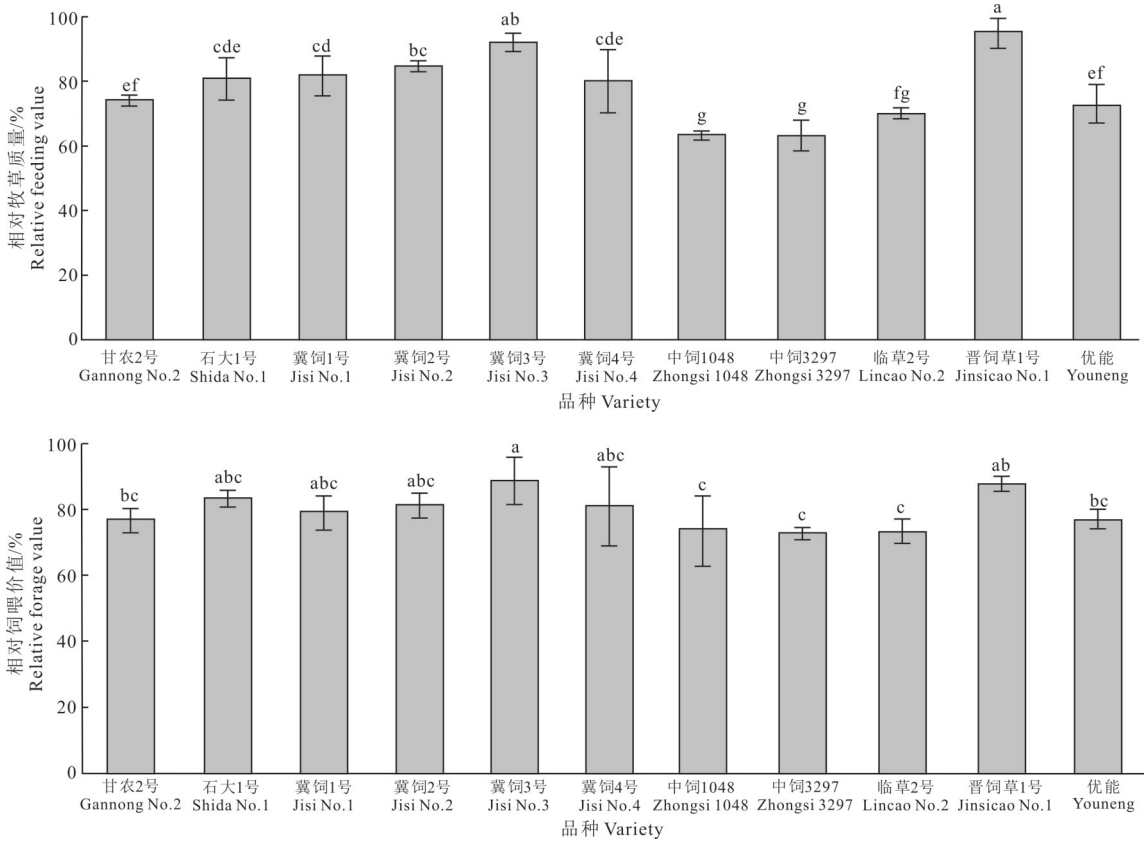
由图1可知,11个饲用小黑麦的相对牧草质量和相对饲喂价值均存在一定差异。其中相对牧草质量超过90%的品种有2个,分别为晋饲草1号(95.42%)和冀饲3号(92.12%)。相对饲喂价值高于80%的品种有5个,分别为冀饲3号(88.83%)、晋饲草1号(87.89%)、石大1号(83.77%)、冀饲2号(81.59%)和冀饲4号(81.35%)。

2.7 主成分分析及综合评价

对11个饲用小黑麦的27个指标进行主成分分析,根据特征值大于1的原则[13],共得到4个主成分(表7),其累计方差贡献率为93.831%,基本包含了11个饲用小黑麦品种所测定指标的全部信息。其中,第1主成分的特征值为17.067,方差贡献率为63.211%,此主成分中载荷量正向值较大的是总可消化养分、增重净能、产奶量、鲜草产量、干草产量、粗蛋白含量、相对饲喂价值和相对牧草质量,可降维为综合因子;第2主成分的特征值为4.861,方差贡献率为18.003%,磷、钾和dNDF48的载荷量正向值较大,可降维为矿质营养与纤维消化效能因子;第3主成分的特征值为1.829,方差贡献率为6.773%,此主成分中载荷量正向值较大的是干物质和粗脂肪,可降维为干物质能量基础因子;第4主成分的特征值为1.578,方差贡献率为5.844%,株高的载荷量正向值较大,可降维为植株形态生长因子。

运用主成分综合评价法,先对原始数据进行标准化处理,再将其导入SPSS软件并代入模型[14],可提取出公因子Y_1、Y_2、Y_3和Y_4。将公因子代入公式$Y=(63.211Y_1+18.003Y_2+6.773Y_3+5.844Y_4)/93.831$进行计算,其中$Y$为综合得分,$Y_1$、$Y_2$、$Y_3$和

Y_4分别为主成分1,2,3和4的得分,进而得出11个饲用小黑麦品种的综合得分见表8。表8显示,按综合得分由高到低排名前6的依次为:晋饲草1号(4.09)>冀饲3号(3.57)>冀饲2号(1.91)>石大1号(1.07)>冀饲4号(0.89)>冀饲1号(0.80),其他5个饲用小黑麦的综合得分为负值。



图柱上标不同小写字母表示不同品种间差异显著($P<0.05$)。

Different lowercase letters above the bars indicate significant differences among varieties($P<0.05$).

图1　11个饲用小黑麦相对牧草质量和相对饲喂价值的比较

Fig. 1　Comparison of relative forage quality and relative feed value among 11 forage triticale varieties

表7　27个指标的载荷值和特征值及累计方差贡献率

Table 7　Load value eigenvalues and cumulative variance contribution rates of 27 indeies

指标 Index	载荷值 Load value			
	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2	主成分3 Principal component 3	主成分4 Principal component 4
株高 Plant height	0.564	−0.004	0.243	0.728
干鲜比 Dry-to-fresh ratio	−0.759	0.038	−0.564	−0.169
鲜草产量 Fresh grass yield	0.954	−0.022	0.224	0.098
干草产量 Hay yield	0.963	0.024	−0.106	−0.010
粗蛋白产量 Crude protein yield	0.950	0.052	−0.119	0.134
干物质 Dry matter	−0.801	0.074	0.493	−0.227
粗灰分 Crude ash	−0.805	−0.127	0.317	−0.318
粗脂肪 Ether extract	0.549	0.005	0.410	0.604
粗蛋白 Crude protein	0.891	0.083	−0.082	0.216
木质素 Lignin	−0.849	−0.421	0.079	0.125
可溶性碳水化合物 Soluble carbohydrates	0.866	−0.353	0.088	−0.232
钙 Ca	−0.614	0.430	−0.489	0.323
磷 P	−0.388	0.896	0.092	0.069
钾 K	−0.339	0.921	0.009	−0.043
镁 Mg	−0.289	0.718	−0.479	0.143
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	−0.779	0.232	0.404	0.051

表7(续) Table 7(continued)

指标 Index	载荷值 Load value			
	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2	主成分3 Principal component 3	主成分4 Principal component 4
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	−0.951	−0.228	0.067	0.043
体内30 h NDF消化率 30-hour *in vivo* NDF digestibility	0.624	0.673	0.258	−0.279
体内48 h NDF消化率 48-hour *in vivo* NDF digestibility	−0.137	0.941	0.202	−0.011
体外30 h NDF消化率 30-hour *in vitro* NDF digestibility	0.904	0.303	0.119	−0.241
体外48 h NDF消化率 48-hour *in vitro* NDF digestibility	0.651	0.723	0.126	−0.122
总可消化养分 Total digestible nutrients	0.988	0.027	−0.025	−0.137
产奶净能 Net energy for milk production	0.951	−0.261	−0.071	−0.111
增重净能 Net energy for gain	0.991	0.044	−0.020	−0.111
产奶量 Milk yield	0.975	−0.152	−0.061	−0.119
相对饲喂价值 Relative feed value	0.956	0.088	−0.225	−0.017
相对牧草质量 Relative forage quality	0.983	0.112	−0.031	−0.121
特征值 Eigenvalue	17.067	4.861	1.829	1.578
方差贡献率/% Variance contribution rate	63.211	18.003	6.773	5.844
累计方差贡献率/% Cumulative variance contribution rate	63.211	81.214	87.987	93.831

表8 11个饲用小黑麦的综合得分

Table 8 Comprehensive scores of 11 forage triticale varieties

品种 Variety	主成分得分 Score of principal component				综合得分 Overall score	排序 Ranking
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4		
甘农2号 Gannong No. 2	−2.33	−0.77	−0.07	−2.08	−1.74	8
石大1号 Shida No. 1	2.21	−1.78	0.21	−0.34	1.07	4
冀饲1号 Jisi No. 1	1.48	−0.8	0.5	−0.39	0.80	6
冀饲2号 Jisi No. 2	3.12	−1.06	1.1	0.94	1.91	3
冀饲3号 Jisi No. 3	6.22	−2.19	−0.65	1.23	3.57	2
冀饲4号 Jisi No. 4	0.35	3.49	0.24	0.41	0.89	5
中饲1048 Zhongsi 1048	−5.68	2.73	−1.35	1.75	−3.09	10
中饲3297 Zhongsi 3297	−5.02	−2.04	−0.52	1.18	−3.51	11
临草2号 Lincao No. 2	−2.97	−0.07	2.54	−0.06	−1.72	7
晋饲草1号 Jinsicao No. 1	5.78	2.65	0.12	−0.78	4.09	1
优能 Youneng	−3.16	−0.16	−2.11	−1.87	−2.28	9

3 讨论与结论

干草产量直接反映了饲草生长周期内生物量的积累情况[15]。较高的干草产量通常意味着饲草生长过程中能够更好地吸收光能、水分和养分,从而实现更多的干物质积累[16],而株高又与饲草产量密切相关[17]。在11个饲用小黑麦品种中,冀饲3号株高(195.00 cm)和干草产量(11.37 t/hm^2)均最高,此结果与游永亮等[18]通过品比试验和区域试验选育的饲用小黑麦品种结果相同。鲜草产量较高的品种其干草产量并不一定持续偏高,因为干草产量与干鲜比有关。本研究中,冀饲2号的鲜草产量(41.45 t/hm^2)高于晋饲草1号,但其干草产量与干鲜比(0.25)均低于晋饲草1号,这与董志晓等[19]在凉山地区对15个饲用燕麦品种的研究结果相似。

饲用营养品质是评价饲草品种优劣的重要指标之一[20],饲用小黑麦的营养成分直接影响其饲用价值。有研究表明,粗蛋白含量较高的饲用小黑麦品种,其酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量相对较低,相对饲喂价值相对较高[21]。本研究表明,在11个饲用小黑麦品种中,晋饲草1号的粗蛋白含量显著高于除冀饲2号和冀饲3号外的其他品种;晋饲草1号的中性洗涤纤维含量显著低于甘农2号、中饲1048、中饲3297、临草2号和优能;晋饲草1号的相对饲喂价值显著高于除冀饲3号外的其他小黑麦品种,这与前人研究结果[18]一致。另外,粗脂肪、粗灰分、钙和磷含量同样是评定饲草营养品质的关键指标[22]。但本研究中,粗脂肪、粗灰分、钙和磷含量等在11个饲用小黑麦品种之间未表现出明显的规律,这与已有研究结果[23]不同,原因可能是参试材料基因型、生态区和田间管理等不同所致[24]。齐文嘉等[25]在甘肃中部地区对小黑麦形态特性及营养

品质的研究发现，品种C6和C16的粗蛋白含量最高，酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量均为最低，适宜在该地区及其他气候相似区种植。魏玉明等[26]研究表明，小黑麦T-133和T-138的粗蛋白含量最高，酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量最低，适宜在陇中半干旱区推广种植。本研究发现，不同品种饲用小黑麦的营养成分存在一定差异，这与前人研究结果[25]一致。因此，在饲用小黑麦的选育和推广过程中，应综合考虑产量性状和营养品质，通过遗传改良和合理栽培等管理措施，筛选出高产优质的新品种，以满足不同地区畜牧业生产的需求。

本研究发现，供试11个饲用小黑麦的产量、农艺性状和营养品质等均存在一定差异。利用主成分分析可以较好地反映饲草种质间的差异[27]。魏向宇等[28]通过主成分分析对10个小黑麦品种进行综合评价，得出晋饲草1号适宜在宁夏引黄灌区种植。南铭等[29]通过对45个饲用燕麦的20个性状指标进行主成分分析和综合评价，认为青引1号适宜在甘肃定西地区推广种植。本研究通过对11个饲用小黑麦进行主成分分析，结果显示其综合得分表现为：晋饲草1号＞冀饲3号＞冀饲2号＞石大1号＞冀饲4号＞冀饲1号＞临草2号＞甘农2号＞优能＞中饲1048＞中饲3297。该评价结果表明，晋饲草1号和冀饲3号的综合表现较好，建议在黄土高原黄河灌区推广种植。

[参考文献]

[1] 李昱山，王腾飞，沈笑天，等. 宁夏雨养区饲用小黑麦种质适应性评价[J]. 草原与草坪，2023，43(1)：65-72.
LI Y S，WANG T F，SHEN X T，et al. Evaluation on adaptability of forage triticale germplasm in rain-fed areas of Ningxia [J]. Grassland and Turf，2023，43(1)：65-72.

[2] 何鹏亮，汪娅梅，揭红东，等. 不同刈割期对饲用小黑麦草产量和营养品质的影响[J]. 草地学报，2021，29(11)：2609-2614.
HE P L，WANG Y L，JIE H D，et al. Effects of different cutting stages on yield and nutritional quality of forage triticale[J]. Acta Agrestia Sinica，2021，29(11)：2609-2614.

[3] 马霞，肖爱萍，王斌，等. 宁夏雨养区10个小黑麦品种(系)生产性能及其营养价值研究[J]. 草地学报，2023，31(12)：3687-3696.
MA X，XIAO A P，WANG B，et al. Production performance and nutritional value of ten triticale cultivars (lines) in the rain-fed area of Ningxia[J]. Acta Agrestia Sinica，2023，31(12)：3687-3696.

[4] 何鹏亮，揭红东，马玉申，等. 湖南南部和北部地区饲用小黑麦的适应性[J]. 草业科学，2023，40(8)：2106-2120.
HE P L，JIE H D，MA Y S，et al. Adaptability of forage triticale in southern and northern regions of Hunan Province[J]. Pratacultural Science，2023，40(8)：2106-2120.

[5] 刁玉虹，姚晓华，谢德庆，等. 饲用小黑麦品种(系)生产性能和饲用品质的综合评价[J]. 分子植物育种，2024，22(14)：4657-4670.
DIAO Y H，YAO X H，XIE D Q，et al. Comprehensive evaluation of production performance and feeding quality of forage triticale cultivars (lines)[J]. Molecular Plant Breeding，2024，22(14)：4657-4670.

[6] 马霞，王斌，王腾飞，等. 宁夏盐碱地饲用小黑麦品种(系)生产性能及营养品质综合评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2024，52(9)：19-29.
MA X，WANG B，WANG T F，et al. Comprehensive evaluation of production performance and nutritional quality of forage triticale cultivars (lines) in saline-alkali land of Ningxia[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)，2024，52(9)：19-29.

[7] 何鹏亮，揭红东，谭燕群，等. 湖南冬闲田高产优质饲用小黑麦新品系筛选研究[J]. 中国草地学报，2022，44(11)：56-65.
HE P L，JIE H D，TAN Y Q，et al. Screening for new high-yield and high-quality forage triticale lines in winter fallow fields of Hunan Province[J]. Chinese Journal of Grassland，2022，44(11)：56-65.

[8] 刘彦培，薛世明，蔡明，等. 迪庆高海拔高寒地区秋播小黑麦引种试验[J]. 草业科学，2021，38(10)：2029-2040.
LIU Y P，XUE S M，CAI M，et al. Introduction trial of autumn-sown triticale in the high-altitude and cold region of Diqing[J]. Pratacultural Science，2021，38(10)：2029-2040.

[9] 祁星民，祁培勇，魏希杰. 环湖地区8种小黑麦引种试验[J]. 草学，2020(6)：40-43，53.
QI X M，QI P Y，WEI X J. Introduction trial of eight triticale varieties in the lake-ring region[J]. Grassland Science，2020(6)：40-43，53.

[10] 游永亮，李源，赵海明，等. 海河平原区施氮磷肥对饲用小黑麦生产性能及营养品质的影响[J]. 草业学报，2020，29(3)：137-146.
YOU Y L，LI Y，ZHAO H M，et al. Effects of nitrogen-phosphorus fertilization on production performance and nutritional quality of forage triticale in the Haihe Plain[J]. Acta Prataculturae Sinica，2020，29(3)：137-146.

[11] 李峰，李文龙，李雪，等. 黑龙江中南部16个饲用燕麦品种生产性能综合评价[J]. 草业学报，2023，32(10)：82-92.
LI F，LI W L，LI X，et al. Comprehensive evaluation of production performance of sixteen forage oat cultivars in the central and southern Heilongjiang Province[J]. Acta Prataculturae Sinica，2023，32(10)：82-92.

[12] 王毓，李奇铮，马小东，等. 播种期及收获期对饲用小黑麦生产性能和营养品质的影响[J]. 草地学报，2024，32(2)：637-645.
WANG Y，LI Q Z，MA X D，et al. Effects of sowing and harvesting dates on production performance and nutritional quality of forage triticale[J]. Acta Prataculturae Sinica，2024，32(2)：637-645.

[13] KHAN A M，MEHMOOD H，RAZZAQ F，et al. Evaluating genetic variability for yellow rust resistance in wheat using

morphological traits[J]. Journal of Crop Health, 2024, 77(1): 22-22.

[14] CHUAN L Z, DENI M S, FAM S, et al. The effectiveness of a probabilistic principal component analysis model and expectation maximisation algorithm in treating missing daily rainfall data[J]. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 2020, 56(1): 119-129.

[15] 王润莲,武俊英,刘慧军,等. 内蒙古地区10个燕麦品种生产性能及营养品质的比较研究[J]. 饲料研究,2023,46(10):128-133.
WANG R L, WU J Y, LIU H J, et al. Comparative study on production performance and nutritional quality of ten oat cultivars in Inner Mongolia[J]. Feed Research, 2023, 46(10): 128-133.

[16] HE J, LIU H, REN Y, et al. Effects of nitrogen fertilization rate and seeding density on the forage yield and quality of autumn-sown triticale in an alpine grazing area of the Qinghai-Tibetan Plateau, China[J]. Grass and Forage Science, 2024, 79(3): 392-403.

[17] 邵春慧,徐强,史志强,等. 夏河农牧交错区小黑麦与豆科牧草混播的生产性能研究[J]. 草地学报,2022,30(10):2791-2801.
SHAO C H, XU Q, SHI Z Q, et al. Production performance of triticale intercropped with leguminous forages in the Xiahe agro-pastoral ecotone[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(10): 2791-2801.

[18] 游永亮,赵海明,李源,等. 抗逆高产国审'冀饲3号'饲用小黑麦新品种的选育[J]. 草地学报,2020,28(4):1145-1152.
YOU Y L, ZHAO H M, LI Y, et al. Breeding of stress-resistant and high-yield national registered forage triticale cultivar 'Jisi No. 3'[J]. Acta Agrestia Sinica, 2020, 28(4): 1145-1152.

[19] 董志晓,苟文龙,刘英杰,等. 15个饲用燕麦品种在凉山地区的生产性能和营养价值评价[J]. 草业科学,2024,41(11):2651-2663.
DONG Z X, GOU W L, LIU Y J, et al. Evaluation of production performance and nutritional value of fifteen forage oat cultivars in Liangshan region[J]. Pratacultural Science, 2024, 41(11): 2651-2663.

[20] 马强强,汪星宇,崔阔澍,等. 不同饲用麦类品种农艺性状、生产性能和营养品质比较[J]. 草学,2023(4):16-26.
MA Q Q, WANG X Y, CUI K S, et al. Comparison of agronomic traits, production performance and nutritional quality among different forage wheat varieties[J]. Pratacultural Science, 2023(4): 16-26.

[21] 罗峰,米文博,李文,等. 不同高寒草地生态区种植模式对饲草产量和营养品质的影响[J]. 草业科学,2024,42(8):1-14.
LUO F, MI W B, LI W, et al. Effects of planting patterns on forage yield and nutritional quality across different alpine grassland ecological regions[J]. Grassland Science, 2024, 42(8): 1-14.

[22] 王伟强,杜文华,赵方媛,等. 不同比例小黑麦青贮替代玉米青贮对平凉红牛生产性能、经济效益的影响[J/OL]. 草原与草坪,2025:1-13[2025-10-21]. https://link.cnki.net/urlid/62.1156.S.20250319.0954.002.
WANG W Q, DU W H, ZHAO F Y, et al. Effects of replacing corn silage with triticale silage at different proportions on performance and economic returns of Pingliang Red cattle[J/OL]. Prairie and Turf, 2025: 1-13[2025-10-21]. https://link.cnki.net/urlid/62.1156.S.20250319.0954.002.

[23] MOTZO R, GIUNTA F, DEIDDA M. Factors affecting the genotype×environment interaction in spring triticale grown in a Mediterranean environment[J]. Euphytica, 2001, 121(3): 317-324.

[24] 阿啟兰,魏小星,贾志锋,等. 14个小黑麦资源在青海民和地区的适应性试验[J]. 中国农学通报,2019,35(18):154-159.
A Q L, WEI X X, JIA Z F, et al. Adaptability trial of 14 triticale germplasms in Minhe area of Qinghai[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(18): 154-159.

[25] 齐文嘉,王旭,褚红丽,等. 8个小黑麦品系在甘肃中部地区的形态特性及营养品质比较[J]. 草原与草坪,2025,45(1):107-114.
QI W J, WANG X, CHU H L, et al. Comparison of morphological characteristics and nutritional quality of eight triticale lines in the central region of Gansu Province[J]. Grassland and Turf, 2025, 45(1): 107-114.

[26] 魏玉明,杨发荣,黄杰,等. 不同品种(系)小黑麦在陇中半干旱区的产量与品质分析比较[J]. 饲料研究,2023,46(11):133-138.
WEI Y M, YANG F R, HUANG J, et al. Comparative analysis of yield and quality of different triticale cultivars (lines) in the semi-arid region of central Gansu[J]. Feed Research, 2023, 46(11): 133-138.

[27] 岳竞之,孙迷平,陈丽,等. 豫西北地区小黑麦生产性能和营养品质的研究[J]. 饲料研究,2024,47(17):144-149.
YUE J Z, SUN M P, CHEN L, et al. Production performance and nutritional quality of triticale in northwest Henan[J]. Feed Research, 2024, 47(17): 144-149. .

[28] 魏向宇,王斌,王腾飞,等. 宁夏引黄灌区10个品种小黑麦籽粒产量及营养价值评价[J]. 草业科学,2024,41(7):1668-1678.
WEI X Y, WANG B, WANG T F, et al. Evaluation of grain yield and nutritional value of ten triticale cultivars in the Yellow River irrigation area of Ningxia[J]. Pratacultural Science, 2024, 41(7): 1668-1678.

[29] 南铭,赵桂琴,柴继宽. 黄土高原半干旱区饲用燕麦种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 草地学报,2017,25(6):1197-1205.
NAN M, ZHAO G Q, CHAI J K. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic traits in forage oat germplasm in the semi-arid Loess Plateau[J]. Acta Agrestia Sinica, 2017, 25(6): 1197-1205.

(责任编辑:温晓平)