作物学报 ACTA AGRONOMICA SINICA 2023, 49(11): 3017–3028 http://zwxb.chinacrops.org/
ISSN 0496-3490; CN 11-1809/S; CODEN TSHPA9 E-mail: zwxb301@caas.cn

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2023.31003

波兰小麦在青藏高原饲用性能的评价

赵彩霞[1,2,3,**] 沈吉成[1,2,**] 尹淑香[1,2,3] 叶发慧[1,2,3] 杨淼思[4] 刘瑞娟[1,2] 刘德梅[1,2] 张怀刚[1,2] 沈裕虎[1,2] 陈文杰[1,2,*]

[1] 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室 / 中国科学院西北高原生物研究所 / 中国科学院种子创新研究院, 青海西宁 810008; [2] 青海省作物分子育种重点实验室, 青海西宁 810008; [3] 中国科学院大学, 北京 100049; [4] 青海大学, 青海西宁 810016

摘 要: 青藏高原是世界典型的高寒牧区, 气候寒冷干燥, 生态环境脆弱, 天然草原初级生产力水平低下, 人工草场现有适宜草种单一, 品质较差, 难以满足放牧家畜的营养需求, 急需筛选和培育适宜该地区种植的优质饲用作物。本研究对 40 份波兰小麦饲用相关性状进行了测定, 运用熵权法对测定指标进行了权重确定, 采用灰色关联度进行了综合评价, 以期筛选出适宜青藏高原等高寒牧区种植的波兰小麦优异饲用种质资源。主要研究结果如下: (1) 供试材料籽粒产量权重最高为 7.04%, 开花期鲜草产量次之为 6.98%, 同时籽粒和鲜草产量变异系数(%)均较高, 分别为 28.57%和 22.26%; (2) 饲用品质分析表明, 供试波兰小麦植株、籽粒中粗蛋白含量均较高, 分别为 23.86%和 20.28%, 植株 ADF、NDF 含量较低; (3) 关联分析表明, 综合评价较高的 3 个品种分别为来自阿根廷的 9 号、来自埃塞俄比亚的 18 号和来自罗马尼亚的 20 号, 其中 20 号综合评价最高为 0.635, 18 号为 0.617, 9 号为 0.607。上述综合评价较高、饲用性状较突出的材料可作为筛选和培育青藏高原等高寒牧区高蛋白含量优质禾本科牧草的良好供试材料。

关键词: 波兰小麦; 饲草产量; 籽粒产量; 饲用品质; 青藏高原

Evaluation of the forage performance of polish wheat on the Qinghai-Tibet Plateau

ZHAO Cai-Xia[1,2,3,**], SHEN Ji-Cheng[1,2,**], YIN Shu-Xiang[1,2,3], YE Fa-Hui[1,2,3], YANG Miao-Si[4], LIU Rui-Juan[1,2], LIU De-Mei[1,2], ZHANG Huai-Gang[1,2], SHEN Yu-Hu[1,2], and CHEN Wen-Jie[1,2,*]

[1] Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Innovation Academy for Seed Design, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, Qinghai, China; [2] Qinghai Provincial Key Laboratory of Crop Molecular Breeding, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, Qinghai, China; [3] University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; [4] Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China

Abstract: The Qinghai-Tibet Plateau is a typical alpine grazing area in the world, which is cold and arid, with fragile ecological environment, low level of primary productivity of natural grasslands, single suitable grass species for artificial pastures, and low quality, which can hardly suit the nutritional needs of grazing livestock. It is urgent to screen and cultivate high-quality forage crops. The objective of this study is to measure the forage traits of 40 polish wheat (*Triticum polonicu*m L.), the entropy weighting method was applied to determine the weights of the measurement indicators, and use the gray correlation degree for a multivariate

本研究由青海省重点研发与转化计划项目(2022-NK-106), 中国科学院战略性先导科技专项(XDA24030102), 第二次青藏高原综合科学考察研究(STEP)项目(2019QZKK0303), 中国科学院青年创新促进会项目(2019420)和青海省创新平台建设项目(2022-ZJ-Y01, 2022-ZJ-Y04)资助。

This study was supported by the Project of Qinghai Science and Technology Department (2022-NK-106), the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA24030102), the Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research (STEP) Program (2019QZKK0303), the Youth Innovation Promotion Association of the Chinese Academy of Sciences (2019420), and the Construction Project for Innovation Platform of Qinghai Province (2022-ZJ-Y01, 2022-ZJ-Y04).

* 通信作者(Corresponding author): 陈文杰, E-mail: wjchen@nwipb.cas.cn

** 同等贡献(Contributed equally to this work)

第一作者联系方式: 赵彩霞, E-mail: 1379572449@qq.com; 沈吉成, E-mail: 1911561480@qq.com

Received (收稿日期): 2023-01-06; Accepted (接受日期): 2023-04-17; Published online (网络出版日期): 2023-05-08.

URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20230506.1727.002.html

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

evaluation, to identify excellent forage germplasm resources of polish wheat varieties most suitable for planting in Qinghai. The main findings were as follows: (1) The grain yield of the test material had the highest weight of 7.04%, followed by 6.98% for fresh grass yield at flowering stage, also the coefficients of variation of grain and fresh forage yield were higher at 28.57% and 22.26%, respectively. (2) The forage quality analysis showed that the crude protein content of the plant and grain were higher by 23.86% and 20.28%, respectively. The acid detergent fibers and neutral detergent fiber of the plant were lower. (3) The multivariate evaluation of multiple indicators of the polish wheat revealed that three varieties with the best multivariate score among the 40 different Polish wheat were No. 9 from Argentina, No. 18 from Ethiopia, and No. 20 from Romania, and the highest multivariate score was 0.635 for No. 20, followed by 0.617 for No. 18, and 0.607 for No. 9. The materials with higher multivariate score of the test varieties and more outstanding forage traits can be the excellent test materials for the screening and breeding high quality forage grasses with high protein content on the Qinghai-Tibet Plateau according to production needs.
Keywords: Polish wheat; forage yield; grain yield; forage quality; Qinghai-Tibetan Plateau

青藏高原等高寒牧区寒冷干燥, 冷季长、暖季短。天然牧草初级生产力水平低下、生长季节短, 冬季几乎没有可青刈利用的牧草[1-2]。近年来, 受全球气候变暖、过度放牧和草地管理经营水平低下的影响, 高寒牧区天然草甸退化更加严重, 饲草总量不足且季节差异大, 生态环境恶化, 严重威胁该类地区生态环境和畜牧业可持续发展[3-5]。目前, 适宜该地区人工草场种植的饲用作物主要以燕麦[6]、小黑麦[7]等禾本科牧草作物为主, 但是由于缺乏优异种质资源, 现有禾本科牧草作物品种的蛋白质含量较低、纤维素含量较高, 难以满足放牧家畜的营养需求, 草畜矛盾突出, 严重制约了该类地区草地畜牧业的高质量发展[8-10]。因此, 筛选和培育适宜青藏高原等高寒牧区种植的新型优质饲用作物品种, 对于维持该类地区的畜牧业可持续发展和生态环境保护具有重要意义。

波兰小麦(*Triticum polonicum* L.)属四倍体裸粒栽培小麦, 具有穗大、籽粒饱满、粗蛋白含量高和分蘖力强等特点[11-12]。目前, 国内外关于波兰小麦种质资源的研究主要集中在粮用农艺性状的鉴定和利用方面, 已对波兰小麦籽粒特性、品质和穗部性状进行了 QTL 定位[13-15], 比较了其染色体上荧光原位杂交模式[16], 完成了对其影响微量元素积累金属蛋白的克隆[17-18], 分析了波兰小麦籽粒表型性状和品质变化[19], 并将波兰小麦分蘖多、水分利用效率高等特性导入普通小麦背景并培育了相应的品种[20-21], 波兰小麦作为禾本科中粗蛋白含量相对较高的作物, 对其饲用性能的评价则鲜有报道。本研究拟在青藏高原针对波兰小麦的饲用性能, 开展系统的种质鉴定试验, 采用熵权赋法的灰色系统理论对供试材料进行综合评价, 以期筛选出适宜青藏高原等高寒牧区种植的波兰小麦优质种质资源。为进一步筛选和培育适宜青藏高原等高寒牧区种植的新型优质饲用作物品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试波兰小麦材料共计 40 份, 来自 14 个国家, 由青海省作物分子育种重点实验室提供。其中来自埃塞俄比亚的材料较多, 占 27.3%, 其次为葡萄牙、美国的材料分别占 12.5%和 11.4% (表 1)。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 试验区概况 本研究于 2020—2022 年在中国科学院西北高原生物研究所海东生态农业试验站(以下简称海东站)进行(36°28′60″N, 102°19′32″E)。海东站地处典型的黄土高原向青藏高原过渡镶嵌地带, 海拔约 2016 m, 年均气温 3.2~8.6℃, 年均降水量 319.2~531.9 mm, 蒸发量 1275.6~1861.0 mm, 年均日照 2708~3636 h, 无霜期约 90 d。

表 1 供试波兰小麦品种
Table 1 Polish wheat variety used in this study

序号 No.	名称 Name	来源地 Origin	序号 No.	名称 Name	来源地 Origin
1	PI29447	乌克兰 Ukraine	21	CItr13919	埃塞俄比亚 Ethiopia
2	PI384265	埃塞俄比亚 Ethiopia	22	PI566593-1	美国 USA
3	PI384345	埃塞俄比亚 Ethiopia	23	PI272565-1	匈牙利 Hungary
4	PI290512	葡萄牙 Portugal	24	PI272565	匈牙利 Hungary
5	PI225334	伊朗 Iran	25	PI352488-1	意大利 Italy
6	PI190951	葡萄牙 Portugal	26	PI210845-1	伊朗 Iran
7	CItr14140	未知 Unknown	27	PI210845	伊朗 Iran

(续表 1)

序号 No.	名称 Name	来源地 Origin	序号 No.	名称 Name	来源地 Origin
8	PI387479	埃塞俄比亚 Ethiopia	28	PI566593	美国 USA
9	PI185309	阿根廷 Argentina	29	PI384340-1	埃塞俄比亚 Ethiopia
10	PI608017	美国 USA	30	PI384340	埃塞俄比亚 Ethiopia
11	PI266846	英国 UK	31	PI352489-1	塞浦路斯 Cyprus
12	PI191823	葡萄牙 Portugal	32	PI56261	葡萄牙 Portugal
13	PI366117	约旦 Jordan	33	PI306548	罗马尼亚 Romania
14	PI384268	未知 Unknown	34	PI352489	塞浦路斯 Cyprus
15	PI352487	葡萄牙 Portugal	35	PI387457-1	葡萄牙 Portugal
16	PI352488	澳大利亚 Australia	36	PI387457	埃塞俄比亚 Ethiopia
17	PI42209	匈牙利 Hungary	37	PI56261-1	埃塞俄比亚 Ethiopia
18	CItr13919-1	埃塞俄比亚 Ethiopia	38	CItr17442	美国 USA
19	PI298572-1	埃塞俄比亚 Ethiopia	39	CItr17442-1	美国 USA
20	PI306548-1	罗马尼亚 Romania	40	CItr298572	埃塞俄比亚 Ethiopia

试验采用随机区组设计, 每个品种均重复 3 次, 小区面积为 15 m^2 (5 m×3 m), 波兰小麦于 3 月上旬播种, 播种前进行人工翻耕或者机械翻耕, 土壤肥力中等, 田间管理如施肥、除草、灌溉和病虫害防治等同大田管理。

1.2.2 农艺性状测定　　波兰小麦成熟期每小区随机取 15 株, 主要测定株高、穗长、穗颈节长、分蘖等指标, 千粒重用万分之一电子天平(BSA224S, Sartorius, 德国)测定, 重复 3 次, 最后换算成千粒重(g)。于 2021、2022 年波兰小麦开花期测定饲草产量(t hm^{-2}), 成熟期按小区测定籽粒产量(kg hm^{-2})和饲草产量(t hm^{-2})。

1.2.3 籽粒品质测定　　粗蛋白含量作为影响品质的重要指标, 其含量直接影响动物对饲草料的消化能力[22]。波兰小麦收获后, 将供试材料籽粒样品去除碎麦、石粒等杂物, 放入离心粉碎机中进行粉碎, 经 0.25 mm 滤网过滤, 将各测定样品充分混匀后置于阴凉处保存。籽粒粗蛋白含量采用凯氏定氮法[23]测定。

1.2.4 植株品质测定　　酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)的含量与牧草品质密切相关, 牧草 ADF 含量较高, 则消化率会降低, NDF 含量越高, 采食量会随之减少[22]。波兰小麦开花期每个小区随机取 15 株植株样品, 分别将叶片、茎秆在 105℃烘箱中杀青 15~30 min, 再将叶片、茎秆在 80℃恒温下继续烘干 12 h, 直至恒量, 粉碎留样。植株叶片、茎秆中粗蛋白含量采用凯氏定氮法[23]测定, 酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)采用范式纤维洗涤法[23]测定。本研究中相关指标的测定委托成都栢晖生物科技有限公司完成。

1.3 灰色关联度分析

基于熵权法的灰色系统理论能够将具有不同量纲、代表不同类型和物理含义的指标进行标准化处理, 最大程度反映被评价对象的真实水平; 同时综合评价指标体系中各指标权重又尽可能地排除了人为因素的影响[24-25]。该分析方法在实际应用中简单明了, 不仅能看出品种的优良特性, 还可以反映出其存在的不足, 对一个品种的评价更加全面而准确[26-27]。根据灰色关联理论, 将供试波兰小麦看成一个灰色系统, 每一个品种都是系统中的一个因素, 将最优品种的各项指标设为参数 X_0。株高、穗长、穗茎节长、分蘖、饲草产量和品质等 14 指标分别设定为比较数列 X_1, X_2, …, X_{14}, 通过各个比较数列(X_i)与参考数列(X_0)的相似程度来判断关联系数和关联度。

1.3.1 关联系数计算公式

$$A_k = \min_i \min_k \left|X_0(k) - X_i(k)\right| + \rho \max_i \max_k \left|X_0(k) - X_i(k)\right|$$

$$B_k = \left|X_0(k) - X_i(k)\right| + \rho \max_i \max_k \left|X_0(K) - X_i(k)\right|$$

$$\psi_i(k) = \frac{A_k}{B_k}$$

式中, $\Psi_i(k)$是 X_0 和 X_i 关联系数; $|X_0(k)–X_i(k)|$表示 X_0 数列与 X_i 数列在 k 点的绝对值差, $\min_i \min_k|X_0(k)–X_i(k)|$为二级最小差值; $\max_i \max_k|X_0(k)–X_i(k)|$为二级最大差值; ρ 为分辨系数, 取值范围为 0~1, 本研究取 0.5, 认为同等重要[24]。

1.3.2 加权关联度计算公式

$$\gamma_i = \sum_{k=1}^{n} W_i \times \psi_i(k)$$

式中, W_i是根据文献计算的各指标权重值[25], γ_i为加权关联度。

1.4 数据分析

采用 SigmaPlot 12.5 绘图, 用 SPSS 23.0 对数据进行显著性、相关性及回归分析, 不同处理间的比较采用 Duncan's 新复极差法(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 供试波兰小麦农艺性状分析

波兰小麦的主要农艺性状见表 2, 图 1 所示。供试波兰小麦品种株高平均值为 134.84 cm, 变化范围为 99.42~159.79 cm, 变异系数较低为 11.15%。如图 1-a 所示, 株高>150 cm 的材料占 20%, 其中 25 号、34 号株高较突出, 分别为 159.79 cm、157.78 cm, 17 号株高最低, 且较 17 号, 25 号和 34 号株高均差异显著; 穗长的平均值为 12.49 cm, 变异系数较高为 20.34% (表 2)。图 1-b 所示, 穗长>16 cm 的材料占 7.5%, 27 号穗长较明显为 17.86 cm, 3 号、35 号和 36 号穗长均低于 8.00 cm, 其中 35 号最低仅为 7.00 cm, 品种效应对株高、穗长的影响均达到极显著水平, 年际及年际和品种之间的交互效应均差异不显著。穗颈节长变异系数较低为 10.12%, 变化范围为 43.67~68.47 cm。由图 1-c 可知, 穗颈节长>60 cm 的材料占 40%, 其中 24 号、31 号和 34 号穗颈节长较明显, 分别为 67.93、65.58 和 68.47 cm, 17 号最低为 43.68 cm, 较 17 号, 24 号、31 号和 34 号穗颈节增幅达 55.57%、50.17%和 56.79%。分蘖数变异系数较高为 28.51% (表 2), 图 1-d 所示, 分蘖数>30 个的材料占 20%, 其中 29 号(33.12 个)、30 号(35.18 个)和 35 号(35.64 个)分蘖数较高。年际和品种效应对穗颈节长、分蘖数的影响达到显著或极显著, 交互效应不显著。供试品种籽粒粗蛋白含量的平均值为 20.28%, 变化范围为 17.17%~23.72%, 变异系数较低, 仅为 7.61%。如图 1-e 所示, 14 号、17 号和 18 号粗蛋白含量较高, 分别为 22.50%、22.30%和 23.70%, 24 号粗蛋白含量较低为 17.20%, 较 24 号, 14 号、17 号和 18 号粗蛋白含量显著提高 31.03%、29.94%和 38.17%, 年际和品种效应及二者的交互效应对籽粒粗蛋白含量的影响均达到显著或极显著水平。千粒重平均值为 47.26 g, 变异系数为 17.84 (表 2), 图 1-f 可知, 千粒重>55 g 的材料占 22.50%, 其中 9 号、38 号和 25 号千粒重较高, 分别为 63.32、58.26 和 58.10 g, 18 号千粒重较低为 30.37 g, 较 18 号, 9 号、38 号和 25 号千粒重显著提高 108.51%、91.84%和 391.31%, 品种效应及品种和年际间交互效应对千粒重的影响达到极显著水平, 年际效应不显著。

2.2 供试波兰小麦饲草产量变化

波兰小麦品种饲草产量性状见表 3。可知鲜草产量平均值为 4.36 t hm^{-2}, 变化范围为 2.44~7.95 t hm^{-2}, 变异系数较高为 28.57%, 其中 1 号、2 号和 11 号产量较高, 分别为 6.98、7.95 和 7.01 t hm^{-2}。开花期干草产量变异系数较高为 27.13%, 产量平均值为 1.52 t hm^{-2}, 收获期干草产量平均值为 1.41 t hm^{-2}, 变化范围为 1.41~2.69 t hm^{-2}, 变异系数为 25.87%, 较开花期收获期干草产量减少 0.11 t hm^{-2}。

供试波兰小麦籽粒产量见表 4。籽粒产量平均值为 388.85 kg hm^{-2}, 变幅为 200.11~572.75 kg hm^{-2}, 变异系数达 22.26%, 籽粒产量>500 kg hm^{-2} 的材料占 7.5%, 其中 7 号、9 号和 29 号籽粒产量较高, 分别为 572.75、515.92 和 519.67 kg hm^{-2}, 22 号最低为 200.11 kg hm^{-2}; 籽粒收获指数(HI)平均值为 0.29, 变异系数较高为 24.85%, HI>0.35 的材料占 25%, 其中 35 号、36 号 HI 较高均为 0.40, 22 号 HI 仅为 0.13, 且较 22 号、35 号差异显著。

表 2 供试波兰小麦农艺性状变化

Table 2 Changes in agronomic traits of Polish wheat

指标 Index	株高 Plant height (cm)	穗长 Spike length (cm)	穗颈节长 SNL (cm)	分蘖 Tiller number	籽粒粗蛋白 GCP (%)	千粒重 1000-grain weight (g)
平均值 Mean	134.84	12.49	57.43	22.80	20.28	47.26
最大 Max.	159.79	17.86	68.47	35.64	23.72	63.32
最小 Min.	99.42	7.00	43.67	8.37	17.17	30.37
变异系数 CV (%)	11.15	20.34	10.12	28.51	7.61	17.84

CV: 变异系数。CV: coefficient of variation.

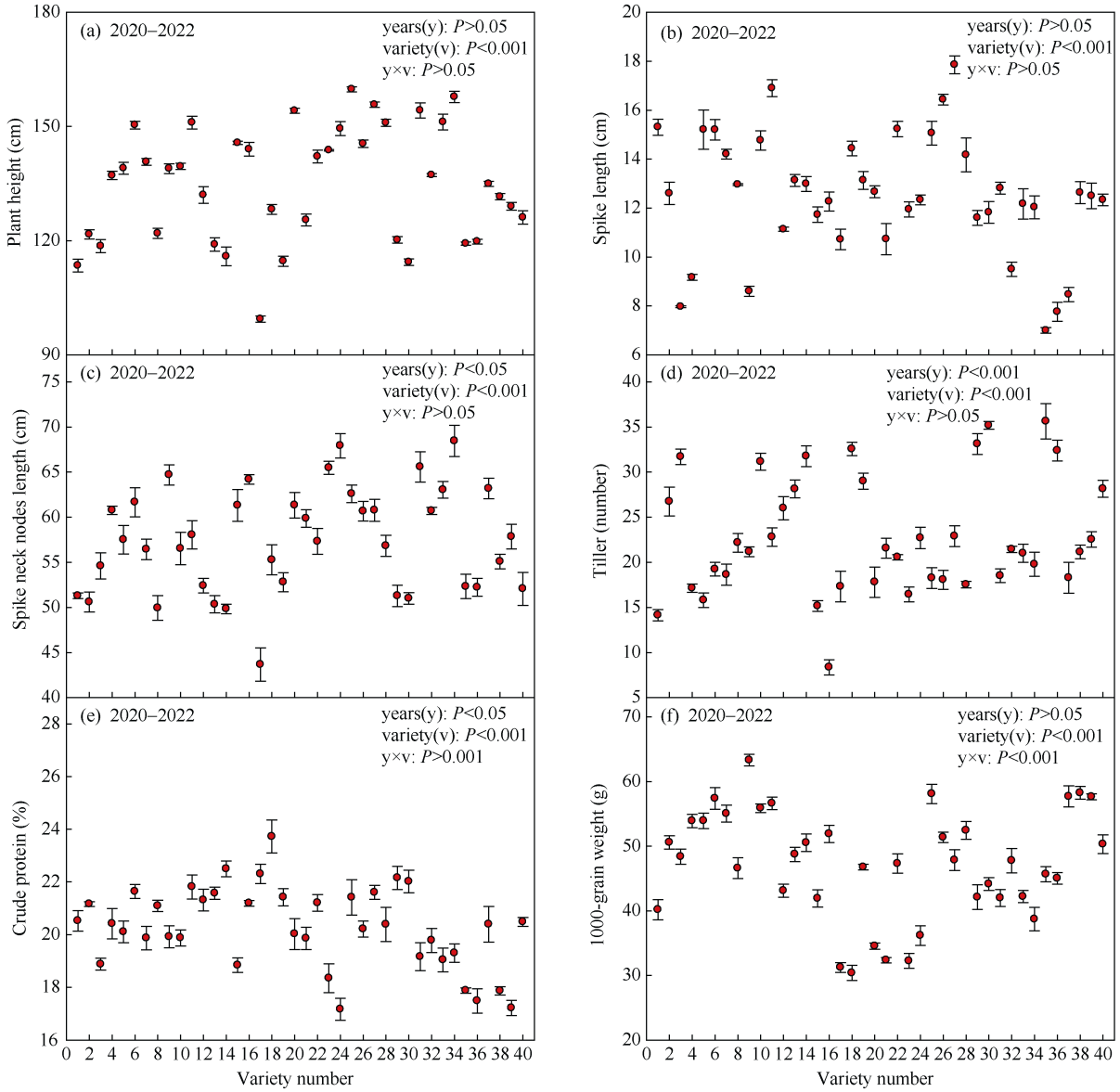


图 1　供试波兰小麦农艺性状的变化

Fig. 1　Changes in agronomic traits of Polish wheat

Year (y): year effect; variety (v): variety effect; y × v: year × variety effect. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$.

表 3　供试波兰小麦饲草产量变化

Table 3　Changes in forage yield of Polish wheat

序号 No.	花期 Flower		收获 Harvest	序号 No.	花期 Flower		收获 Harvest
	鲜草产量 Fresh forage yield (t hm^{-2})	干草产量 Dry forage yield (t hm^{-2})	干草产量 Dry forage yield (t hm^{-2})		鲜草产量 Fresh forage yield (t hm^{-2})	干草产量 Dry forage yield (t hm^{-2})	干草产量 Dry forage yield (t hm^{-2})
1	6.98 ab	2.43 ab	1.86 bc	23	3.83 defg	1.31 efghijk	1.52 cdefghi
2	7.95 a	2.71 a	1.26 defghijk	24	3.45 efg	1.14 hijk	1.49 cdefghi
3	4.73 bcdefg	1.90 bcdefgh	1.05 hijk	25	4.99 bcdefg	1.68 cdefghijk	1.24 defghijk
4	4.84 bcdefg	1.93 bcdefg	1.23 defghijk	26	3.34 fg	1.16 ghijk	1.52 cdefghi
5	3.04 fg	1.25 fghijk	1.37 cdefghij	27	4.09 defg	1.05 k	1.48 cdefghij
6	4.28 defg	1.45 defghijk	1.50 cdefghi	28	3.79 defg	1.49 defghijk	1.44 cdefghij
7	3.94 defg	1.10 jk	1.64 cdefg	29	4.65 bcdefg	1.36 defghijk	2.26 ab
8	3.19 fg	1.16 ghijk	1.28 defghijk	30	3.75 defg	1.20 ghijk	1.72 cd

(续表 3)

序号 No.	花期 Flower 鲜草产量 Fresh forage yield (t hm^{-2})	花期 Flower 干草产量 Dry forage yield (t hm^{-2})	收获 Harvest 干草产量 Dry forage yield (t hm^{-2})	序号 No.	花期 Flower 鲜草产量 Fresh forage yield (t hm^{-2})	花期 Flower 干草产量 Dry forage yield (t hm^{-2})	收获 Harvest 干草产量 Dry forage yield (t hm^{-2})
9	6.00 abcde	1.88 bcdefghi	1.71 cde	31	3.86 defg	1.34 efghijk	1.70 cde
10	5.40 bcdef	1.80 bcdefghijk	1.53 cdefghi	32	4.61 bcdefg	2.01 bcdefg	1.65 bcdefg
11	7.01 ab	1.49 defghijk	1.50 defghijk	33	4.39 cdefg	1.69 cdefghijk	1.29 cdefghijk
12	3.56 efg	1.18 ghijk	1.19 ghijk	34	2.44 g	1.14 hijk	1.34 cdefghijk
13	3.64 defg	1.41 defghijk	0.96 ijk	35	3.26 fg	1.41 defghijk	1.13 efghijk
14	3.26 fg	1.03 k	0.90 jk	36	4.46 cdefg	2.03 bcde	1.16 defghijk
15	3.38 fg	1.26 efghijk	0.97 ijk	37	3.00 fg	1.13 ijk	1.07 ghijk
16	3.68 defg	1.08 k	0.80 k	38	3.53 efg	1.39 defghijk	1.25 defghijk
17	3.56 efg	1.19 ghijk	1.06 ghijk	39	3.38 fg	1.40 defghijk	1.08 fghijk
18	6.79 abc	2.24 abc	1.74 cd	40	4.05 defg	2.11 abcd	1.07 ghijk
19	6.15 abcd	1.85 bcdefghij	1.43 cd	平均值 Mean	4.36	1.52	1.41
20	4.95 bcdefg	1.78 bcdefghijk	2.69 a	Max.	7.95	2.71	2.69
21	4.39 cdefg	1.20 ghijk	1.68 cde	Min.	2.44	1.03	0.80
22	4.76 bcdefg	1.45 defghijk	1.58 cdefgh	CV (%)	28.57	27.13	25.87

CV: 变异系数; 同列不同小写字母表示不同品种间在 0.05 概率水平差异显著。

CV: coefficient of variation. Different lowercase letters indicate significant differences among different varieties at the 0.05 probability level.

表 4 供试波兰小麦籽粒产量变化

Table 4 Changes in grain yield and harvest index of Polish wheat

序号 No.	籽粒产量 Grain yield (kg hm^{-2})	收获指数 Harvest index	序号 No.	籽粒产量 Grain yield (kg hm^{-2})	收获指数 Harvest index
1	406.26 bcdefghij	0.22 f	23	320.48 hijk	0.21 g
2	460.19 abcde	0.37 b	24	314.95 hijkl	0.21 g
3	338.96 fghijk	0.32 b	25	307.48 ijkl	0.25 e
4	477.84 abcd	0.39 ab	26	307.23 ijkl	0.20 g
5	487.61 abc	0.36 b	27	331.56 ghijk	0.22 fg
6	447.45 bcdefg	0.30 cd	28	377.55 cdefghij	0.26 e
7	572.75 a	0.35 b	29	519.67 ab	0.23 ef
8	486.45 abc	0.38 b	30	351.15 efghijk	0.20 g
9	515.92 ab	0.30 cd	31	494.92 abc	0.29 cd
10	431.13 bcdefgh	0.28 d	32	289.16 ijkl	0.18 h
11	453.27 bcdef	0.30 cd	33	317.23 hijk	0.25 ef
12	324.05 hijk	0.27 d	34	247.25 kl	0.19 gh
13	356.38 efghijk	0.37 b	35	453.37 bcdef	0.40 a
14	336.06 fghijk	0.37 b	36	463.47 abcde	0.40 a
15	291.08 ijkl	0.30 cd	37	403.85 bcdefghij	0.38 b
16	284.39 jkl	0.36 b	38	385.58 cdefghij	0.31 cd
17	359.99 defghijk	0.34 b	39	329.77 ghijk	0.31 cd
18	452.38 bcdefg	0.26 e	40	298.61 ijkl	0.28 d
19	462.39 abcde	0.32 b	平均值 Mean	388.85	0.29
20	486.18 abc	0.18 h	Max.	572.75	0.40
21	410.02 bcdefghi	0.24 ef	Min.	200.11	0.13
22	200.11 l	0.13 i	CV (%)	22.26	24.85

CV: 变异系数; 同列不同小写字母表示不同品种间在 0.05 概率水平差异显著。

CV: coefficient of variation. Different lowercase letters indicate significant differences among different varieties at the 0.05 probability level.

2.3　供试波兰小麦饲草品质分析

波兰小麦品质性状见表 5 和图 2。供试波兰小麦叶片中粗蛋白含量的平均值为 23.86%，变化范围为 16.33~27.93%，变异系数较低为 9.59%。由图 2-a 可知，叶片粗蛋白含量显著高于茎秆含量，叶片中粗蛋白含量>25%的材料占 40%，其中 22 号、33 号

表 5　供试波兰小麦饲用品质变化
Table 5　Changes in forage yield of Polish wheat (%)

指标 Index	叶 Leaf			茎秆 Stem		
	ADF	NDF	CP	ADF	NDF	CP
平均值 Mean	40.79	59.45	23.86	43.71	58.47	7.58
最大值 Max.	49.30	66.46	27.94	50.92	65.48	12.98
最小值 Min.	30.51	50.22	16.33	30.03	49.60	4.04
变异系数 CV (%)	9.59	7.31	9.59	10.36	8.08	28.94

CP: 粗蛋白; ADF: 酸性洗涤纤维; NDF: 中性洗涤纤维; CV: 变异系数.
CP: crude protein; ADF: acid detergent fiber; NDF: neutral detergent fiber; CV: coefficient of variation.

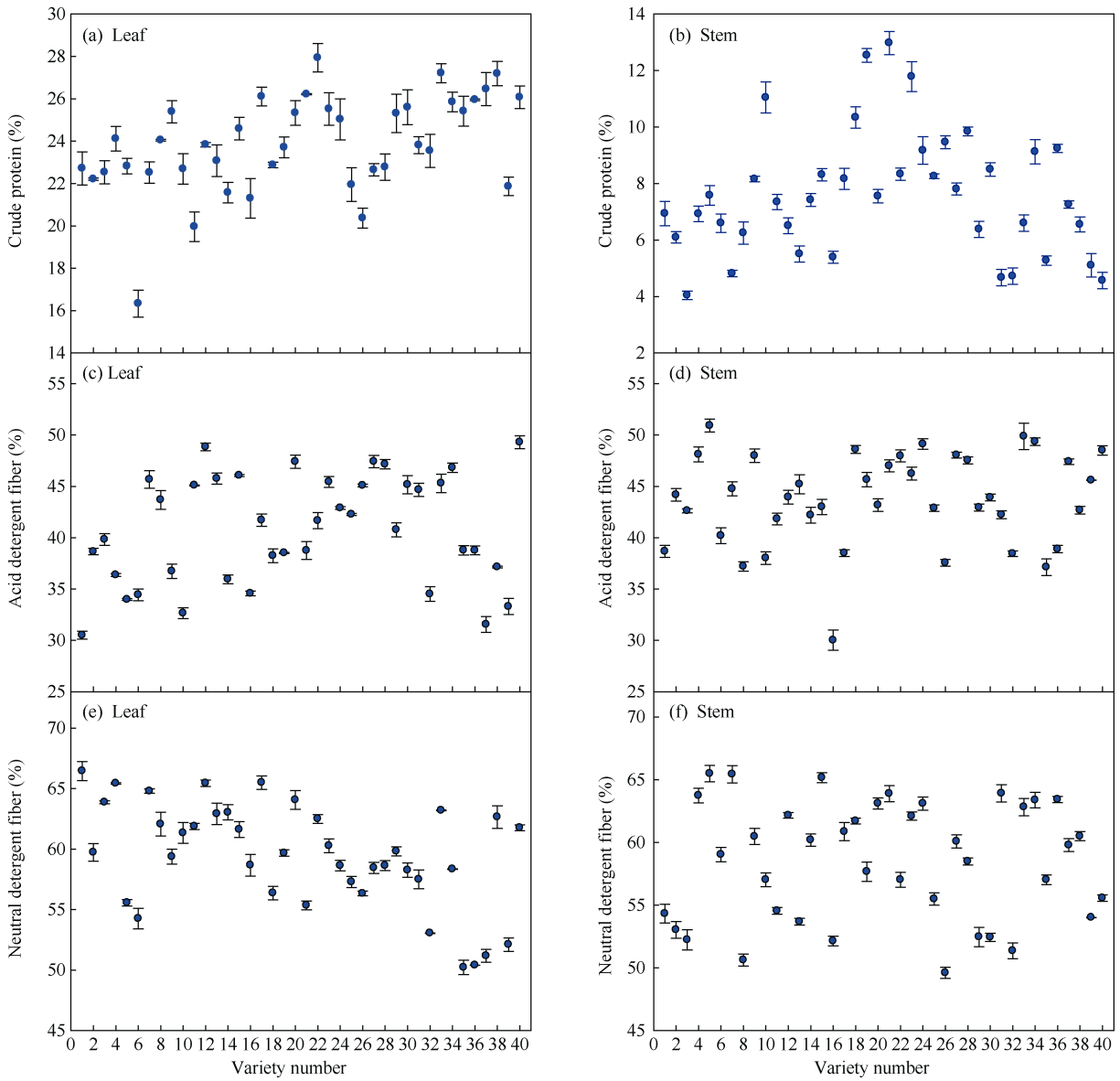


图 2　供试波兰小麦植株饲用品质变化
Fig. 2　Changes in forage quality of Polish wheat

和 38 号含量较高，分别为 27.94%、27.21%和 27.19%，6 号粗蛋白含量较低为 16.33%，且较 6 号，22 号、33 号和 38 号粗蛋白含量显著增加 71.08%、66.61%和 66.51%；茎秆中粗蛋白含量平均值为 7.58%，变化为范围为 4.04%~12.98%，变异系数较高为 28.94%(表 5)，如图 2-b，茎秆中粗蛋白含量>12%的材料占 5%，其中 21 号含量最高为 12.98%，3 号最低为 4.04%，较 3 号，21 号粗蛋白含量显著增加 212.29%。

供试植株中性洗涤纤维(NDF)含量明显高于酸性洗涤纤维(ADF)，且叶片、茎秆中 ADF 和 NDF 含量变异系数均较低(表 5)。由图 2-c 可知，叶片中 ADF 含量<35%的材料占 20%，其中 1 号、10 号和 37 号含量较低，分别为 30.51%、32.67%和 31.57%，40 号 ADF 最高为 49.30%，较 40 号，1 号、10 号和 37 号 ADF 含量显著降低 38.11%、33.74%和 35.97%；茎秆中 ADF 含量<40%的材料占 23%，其中 16 号含量较低为 30.03%，5 号含量最高为 50.92%，且相较于 5 号，16 号 ADF 显著降低 41.03% (图 2-d)；如图 2-e~f 所示，叶片、茎秆中 NDF 含量变化基本无明显差异。叶片中 NDF<55%的材料占 15%，其中 35 号含量较低为 50.22%，1 号较高为 66.45%，较 1 号，35 号 NDF 含量显著降低 24.42%；茎秆中 NDF 含量<60%的材料占 48%，其中 26 号含量最低为 49.60%。

2.4 供试波兰小麦各性状相关性分析

供试波兰小麦各性状间相关分析见图 3，籽粒产量与开花期鲜草产量、收获期干草产量呈显著正相关，与开花期干草产量、籽粒粗蛋白含量无相关性。千粒重与叶片粗蛋白、叶片酸性洗涤纤维(ADF)、茎秆粗蛋白含量显著负相关，株高与穗长、穗颈节长呈显著或极显著正相关，与分蘖呈极显著负相关，叶片粗蛋白含量与穗长呈极显著负相关，与茎秆 NDF 含量显著正相关，同时茎秆 NDF 含量与穗颈节长、叶片 ADF 含量呈显著或极显著正相关。

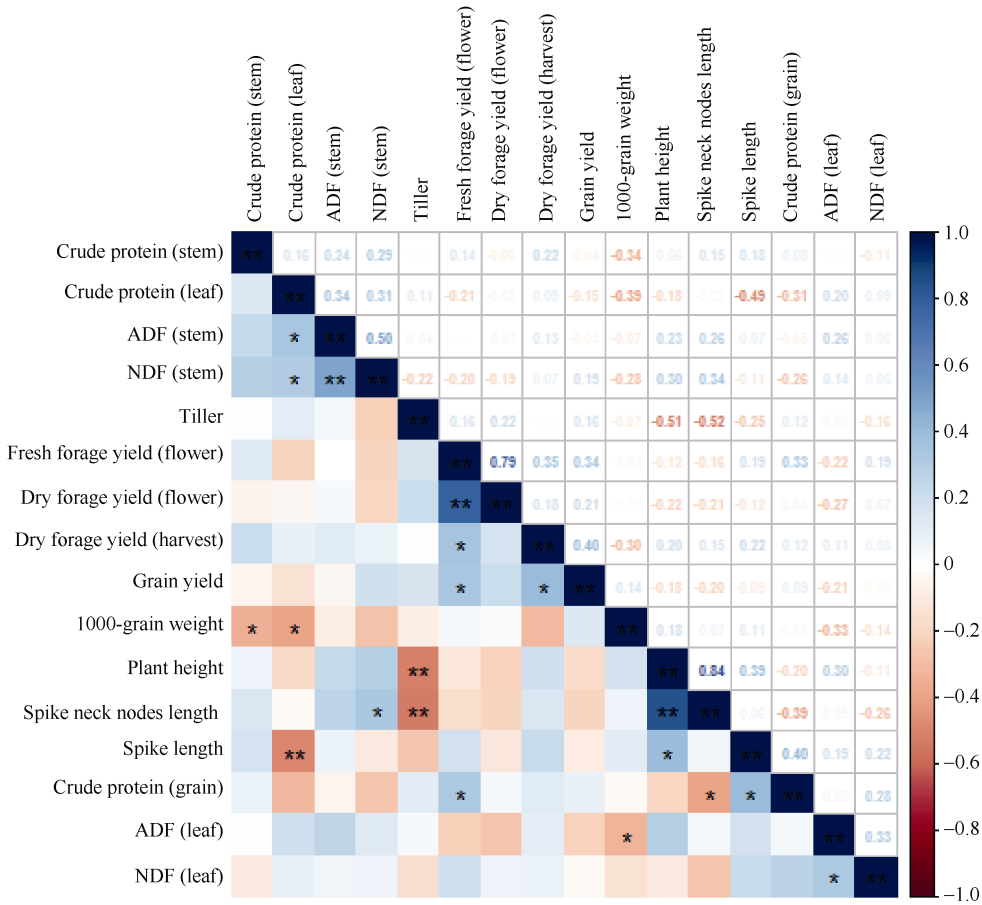


图 3 供试波兰小麦不同农艺性状间相关性分析

Fig. 3 Correlation with different agronomy traits of the of Polish wheat

不同颜色表示各指标间相关性，颜色深表示二者相关性较高，颜色浅则反之。

Different color indicates the correlation between indicators, darker color indicates higher correlation, and lighter color indicates the opposite. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$. ADF: acid detergent fiber; NDF: netural detergent fiber.

2.5 供试波兰小麦综合评价

采用熵权法对 40 份波兰小麦种质资源综合评价中各因素赋权, 结果表明供试品种植株表型性状权重为 5.31%~6.88%, 其中籽粒产量权重最高为 7.04%, 其次为饲草产量占 6.96%~6.98%, 表征饲草品质的指标所占权重为 4.91%~6.45%, 叶片、籽粒粗蛋白含量权重相对较高, 而植株茎秆品质所占权重较低(表 6)。

结合权重运用灰色关联度进行综合评价见表 7。结果表明综合评价较高的 10 个品种分别为 4 号、7 号、9 号、10 号、11 号、18 号、20 号、27 号、28 号和 33 号, 其中综合评价最高的 3 个品种分别为 20 号(r = 0.635)、18 号(r = 0.617)和 9 号(r = 0.607)。

3 讨论

作物群体农艺性状的变异系数越大, 则遗传多样性越丰富选育良种的潜力就越大[28-29]。本研究结果表明, 供试的 40 份波兰小麦鲜草和籽粒产量变异系数均较高, 分别为 28.57%和 22.26%, 同时产量变化范围较广, 其中鲜草产量变化范围为 2.44~7.95 t hm^{-2},

表 6　供试波兰小麦各指标权重及排名
Table 6　Weights and rank of each index of Polish wheat

指标 Index	权重 Weight (%)	排名 Rank	指标 Index	权重 Weight (%)	排名 Rank
株高 Plant height	6.88	4	籽粒粗蛋白 Grain crude protein	6.37	8
穗长 Spike length	6.52	5	籽粒产量 Grain yield	7.04	1
穗颈节长 Spike stem nodes length	6.88	4	叶片粗蛋白 Crude protein (leaf)	6.37	7
分蘖 Tiller	5.31	14	叶片酸性洗涤纤维 Acid detergent fibe (leaf)	5.77	12
花期鲜草产量 Fresh forage yield (flower)	6.98	2	叶片中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (leaf)	6.45	6
花期干草产量 Dry forage yield (flower)	6.96	3	茎秆粗蛋白 Crude protein (stem)	6.30	9
收获期干草产量 Dry forage yield (harvest)	5.59	13	茎秆酸性洗涤纤维 Acid detergent fibe (stem)	4.91	15
千粒重 1000-grain weight	5.83	11	茎秆中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (stem)	6.22	10

表 7　供试波兰小麦加权关联度及排名
Table 7　Weight relevance and rank of tested varieties

序号 No.	加权关联度 Weighted relevance	排名 Rank	序号 No.	加权关联度 Weighted relevance	排名 Rank
1	0.490	21	21	0.507	19
2	0.545	12	22	0.545	12
3	0.407	31	23	0.522	14
4	0.564	8	24	0.507	19
5	0.508	18	25	0.547	11
6	0.482	23	26	0.446	27
7	0.572	6	27	0.573	5
8	0.420	30	28	0.550	10
9	0.607	3	29	0.510	16
10	0.560	9	30	0.470	25
11	0.602	4	31	0.533	13
12	0.494	20	32	0.390	32
13	0.451	26	33	0.568	7
14	0.432	30	34	0.521	15
15	0.483	22	35	0.347	35
16	0.341	36	36	0.445	28
17	0.389	33	37	0.424	29
18	0.617	2	38	0.479	24
19	0.568	7	39	0.350	34
20	0.635	1	40	0.509	17

籽粒产量为 200.11~572.75 kg hm^{-2}, 说明供试品种产量性状遗传多样性较丰富且筛选出高产种质的潜力较高, 其中鲜草产量较高的品种分别为 2 号、11 号和 18 号, 7 号、9 号和 29 号籽粒产量较高; 牧草营养价值的高低是评价牧草是否优良的重要指标之一, 也是形成畜产品的物质基础[22]。牧草营养品质很大程度上取决于粗蛋白和纤维素的含量, 一般认为纤维素含量低、粗蛋白含量较高的牧草, 其饲用价值也高[30]。本研究通过测定供试波兰小麦籽粒、饲草品质表明, 籽粒粗蛋白含量高达 20.28%, 变化范围为 17.17%~23.72%, 植株叶片中粗蛋白含量较高为 23.86%, 变化范围为 16.33%~27.93%, ADF 和 NDF 含量较低; 较该地区常用的燕麦[19,31-32]、小黑麦[33-34]等禾本科牧草作物, 本研究中供试波兰小麦籽粒粗蛋白含量显著提高 5.11%~9.84%, 同时较该地区饲用燕麦, 波兰小麦植株 ADF、NDF 含量显著降低 7.74%~13.21%, 以 9 号、22 号和 33 号品质较高, 是筛选和培育高蛋白、低纤维素的新型优质禾本科牧草作物品种的优异种质资源。

相关性分析表明籽粒产量与开花期鲜草、收获期干草产量显著正相关, 叶片粗蛋白含量与穗长极显著负相关, 与茎秆 NDF 含量显著正相关, 说明波兰小麦饲用品质受多个指标共同影响, 需要将各指标相结合, 才能更加全面评价其饲用价值[35-36]。灰色关联度可将多个性状综合起来定量评价, 使各品种的优劣评价结果更全面, 准确可靠, 根据其结果可以综合判别品种的优劣, 避免传统方法中仅靠单一指标的片面判断, 从而可为筛选、推广适宜该地区的优良品种提供可靠的依据[26,37]。本研究对表征波兰小麦饲用价值的各指标进行权重确定, 结果表明产量所占权重较高, 其中籽粒产量权重最高为 7.04%, 开花期鲜草产量次之为 6.98%, 这与宋志均等[38]、范成方和史建民[39]研究结果基本一致。采用灰色系统理论表明, 综合评价较高的 10 个品种分别为 4 号、7 号、9 号、10 号、11 号、18 号、20 号、27 号、28 号和 33 号, 其中综合评价最高的 3 个品种分别为 20 号(r=0.635), 18 号(r=0.617)和 9 号(r=0.607)。上述综合评价较高、饲用性状较突出的波兰小麦材料可作为优异种质资源, 进一步用于筛选和培育适宜青藏高原等高寒牧区种植的优异饲用作物品种。

4 结论

本研究采用灰色关联分析法对 40 份波兰小麦品种饲用性能进行了综合评价, 结果表明供试材料籽粒产量权重最高, 鲜草和籽粒产量变异系数均较高。灰色关联分析表明综合评价较高的 3 个品种分别为 9 号、18 号和 20 号。这些综合评价较高、饲用性状较突出的波兰小麦材料可作为优异种质资源, 进一步用于筛选和培育适宜青藏高原等高寒牧区种植的优异饲用作物品种。

References

[1] 李祥妹, 彭元柳, 岳洁. 旅游产业发展背景下高寒牧区退化草地生态治理途径. 草业科学, 2019, 36: 1435–1444.
Li X M, Peng Y L, Yue J. Ecological management pathways of degraded grasslands in alpine pasture areas in the context of tourism industry development. *Pratac Sci*, 2019, 36: 1435–1444 (in Chinese with English abstract).

[2] 董全民, 赵新全, 马玉寿. 江河源区高寒草地畜牧业现状及可持续发展策略. 农业现代化研究, 2007, 28: 438–442.
Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y S. Current situation and sustainable development strategy of alpine grassland animal husbandry in the river source area. *Agric Mod Res*, 2007, 28: 438–442 (in Chinese with English abstract).

[3] 陈鹏飞, 李潮流, 康世昌, 张强弓, 郭军明, 米决, 巴桑普赤, 洛桑曲珍. 青藏高原纳木错和安多牧区室内空气污染研究. 环境科学, 2011, 32: 1231–1236.
Chen P F, Li C L, Kang S C, Zhang Q G, Guo J M, Mi J, Basang P C, Luosang Q Z. Indoor air pollution in the Nam Co and Ando Regions in the Tibetan Plateau. *Environ Sci*, 2011, 32: 1231–1236 (in Chinese with English abstract).

[4] 彦星, 郑群英, 晏兆莉, 卢涛. 气候变化背景下草原产权制度变迁对畜牧业的影响——以青藏高原东缘牧区为例. 草业科学, 2015, 32: 1687–1694.
Yan X, Zheng Q Y, Yan Z L, Lu T. The impact of changes in grassland property rights system on livestock farming in the context of climate change: a case study of pastoral areas on the eastern edge of the Qinghai-Tibet Plateau. *Pratac Sci*, 2015, 32: 1687–1694 (in Chinese with English abstract).

[5] 张秀云, 姚玉璧, 邓振镛, 尹东, 王润元, 陈昌平. 青藏高原东北边缘牧区气候变化及其对畜牧业的影响. 草业科学, 2007, 24: 66–73.
Zhang X Y, Yao Y B, Deng Z Y, Yin D, Wang R Y, Chen C P. Climate change and its impact on animal husbandry in the northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau. *Pratac Sci*, 2007, 24: 66–73 (in Chinese with English abstract).

[6] 刘振恒, 武高林, 仁青草, 巩晓兰, 靳瑞芳, 刘明清. 发展以燕麦为支柱产业的可持续高寒草地畜牧业. 草业科学, 2007, 24: 67–69.
Liu Z H, Wu G L, Ren Q C, Gong X L, Jin R F, Liu M Q. Development of sustainable alpine grassland animal husbandry with oats as the pillar industry. *Pratac Sci*, 2007, 24: 67–69 (in Chinese with English abstract).

[7] 王东霞, 王伟, 李春喜, 宗渊, 曹东, 刘宝龙. 青海省不同海拔生态区饲用小黑麦生产性能分析. 分子植物育种, 2020, 18: 6216–6228.

Wang D X, Wang W, Li C X, Zong Y, Cao D, Liu B L. Analysis of production performance of forage triticale in different altitude ecological zones in Qinghai province. *Mol Plant Breed*, 2020, 18: 6216–6228 (in Chinese with English abstract).

[8] 唐剑, 刘晓鹰, 陈祥碧. 青藏高原藏族牧区畜牧业发展问题研究——以阿坝州若尔盖县为例. 经济界, 2016, (3): 71–76.
Tang J, Liu X Y, Chen X B. Study on the development of animal husbandry in Tibetan pastoral areas on the Qinghai-Tibet Plateau—A case study of Ruoerge county, Aba prefecture. *Econ Affairs*, 2016, (3): 71–76 (in Chinese with English abstract).

[9] 何龙娟, 陈伟忠, 康永兴, 栾义君. 青藏高原生态农牧区农村综合发展能力评价与分析. 生态经济, 2013, 29(3): 122–125.
He L J, Chen W Z, Kang Y X, Luan Y J. Evaluation and analysis of integrated rural development capacity in ecological agricultural and pastoral areas on the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecol Econ*, 2013, 29(3): 122–125 (in Chinese with English abstract).

[10] 周华坤, 赵新全, 周立, 唐艳鸿, 刘伟, 师燕. 层次分析法在江河源区高寒草地退化研究中的应用. 资源科学, 2005, 29: 63–70.
Zhou H H, Zhao X Q, Zhou L, Tang Y H, Liu W, Shi Y. Application of hierarchical analysis in the study of alpine grassland degradation in the river source area. *Resour Sci*, 2005, 29: 63–70 (in Chinese with English abstract).

[11] 陈勤, 孙雨珍, 董玉琛. “新疆小麦”种间杂种的细胞遗传学研究. 作物学报, 1985, 67: 23–29.
Chen Q, Sun Y Z, Dong Y C. Cytogenetic study on interspecific hybrids of Xinjiang wheat. *Acta Agron Sin*, 1985, 67: 23–29 (in Chinese with English abstract).

[12] 杨瑞武, 周永红, 郑有良, 胡超. 波兰小麦醇溶蛋白遗传差异及其与新疆稻麦的关系. 麦类作物学报, 2000, 20: 1–5.
Yang R W, Zhou Y H, Zhen Y L, Hu C. Genetic differences and the relationship of gliadin between *T. polonicum* and *T. petropavlovskyi*. *J Triticeae Crops*, 2000, 20: 1–5 (in Chinese with English abstract).

[13] 李美霞, 杨睿, 李有梅, 崔桂宾, 王竹林, 奚亚军, 刘曙东. 波兰小麦×普通小麦品系“中 13”RIL 群体籽粒特性的 QTL 定位. 麦类作物学报, 2012, 32: 813–819.
Li M X, Yang R, Li Y M, Cui G B, Wang Z L, Xi Y J, Liu S D. QTL analysis of kernel characteristics using a recombinant inbred lines (RILs) population derived from the cross of *Tiriticum polonicum* L. and *Triticum aestivum* L. line “Zhong 13”. *J Triticeae Crops*, 2012, 32: 813–819 (in Chinese with English abstract).

[14] 杨睿, 刘联正, 李华, 钟欢, 杨兴圣, 王竹林, 刘曙东. 波兰小麦×普通小麦品系中 13 重组自交系(RIL)群体穗部性状的 QTL 分析. 农业生物技术学报, 2012, 20: 506–513.
Yang R, Liu L Z, Li H, Zhong H, Yang X S, Wang Z L, Liu S D. QTL analysis of spike traits in the 13 recombinant inbred lines (RIL) population of *Tiriticum polonicum* L. and *Triticum aestivum* L. lines. *J Agric Biotech*, 2012, 20: 506–513 (in Chinese with English abstract).

[15] 沈玮囡, 王竹林, 杨睿, 李美霞, 梁子英, 奚亚军, 孙风丽, 刘曙东. 波兰小麦品系 XN555×普通小麦品系中 13 衍生重组自交系(RILs)群体中籽粒品质相关性状 QTL 定位. 农业生物技术学报, 2014, 22: 561–571.
Shen W Y, Wang Z L, Yang R, Li M X, Liang Z Y, Xi Y J, Sun F L, Liu S D. QTL analysis of grain quality related traits using recombinant inbred lines (RILs)derived from the cross of *Triticum polonicum*L. line XN555×T.*aestivum* L. line Zhong 13. *J Agric Biotech*, 2014, 22: 561–571 (in Chinese with English abstract).

[16] Michał K, Maciej M, Joanna M, Jolanta B, Elżbieta S, Urszula W, Marian W, Halina W. Intraspecific polymorphisms of cytogenetic markers mapped on chromosomes of *Triticum polonicum* L. *PLoS One*, 2016, 11: 1–14.

[17] Peng F, Wang C, Cheng Y, Kang H, Fan X, Sha L, Zhang H, Zeng J, Zhou Y and Wang Y. Expression of TpNRAMP5, a metal transporter from Polish wheat (*Triticum polonicum* L.), enhances the accumulation of Cd, Co and Mn in transgenic *Arabidopsis* plants. *Planta*, 2018, 247: 1395–1406.

[18] Jiang Y, Chen X, Chai S, Sheng H, Sha L, Fan X, Zeng J, Kang H, Zhang H, Xiao X, Zhou Y, Vatamaniuk O K, Wang Y. TpIRT1 from polish wheat (*Triticum polonicum* L.) enhances the accumulation of Fe, Mn, Co, and Cd in *Arabidopsis*. *Plant Sci*, 2021, 312: 111058–111071.

[19] 沈吉成, 李亚鑫, 赵彩霞, 叶发慧, 刘德梅, 刘瑞娟, 张怀刚, 陈文杰. 52 份波兰小麦种子性状分析. 麦类作物学报, 2021, 41: 834–841.
Shen J C, Li Y X, Zhao C X, Ye F H, Liu D M, Liu R J, Zhang H G, Chen W J. Analysis of seed traits of 52 wheat varieties (*Triticum polonicum* L.). *J Triticeae Crops*, 2021, 41: 834–841 (in Chinese with English abstract).

[20] 董攀, 李伟, 郑有良. 波兰小麦主要农艺性状分析. 麦类作物学报, 2007, 27: 216–222.
Dong P, Li W, Zheng Y L. Analysis on the agronomic traits of *Triticum polonicum* L. *J Triticeae Crops*, 2007, 27: 216–222 (in Chinese with English abstract).

[21] 王彦民, 王竹林, 奚亚军, 刘曙东. 波兰小麦对普通小麦醇溶蛋白的改良作用. 麦类作物学报, 2008, 28: 419–424.
Wang Y M, Wang Z L, Xi Y J, Liu S D. Improvement of alcoholic protein in common wheat by *Triticum polonicum* L. *J Triticeae Crops*, 2008, 28: 419–424 (in Chinese with English abstract).

[22] 余苗, 王卉, 问鑫, 高凤仙. 牧草品质的主要评价指标及其影响因素. 中国饲料, 2013, 24(13): 1–3.
Yu M, Wang H, Wen X, Gao F X. Main evaluation indexes of forage quality and influencing factors. *China Feed*, 2013, 24(13): 1–3 (in Chinese with English abstract).

[23] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000. pp: 30–38.
Bao S D. Soil Agrochemical Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000. pp: 30–38 (in Chinese with English abstract).

[24] 刘录祥, 孙其信, 王士芸. 灰色系统理论应用于作物新品种综合评估初探. 中国农业科学, 1989, 22: 22–27.
Liu L X, Sun Q X, Wang S Y. Application of grey system theory to comprehensive evaluation of new crop varieties. *Sci Agric Sin*, 1989, 22: 22–27 (in Chinese with English abstract).

[25] 汤瑞凉, 王奚. 农作物品种综合评判的熵权系数法研究. 资源开发与市场, 2002, 18(5): 3–14.
Tang R L, Wang Y. Study on entropy coefficient method for comprehensive evaluation of crop varieties. *Resourc Dev Market*, 2002, 18(5): 3–14 (in Chinese with English abstract).

[26] 曹雯梅, 刘松涛, 路红卫. 灰色系统理论在小麦新品种综合评判中的应用. 中国种业, 2005, 24(11): 48–50.

Cao W M, Liu S T, Lu H W. Application of gray system theory in the comprehensive evaluation of new wheat varieties. *China Seed Ind*, 2005, 24(11): 48–50 (in Chinese with English abstract).

[27] 郭瑞林, 路志芳, 吴秋芳, 刘亚飞. 小麦育种目标性状几种权重确定方法的比较. 麦类作物学报, 2014, 34: 1049–1053.
Guo R L, Lu Z F, Wu Q F, Liu Y F. Comparison of several weight determination methods for wheat breeding target traits. *J Triticeae Crops*, 2014, 34: 1049–1053 (in Chinese with English abstract).

[28] 张凡, 刘国涛, 杨春玲. 620 份小麦种质资源农艺性状调查及其遗传多样性分析. 山东农业科学, 2022, 54(3): 15–21.
Zhang F, Liu G T, Yang C L. Survey of 620 wheat germplasm resources for agronomic traits and their genetic diversity analysis. *Shandong Agric Sci*, 2022, 54(3): 15–21 (in Chinese with English abstract).

[29] 许娜丽, 王新华, 马冬花, 杨杰, 李清峰, 刘凤楼, 刘彩霞, 刘根红, 张晓岗, 王掌军. 251 份小麦种质资源的主要农艺与品质性状遗传多样性分析. 南方农业学报, 2021, 52: 2404–2416.
Xu N L, Wang X H, Ma D H, Yang J, Li Q F, Liu F L, Liu C X, Liu G H, Zhang X G, Wang Z J. Genetic diversity analysis of 251 wheat germplasm resources for major agronomic and quality traits. *Southern J Agric*, 2021, 52: 2404–2416 (in Chinese with English abstract).

[30] 郑凯, 顾洪如, 沈益新, 丁成龙. 牧草品质评价体系及品质育种的研究进展. 草业科学, 2006, 23: 57–61.
Zheng K, Gu H R, Shen Y X, Ding C L. Evaluation system of forage quality and research advances in forage quality breeding. *Pratac Sci*, 2006, 23: 57–61 (in Chinese with English abstract).

[31] 崔雄雄, 侯扶江, 常生华, 王召锋. 高寒牧区两个燕麦品种的产量与品质比较. 草业科学, 2018, 35: 1489–1495.
Cui X X, Hou F J, Chang S H, Wang Z F. Comparison of yield and nutritional quality of two oat (*Avena sativa*) varieties grown in the alpine pastoral region of China. *Pratac Sci*, 2018, 35: 1489–1495 (in Chinese with English abstract).

[32] 李春喜, 叶润荣, 周玉碧, 林丽, 孙菁, 张法伟, 彭立新. 高寒牧区不同燕麦品种饲草产量及品质的研究. 草地学报, 2014, 22: 882–888.
Li C X, Ye R R, Zhou Y B, Lin L, Sun J, Zhang F W, Peng L X. Study on the yield and quality of different oat varieties in alpine pasture area. *Acta Agrest Sin*, 2014, 22: 882–888 (in Chinese with English abstract).

[33] 马晓东, 孙金金, 汪鹏斌, 赵一珊, 宋美娟, 鱼小军. 青海果洛高寒地区燕麦和小黑麦最佳混播比例筛选. 草业科学, 2020, 37: 753–761.
Ma X D, Sun J J, Wang P B, Zhao Y S, Song M J, Yu X J. Screening of the best mixing ratio of *Avena sativa* and × *Triticale Wittmac*k in the high-cold area of Guoluo, Qinghai province. *Pratac Sci*, 2020, 37: 753–761 (in Chinese with English abstract).

[34] 裴亚斌, 杜文华, 刘汉成, 刘翠, 田新会. 甘南高寒牧区 3 种饲草不同种植模式下的生产性能及经济效益. 草业科学, 2020, 37: 791–799.
Pei Y B, Du W H, Liu H C, Liu C, Tian X H. Comparison of the production performance and economic benefits of three different forage planting models in the alpine grazing area of Gannan. *Pratac Sci*, 2020, 37: 791–799 (in Chinese with English abstract).

[35] 丁明磊, 王京宏, 王伟伟, 李嵩, 王志成, 张超, 孙风丽, 刘曙东, 奚亚军. 粮饲兼用型小麦种质资源筛选与评价. 草地学报, 2022, 30: 2027–2036.
Ding M L, Wang J H, Wang W W, Li S, Wang Z C, Zhang C, Sun F L, Liu S D, Xi Y J. Screening and evaluation of germplasm resources of grain-feeding wheat. *Acta Agrest Sin*, 2022, 30: 2027–2036 (in Chinese with English abstract).

[36] 康志钰. 甘肃河西灌区玉米播期对优质小麦与粮饲兼用玉米带田生产能力的影响. 草业科学, 2003, 20: 18–21.
Kang Z Y. The effects of maize sowing period on productivity of strip farmland growing high-quality wheat and grain-feed corn. *Pratac Sci*, 2003, 20: 18–21 (in Chinese with English abstract).

[37] 严威凯. 品种选育与评价的原理和方法评述. 作物学报, 2022, 48: 2137–2154.
Yan W K. A critical review on the principles and procedures for cultivar development and evaluation. *Acta Agron Sin*, 2022, 48: 2137–2154 (in Chinese with English abstract).

[38] 宋志均, 关立, 侯俊红, 韩勇, 薛鑫, 薛志伟, 张凡. 灰关联度确定权重法在小麦品种区域试验分析中的应用. 中国种业, 2016, 35(3): 27–31.
Song Z J, Guan L, Hou J H, Han Y, Xue X, Xue Z W, Zhang F. Application of gray correlation degree determination weight method in the analysis of regional trials of wheat varieties. *China Seed Ind*, 2016, 35(3): 27–31 (in Chinese with English abstract).

[39] 范成方, 史建民. 基于熵权的粮食种植效益综合评价: 以山东省玉米、小麦为例. 中国农业资源与区划, 2015, 36(3): 39–47.
Fan C F, Shi J M. A comprehensive evaluation of grain planting efficiency based on entropy power: taking corn and wheat in Shandong province as an example. *Chin J Agric Resour Region*, 2015, 36(3): 39–47 (in Chinese with English abstract).