

DOI:10.11686/cyxb2025192

http://cyxb.magtech.com.cn

李建建, 徐夕雯, 张源, 等. 南京地区饲用大麦主要农艺性状与营养品质评价. 草业学报, 2026, 35(3): 114—127.

LI Jian-jian, XU Xi-wen, ZHANG Yuan, *et al.* Evaluation of major agronomic traits and nutritional quality of forage barley varieties in the Nanjing region. Acta Prataculturae Sinica, 2026, 35(3): 114—127.

南京地区饲用大麦主要农艺性状与营养品质评价

李建建^{1,2*}, 徐夕雯², 张源¹, 王欢¹, 王浩然¹, 李晓慧¹, 沈会权³, 沈绍斌⁴, 宗俊勤¹, 郭海林¹

(1. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏省植物资源保护与利用重点实验室, 江苏 南京 210014; 2. 南京中医药大学, 江苏省中国科学院植物研究所草业研究中心, 江苏 南京 210014; 3. 江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏 盐城 224002; 4. 云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所, 云南 保山 678000)

摘要:为筛选出适宜于江苏西南部地区种植的饲用型大麦优良品种,本试验对39个不同大麦品种(系)的株高、茎粗、叶长、叶宽、分蘖数、第3节间长、第4节间长、穗长、穗宽、穗粒数、单株鲜重、单株干重、鲜草产量13个主要农艺性状及生产性能进行了测定,通过鲜草产量及单株干鲜重加权、并结合农艺性状评价筛选出生产及农艺性综合表现较优的10个大麦品种。进一步对筛选出的10个品种进行酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、粗蛋白(CP)、粗纤维、粗脂肪、相对饲喂价值(RFV)6个主要饲用品质指标的检测评估,并与其农艺及生产性能指标一起,通过相关性分析、主成分分析和隶属函数法综合评价不同大麦品种的表现。结果发现,所有供试大麦品种中Hv031、Hv013、Hv027、Hv017的鲜草产量较高($>50000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),筛选出的10个适应性突出的大麦品种(系)在营养品质性状方面具有显著性差异,以Hv017、Hv030与Hv036的营养品质为较优($\text{CP}>10$ 或 $\text{RFV}>100$);通过对各个成分进行相关性分析与主成分分析表明第4节间长、株高、穗宽、第3节间长、茎粗与ADF可作为饲用大麦农艺与营养品质性状的重点评价指标;隶属函数综合评价得出Hv017、Hv027与Hv009这3个品种的表现较好,尤以Hv017最为突出,可作为江苏南京及周边地区推广种植的首选饲用大麦品种材料。

关键词:饲用大麦;农艺性状;营养品质;相关性分析;主成分分析;隶属函数法

Evaluation of major agronomic traits and nutritional quality of forage barley varieties in the Nanjing region

LI Jian-jian^{1,2*}, XU Xi-wen², ZHANG Yuan¹, WANG Huan¹, WANG Hao-ran¹, LI Xiao-hui¹, SHEN Hui-quan³, SHEN Shao-bin⁴, ZONG Jun-qin¹, GUO Hai-lin¹

1. Jiangsu Key Laboratory for Conservation and Utilization of Plant Resources, Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences (Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen), Nanjing 210014, China; 2. Nanjing University of Chinese Medicine-Grass Research Center at Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences, Yancheng 224002, China; 4. Institute of Tropical and Subtropical Cash Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Baoshan 678000, China

Abstract: This study screened 39 varieties of forage barley (*Hordeum vulgare*) to identify elite varieties suitable for planting in the southwestern region of Jiangsu Province. Thirteen major agronomic traits: plant height, stem diameter, leaf length, leaf width, tiller number, the third internode length, the fourth internode length, spike

收稿日期:2025-05-12;改回日期:2025-06-25

基金项目:国家自然科学基金面上项目(32072608, 32371767)和江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(22)3175]资助。

作者简介:李建建(1979—),男,甘肃天水人,副研究员,博士。E-mail: lijianjian2015@cnbg.net

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: lijianjian2015@cnbg.net

length, spike width, kernel number per spike, fresh weight per plant, dry weight per plant, and fresh forage yield, were measured to determine agronomic performance. From the data, combined with agronomic evaluation, ten barley varieties with better multivariate scores for production and agronomic performance were identified. Further evaluation of six nutritional quality parameters, including acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), crude protein (CP), crude fiber (CF), ether extract (EE), and relative feeding value (RFV), was carried out for the ten varieties; and together with their production and agronomic trait indicators, the multivariate analysis used to identify the ten elite barley varieties included correlation analysis, principal component analysis, and membership function analysis. It was found that varieties Hv031, Hv013, Hv027, and Hv017 had the highest fresh herbage yields ($>50000 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) among all tested barley varieties. Meanwhile, selection of ten varieties (lines) with better adaptability and nutritional quality traits, identified varieties Hv017, Hv030, and Hv036 as the most outstanding ($\text{CP}>10$ or $\text{RFV}>100$). The correlation analysis and principal component analysis of all measured traits indicated that the fourth internode length, plant height, spike width, the third internode length, stem diameter, and ADF can be used as key evaluation indicators for agronomic traits and nutritional quality traits in forage barley. The multivariate evaluation by membership function analysis demonstrated that Hv017, Hv027, and Hv009 were better for overall trait performance, with Hv017 being particularly outstanding. We therefore recommend that this variety be prioritized as the primary candidate variety for promotion and planting in Nanjing and surrounding areas of Jiangsu Province.

Key words: forage barley; agronomic traits; nutritional quality; correlation analysis; principal component analysis; membership function method

大麦(*Hordeum vulgare*)是禾本科大麦属的重要作物,其全球产量和种植面积在禾谷类作物中位居第4。作为一种多功能作物,大麦具有饲用、啤用、食用和药用等多种用途,其中饲用是其首要用途^[1]。除籽粒可饲用外,大麦亦可将绿色植株刈割而用作饲草,如青饲、干草或青贮饲料^[2-3]。大麦绿色植株含有较高的蛋白质,而且其氨基酸、矿物质及维生素A、E含量均高于玉米(*Zea mays*)植株^[4]。大麦的这种高蛋白特性有利于畜牧日粮的营养配比,加之其全株干物质消化率高,作为青贮饲料不仅适口性佳^[5],而且其营养价值突出,能有效促进猪、牛、鹅等畜禽的生长发育^[6-8],故是一种优质的饲草。

大麦因其广泛的适应性和较强的抗逆性,在我国的种植区域较广,主要分为冬大麦区和春大麦区。冬大麦主要分布在长江流域、黄淮海及西南地区,春大麦主要分布在西北、东北等北方冷凉地区。尽管有着广泛的种植区域,但我国的大麦供需情况呈现生产有限、消费旺盛、进口依赖度高的特点。考虑到近年来居民消费结构逐渐从传统口粮向“大食物观”转变,我国大麦供需不平衡的矛盾将日益突出。由于当前国内大麦产量远不能满足快速增长的需求,而大麦饲用性价比高,且无配额限制,致使进口规模持续扩大,中国已成为全球最大的饲用大麦进口国^[9]。此外,由于大麦种植的经济效益不及玉米和小麦(*Triticum aestivum*)等大宗作物,使得部分产区的大麦种植面积在过去的一段时间有所下降。然而,由于其生育期相对较短且生长速度快的特性,大麦在缓解冬春季节饲草短缺方面具有独特优势,因此在南方地区可通过冬季闲田种植大麦,既为畜牧业提供优质饲草,又能实现经济效益与生态效益的双赢,对推动畜牧业可持续发展具有重要意义。

江苏是长江中下游及沿海地区种植大麦面积最大的省份,种植面积常年稳定在6.67万~10.00万 hm^2 ,占全国大麦总生产面积的10%~15%。省内大麦种植主要集中在苏北(如盐城、淮安、连云港)地区,且以啤用为主。虽然饲用型大麦在国外的利用已较为广泛^[10],但国内饲用大麦的应用和相关研究还处于起步阶段。受到居民饮食结构和国家粮改饲政策实施的影响,江苏省也开始重视饲用型大麦品种的培育和生产种植。然而相比于啤用型大麦,目前可用于省内大范围种植推广的饲用型大麦品种(系)非常有限,故亟需引进或培育出适宜于江苏种植和推广的饲用大麦品种。据此,本研究选用国内的大麦种质资源(品种)39份,通过在南京地区的生长适应性表

现, 以及对其生产农艺和营养品质性状的综合分析, 以期筛选出适宜于南京及周边地区种植推广的饲用大麦品种(系), 也为进一步培育优质饲用大麦提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于江苏省南京市湖熟现代农业示范区中试基地(31°51′—31°54′ N, 118°54′—118°57′ E), 该地区地势平坦、水网密集、光照充足、雨量充沛, 自然环境优越, 属于亚热带湿润气候区, 年均气温 22 °C, 年均降水量 959.8 mm, 年均日照时数 1786.4 h, 年均风速 3.5 m·s⁻¹, 年均相对湿度 76%, 无霜期 214 d, 气候温和宜人, 四季分明, 历史上无风灾、震灾记录。土壤属重黏壤土, 偏酸性。

1.2 试验材料与 设计

供试材料为江苏省中国科学院植物研究所草业研究中心饲草研究室收集的 39 份国内大麦品种(系)资源, 材料信息见表 1。参试材料于 2023 年 10 月 27 日统一播种于中试基地试验地核心区, 选取平坦且肥力一致的地块建立饲用大麦试验小区, 单个小区面积 3 m×3 m, 采用条播, 小区间距 0.5 m, 采用完全随机区组试验设计, 3 次重复, 灌溉方式为喷灌。播种时施用氮磷钾(NPK)复合肥料作为基肥(225 kg·hm⁻²), 播后灌水 5 次, 在生长期人工清除杂草 2 次。于次年 6 月中旬在各品种(系)达到乳熟中后期时进行刈割测产和营养品质测定。

1.3 测定指标与 方法

1.3.1 饲草农艺性状 在大麦生长达到乳熟中后期时, 在各品种(系)小区中间行随机选取 10 株大麦, 测定其株高、茎粗、叶长、叶宽、第 3 节间长、第 4 节间长、分蘖数、穗长、小穗数、穗粒数等指标。在各小区随机选取 1 m×1 m 的小样方, 留茬约 10 cm, 刈割样方内的全部植株后称得鲜草产量, 并换算成 kg·hm⁻²; 并从中随机选取 10 株大麦称量其单株鲜重, 之后置于烘箱中 105 °C 杀青 30 min, 最后于 80 °C 下烘至恒重, 称量得到单株干重。

1.3.2 饲草营养品质 在生长适应性观测与主要农艺性状测定分析的基础上, 根据对参试材料生产性状的加权统计, 即鲜草产量、单株鲜重、单株干重分别按照 50%、25%、25% 加权统计, 从中筛选出评分排序居前的 10 个大麦品种(系)材料, 对其烘干至恒重, 测定粗蛋白(crude protein, CP), 粗脂肪(ether extract, EE)、粗纤维(crude fiber, CF), 中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量, 根据 NDF、ADF 计算得出相对饲喂价值(relative feeding value, RFV)^[11], 具体计算公式如下:

$$\text{DMI} = 120 / \text{NDF} \quad (1)$$

$$\text{DDM} = 88.9 - 0.779 \times \text{ADF} \quad (2)$$

$$\text{RFV} = \text{DMI} \times \text{DDM} / 1.29 \quad (3)$$

式中: DMI 为干物质采食量(dry matter intake, %), DDM 为可消化干物质(digestible dry matter, %)。

1.4 数据处理与 分析

采用 Excel 2019 进行原始数据的整理和分析, 利用 SPSS 27.0 数据处理系统软件进行方差分析和 Duncan's 新复极差多重比较、主成分分析, 利用 OriginPro 2024 软件进行 Pearson 相关性分析与作图, 运用模糊数学隶属函数法对 10 个适应性表现突出的大麦品种(系)的农艺生产性状及营养品质指标进行隶属函数值计算, 以评价不同品种(系)的综合表现。将测定的各指标分别代入下列公式求得相应的隶属函数值(D)。

$$\text{隶属函数值: } \mu(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

式中: X_i 为第 i 个因子的得分值; X_{\min} 为第 i 个因子得分最小值; X_{\max} 为第 i 个因子得分最大值。

$$\text{权重: } W_i = P_i / \sum_{i=1}^n P_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

式中: W_i 为第 i 个因子在所有公因子中的重要程度; P_i 为各品种第 i 个因子的贡献率。

$$\text{综合评价: } D = \sum_{i=1}^n [\mu(X_i) \times W_i] \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

式中: D 为参试大麦品种的综合评价价值。

表 1 39 个供试大麦种质资源信息

Table 1 The information of 39 barley varieties (lines) tested in this study

编号 Number	品种(系)名 Va- riety (line) name	来源 Origin	编号 Number	品种(系)名 Vari- ety (line) name	来源 Origin
Hv001	苏啤 7 号 Supi No. 7	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv021	盐 14002 Yan 14002	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv002	苏啤 8 号 Supi No. 8	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv022	盐 14021 Yan 14021	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv003	苏啤 9 号 Supi No. 9	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv023	盐 14046 Yan 14046	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv004	苏啤 12 号 Supi No. 12	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv024	盐 14073 Yan 14073	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv005	苏啤 13 号 Supi No. 13	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv025	盐 14188 Yan 14188	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv006	苏啤 14 号 Supi No. 14	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv026	盐 15150 Yan 15150	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv007	盐麦 6 号 Yanmai No. 6	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv027	盐 15187 Yan 15187	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv008	盐麦 7 号 Yanmai No. 7	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv028	盐 15200 Yan 15200	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv009	盐 05150 Yan 05150	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv029	盐 16087 Yan 16087	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv010	盐 07018 Yan 07018	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv030	盐 17142 Yan 17142	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences
Hv011	盐 07244 Yan 07244	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv031	甘啤 7 号 Ganpi No. 7	河西学院 Hexi University
Hv012	盐 08221 Yan 08221	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv032	甘啤 2 号 Ganpi No. 2	甘肃农业大学 Gansu Agricultural University
Hv013	盐 09114 Yan 09114	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv033	GN42	甘肃农业大学 Gansu Agricultural University
Hv014	盐 11232 Yan 11232	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv034	GN121	甘肃农业大学 Gansu Agricultural University
Hv015	盐 12098 Yan 12098	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv035	云饲麦 3 号 Yunsimai No. 3	云南省农业科学院 Yunnan Academy of Agricultural Sciences
Hv016	盐 12153 Yan 12153	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv036	云饲麦 8 号 Yunsimai No. 8	云南省农业科学院 Yunnan Academy of Agricultural Sciences
Hv017	盐 12195 Yan 12195	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv037	云啤 12 号 Yunpi No. 12	云南省农业科学院 Yunnan Academy of Agricultural Sciences
Hv018	盐 13012 Yan 13012	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv038	云啤 18 号 Yunpi No. 18	云南省农业科学院 Yunnan Academy of Agricultural Sciences
Hv019	盐 13067 Yan 13067	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences	Hv039	云稞 5 号 Yunke No. 5	云南省农业科学院 Yunnan Academy of Agricultural Sciences
Hv020	盐 13215 Yan 13215	江苏沿海地区农业科学研究所 Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences			

2 结果与分析

2.1 不同大麦品种(系)农艺性状比较分析

对供试材料农艺性状统计分析发现,39份大麦种质材料在农艺性状方面差异较大。大麦各品种(系)株高为15.92~78.17 cm,最高与最矮品种(系)间相差62 cm以上,其中品种Hv006的株高最高,除了与Hv012差异不显著外,与其他所有品种之间存在显著性差异;Hv033株高最矮,除与品种Hv032之间差异不显著外,与其他各品种之间具有显著性差异。各品种茎粗为3.38~5.55 mm,以Hv034的茎粗最大,除与Hv005、Hv008、Hv009、Hv017、Hv018、Hv021、Hv023、Hv025、Hv026这9个品种之间不具有显著性差异外,与其他品种在茎粗上存在显著性差异。在叶长与叶宽方面,品种Hv033的叶长超过21 cm,显著大于其他所有品种,约是叶长最短品种Hv031的1.76倍;Hv039的叶宽为22.60 mm,也显著大于其他所有品种,是叶宽最窄品种Hv033的1.92倍。分蘖数达到10个的品种有Hv007、Hv015、Hv019、Hv020、Hv022、Hv032、Hv034,其中Hv032的分蘖数为14.33个,在所有供试品种中居首位,除了与Hv020之间差异不显著外,该品种与其他所有品种之间差异显著(表2)。

从茎秆节间长和麦穗特征上看,Hv012、Hv024与Hv029这3个品种的第3节间长均达到或超过9 cm,大约是最短品种Hv034的2.61倍;同时Hv012的第4节间长超过14 cm,是最短品种Hv034的2.27倍。在麦穗方面,穗长居前3位的为Hv034、Hv033、Hv032,这3个品种的穗长显著大于其他供试品种,同时它们之间也具有显著性差异;而穗宽介于0.68~1.80 cm,穗宽最大的品种为Hv001,除了与Hv007之间不具有显著性差异外,与其他所有品种之间均呈显著性差异;品种Hv036的穗粒数最大,Hv039次之,而Hv006、Hv038与Hv001的穗粒数较少,它们的穗粒数显著低于所参试大麦品种(系)中近一半的品种(表3)。

2.2 不同大麦品种(系)生产性状比较分析

对供试材料生产性能指标的测定分析可知,39个供试大麦品种间的鲜草产量变异较大,每 hm^2 鲜草产量达到或超过50000 kg的大麦品种有Hv013、Hv017、Hv027、Hv031,而低于15000 kg的品种有Hv033与Hv034,产量最高与最低品种之间相差3倍多。各供试材料单株鲜重的大小排序并不完全与每 hm^2 的鲜草产量排序相一致,单株鲜重排名居前3的品种依次为Hv039、Hv035与Hv030,而排名倒三的品种依次为Hv003、Hv034与Hv001,单株鲜重最高品种Hv039与最低品种Hv003之间相差大于4倍。除了Hv039与Hv030的单株干重远高于其他品种外,其余供试品种在单株干重方面的变化相对较小,为 $1.05\sim 2.90\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ (表4)。

2.3 不同大麦品种(系)营养品质比较分析

对参试品种的生产性状加权统计分析筛选出Hv009、Hv013、Hv017、Hv026、Hv027、Hv030、Hv031、Hv035、Hv036、Hv039共10个适应性表现突出的品种,并对其营养品质分析可知,该10个大麦品种的ADF与NDF含量分别为30.93%~40.27%与54.62%~66.43%,其中Hv017的ADF含量最低,Hv030的NDF含量最低。Hv017与Hv036的CP含量均大于10%,显著高于其他品种,而Hv026、Hv035与Hv039均小于7%,显著低于其他品种。Hv030与Hv017的CF含量较低,均小于50%。Hv030、Hv039、Hv009与Hv036这4个品种的EE含量在2%以下。该10个适应性突出品种的RFV为89.33~106.26,以Hv030与Hv017的RFV较高,显著高于其他8个品种(表5)。

2.4 不同大麦品种(系)的相关性分析

通过对10个适应性表现突出的大麦品种农艺生长性状与营养品质的相关性分析可知(图1),鲜草产量与单株鲜重、叶长分别呈显著和极显著负相关关系。单株鲜重与单株干重、叶宽呈极显著正相关关系,与叶长、ADF含量呈显著正相关关系,而与分蘖数呈显著负相关关系。单株干重与叶宽呈极显著正相关关系,而与EE含量呈显著负相关关系。株高与第3节间长、第4节间长呈极显著正相关关系,与茎粗呈显著正相关关系,而与穗粒数和ADF分别呈显著和极显著负相关关系。第3节间长与第4节间长呈极显著正相关关系,与茎粗呈显著正相关关系,而与ADF含量呈极显著负相关关系。第4节间长与穗宽呈极显著正相关关系,而与穗粒数呈显著负相关关系。分蘖数与叶宽呈显著负相关关系。叶长与穗粒数呈显著正相关关系。穗长与穗宽呈显著负相关关系。穗粒

表 2 39 个大麦品种(系)的茎秆与叶片性状比较分析

Table 2 Comparative analysis of stem and leaf traits of 39 barley varieties (lines)

编号 Number	农艺性状指标 Agronomical traits index				
	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (mm)	叶长 Leaf length (cm)	叶宽 Leaf width (mm)	分蘖数 Tiller number
Hv001	70.21±0.57bcdef	4.43±0.39defghij	15.77±0.45ijklmn	15.85±0.62efghi	6.83±0.70hij
Hv002	62.90±1.28jkl	3.75±0.17jklm	14.79±0.50lmno	15.70±0.26efghij	7.17±0.54ghij
Hv003	71.95±0.88bcdef	3.55±0.11klm	12.69±0.31r	12.30±0.26o	9.33±0.88cdefghi
Hv004	72.83±0.79bc	4.26±0.34fghijk	13.20±0.28qr	14.70±0.63hijklmn	7.33±0.33fghij
Hv005	67.10±1.23efghij	4.93±0.20abcde fgh	15.76±0.52ijklmn	15.40±0.50efghijkl	8.83±0.87cdefghi
Hv006	78.17±1.90a	4.14±0.20hijklm	15.37±0.43ijklmn	14.40±0.31jklm	6.67±1.26ij
Hv007	72.28±1.32bcd	4.14±0.31hijklm	12.51±0.33r	13.50±0.27mn	10.83±0.40bcde
Hv008	72.80±1.59bc	4.95±0.26abcde f	18.01±0.45def	18.10±0.38b	9.00±0.63cdefghi
Hv009	69.64±1.25bcde f	5.12±0.13abcde	15.58±0.39ijklmn	16.10±0.41efg	7.67±0.67fghij
Hv010	70.38±1.79bcdef	4.45±0.19defghij	15.30±0.38klmn	14.50±0.50ijklm	9.33±0.76cdefghi
Hv011	65.98±1.16fghijk	3.78±0.32jklm	13.12±0.72qr	12.70±0.54no	7.17±0.48ghij
Hv012	74.36±1.63ab	4.56±0.18bcde fghij	14.69±0.39lmnop	14.70±0.33hijklmn	8.67±0.71cdefghi
Hv013	60.69±1.00l	4.45±0.24defghij	16.79±0.39fghi	15.70±0.21efghij	8.67±0.76cdefghi
Hv014	68.31±1.28cde fgh	4.34±0.11efghijk	13.54±0.27opqr	16.50±0.22cde	8.67±0.95cde fghi
Hv015	72.50±1.51bcd	4.34±0.26efghijk	12.70±0.38r	13.60±0.27mn	10.83±0.91bcde
Hv016	70.37±1.69bcde f	4.35±0.27efghijk	17.62±0.45efg	15.40±0.31efghijkl	9.00±1.15cde fghi
Hv017	65.05±1.93ghijkl	5.04±0.21abcde f	15.79±0.27ijklmn	15.80±0.42efghi	7.33±0.49fghij
Hv018	64.42±1.34hijkl	5.16±0.07abcd	13.10±0.50qr	13.90±0.23lmn	5.33±0.61j
Hv019	60.41±1.85l	4.35±0.15efghijk	16.76±0.25fghijk	15.70±0.21efghij	11.33±1.02bc
Hv020	73.05±0.84bc	4.40±0.16defghij	13.53±0.32opqr	13.90±0.38lmn	13.17±1.58ab
Hv021	68.40±1.11cde fgh	5.32±0.14ab	16.02±0.63hijkl	15.40±0.31efghijkl	9.50±1.57cde fghi
Hv022	62.79±1.74jkl	4.32±0.23efghijk	12.48±0.24r	14.20±0.36klm	10.17±1.22cde f
Hv023	63.38±1.16ijkl	5.04±0.17abcde f	13.39±0.32pqr	17.40±0.37bcd	9.67±0.76cde fgh
Hv024	69.12±1.61cde fgh	4.21±0.23ghijkl	14.42±0.49nopq	13.70±0.15lmn	9.33±0.71cde fghi
Hv025	61.98±1.14kl	4.93±0.23abcde fgh	14.54±0.29mnop	14.40±0.22jklm	9.00±0.37cde fghi
Hv026	67.73±1.05de fghi	5.27±0.13abc	17.14±0.36fgh	16.00±0.47efgh	9.50±0.67cde fghi
Hv027	62.65±0.99jkl	4.04±0.34ijklm	15.61±0.51ijklmn	16.20±0.44def	9.17±1.08cde fghi
Hv028	62.50±0.93jkl	4.76±0.17bcde fghi	15.16±0.35lmn	16.70±0.26cde	8.17±0.87efghi
Hv029	68.89±1.21cde fgh	4.00±0.20ijklm	14.82±0.25lmno	14.80±0.39ghijklmn	9.67±0.95cde fgh
Hv030	65.25±1.11ghijkl	3.95±0.32jklm	17.73±0.41efg	15.00±0.33fghijklm	8.33±0.71de fghi
Hv031	45.94±1.83mn	3.93±0.21jklm	12.43±0.55r	11.90±0.50o	9.00±0.37cde fghi
Hv032	18.67±1.07p	/	19.17±0.37bcd	16.50±0.40cde	14.33±0.33a
Hv033	15.92±2.36p	/	21.84±0.50a	11.80±0.55o	9.83±0.70cde f
Hv034	30.69±2.55o	5.55±0.36a	20.28±0.66b	17.50±0.52bc	11.17±1.35bcd
Hv035	41.95±1.28n	3.89±0.18jklm	19.56±0.33bc	13.90±0.48lmn	7.33±0.67fghij
Hv036	47.47±2.28m	4.32±0.28efghijk	18.69±0.46cde	14.80±0.33ghijklmn	7.33±0.61fghij
Hv037	42.01±1.04n	3.45±0.24lm	15.69±0.42hijklm	12.10±0.46o	7.83±0.31fghij
Hv038	43.48±1.30mn	3.38±0.27m	16.62±0.47ghijk	15.40±0.64efghijkl	7.00±0.37ghij
Hv039	42.73±1.07n	4.53±0.40cde fghij	20.03±0.17b	22.60±0.43a	5.17±0.48j

注：同列不同小写字母表示不同品种(系)间具有显著差异($P < 0.05$)，“/”表示缺省，下同。

Note: The different lowercase letters indicate significant difference among the different varieties (lines) in the same column. “/” indicates data default. The same below.

表3 39个大麦品种(系)的节间长与穗部性状比较分析

Table 3 Comparative analysis of internode length and spike traits of 39 barley varieties (lines)

编号 Number	农艺性状指标 Agronomical traits index				
	第3节间长 The third internode length (cm)	第4节间 The fourth internode length (cm)	穗长 Spike length (cm)	穗宽 Spike width (cm)	穗粒数 Kernel number per spike
Hv001	5.27±0.39ijk	7.88±1.09jklm	5.72±0.20no	1.80±0.06a	20.00±1.46fg
Hv002	6.33±0.44fghi	10.57±0.57defghi	6.13±0.08klmno	1.40±0.06fghi	27.50±0.85cde
Hv003	8.00±0.40bcdef	12.43±0.65abcdef	4.63±0.08q	1.63±0.03bcd	22.35±1.02defg
Hv004	7.68±0.52bcdefg	11.88±1.86abcdefg	5.83±0.21mno	1.58±0.05bcde	28.00±1.53cde
Hv005	6.75±0.31efghi	10.60±1.05defghi	5.98±0.26lmno	1.63±0.06bcd	25.17±0.48cdefg
Hv006	7.50±0.57bcdefg	11.12±1.18bcdefghi	5.95±0.13lmno	1.64±0.06bcd	19.50±1.50fg
Hv007	8.35±0.71abcde	12.72±4.02abcde	6.08±0.20klmno	1.68±0.07ab	21.50±0.67efg
Hv008	7.60±0.76bcdefg	12.28±1.57abcdef	6.90±0.22fghi	1.62±0.04bcd	27.67±1.31cde
Hv009	6.97±0.58defgh	10.77±1.65cdefghi	6.97±0.27fghi	1.42±0.06efghi	26.00±1.63cdefg
Hv010	7.43±0.41bcdefg	12.35±1.26abcdef	7.03±0.13fgh	1.50±0.04cdefg	25.00±1.26cdefg
Hv011	6.88±0.47efgh	10.13±1.09efghijk	5.87±0.14mno	1.47±0.09defgh	30.00±1.00c
Hv012	9.82±0.34a	14.17±1.47a	6.30±0.24ijklmn	1.57±0.03bcdef	25.67±1.50cdefg
Hv013	8.05±0.50bcdef	11.82±1.75abcdefg	6.40±0.27hijklmn	1.53±0.03bcdefg	29.00±1.00cd
Hv014	8.48±0.47abcde	13.58±1.73ab	5.05±0.09pq	1.55±0.10bcdefg	24.67±1.61cdefg
Hv015	7.55±0.79bcdefg	12.48±1.39abcdef	5.87±0.08mno	1.55±0.03bcdefg	26.00±1.00cdefg
Hv016	7.88±0.39bcdef	9.77±1.17fghijkl	5.47±0.06op	1.63±0.04bcd	28.17±1.11cde
Hv017	8.78±0.33abc	11.43±2.84bcdefg	5.95±0.24lmno	1.60±0.03bcd	25.00±0.93cdefg
Hv018	7.97±0.44bcdef	12.98±1.10abcd	5.87±0.23mno	1.50±0.04cdefg	24.33±1.05cdefg
Hv019	8.65±0.28abcd	10.85±1.87bcdefghi	6.43±0.19hijklm	1.38±0.06ghi	22.50±1.23defg
Hv020	8.45±0.37abcde	10.45±2.93defghi	6.33±0.22ijklmn	1.47±0.02defgh	24.00±1.71cdefg
Hv021	7.93±0.40bcdef	9.50±1.91ghijkl	5.90±0.12mno	1.53±0.04bcdefg	24.17±1.96cdefg
Hv022	7.12±0.42cdefgh	10.95±1.85bcdefghi	5.85±0.30mno	1.52±0.07bcdefg	27.00±1.51cde
Hv023	8.45±0.37abcde	11.77±3.83abcdefg	6.17±0.16jklmno	1.52±0.09bcdefg	27.00±1.13cde
Hv024	9.00±0.68ab	12.17±1.38abcdefg	6.83±0.18fghij	1.47±0.03defgh	29.83±0.98c
Hv025	7.37±0.53bcdefg	11.52±1.41abcdefg	6.62±0.20ghijkl	1.28±0.03ij	27.00±0.93cde
Hv026	8.02±0.42bcdef	11.30±1.12bcdefgh	7.23±0.16fg	1.32±0.05gi	27.00±0.89cde
Hv027	7.65±0.97bcdefg	11.47±2.55abcdefg	6.73±0.16ghijk	1.60±0.06bcd	26.17±2.15cdef
Hv028	7.63±0.65bcdefg	11.52±1.49abcdefg	7.07±0.19fgh	1.40±0.04fghi	28.00±1.91cde
Hv029	9.02±0.29ab	13.50±0.25abc	5.98±0.20lmno	1.65±0.04bc	25.67±0.76cdefg
Hv030	7.25±0.80cdefgh	12.73±1.26abcde	6.42±0.18hijklmn	1.55±0.07bcdefg	25.33±0.71cdefg
Hv031	5.67±0.62hij	8.52±1.75ijklm	8.68±0.25de	0.98±0.03l	25.50±2.22cdefg
Hv032	/	/	10.12±0.20c	0.68±0.03m	23.83±0.70cdefg
Hv033	/	/	11.23±0.21b	0.78±0.07m	29.67±0.61c
Hv034	3.45±0.15l	6.23±1.49m	11.92±0.25a	1.05±0.04kl	25.67±1.63cdefg
Hv035	3.78±0.23kl	7.73±0.73klm	6.52±0.21hijklm	1.13±0.03kl	36.83±2.39b
Hv036	6.02±0.69ghij	7.35±3.47lm	7.50±0.41f	1.15±0.02jk	48.17±8.22a
Hv037	3.80±0.26kl	10.05±1.47efghijk	9.18±0.30d	0.98±0.03l	26.67±1.61cde
Hv038	3.65±0.11l	8.63±4.32hijklm	6.87±0.22fghi	1.05±0.02kl	19.67±1.02fg
Hv039	4.75±0.54jkl	9.85±2.00fghijkl	8.17±0.19e	1.42±0.03efghi	39.00±2.67b

表 4 39 个大麦品种(系)的生产性能比较

Table 4 Comparison of production performance of 39 barley varieties (lines)

编号 Number	生产性状指标 Production performance index		
	鲜草产量 Fresh forage yield ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单株鲜重 Fresh weight per plant ($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	单株干重 Dry weight per plant ($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)
Hv001	38300±0.04ghijk	3.48±0.60p	1.62±0.19ijklm
Hv002	38233±0.13ghijk	4.37±0.28nop	1.05±0.10n
Hv003	45733±0.10c	3.45±0.28p	1.62±0.12ijklm
Hv004	39067±0.05fghi	5.46±0.26ghijklmn	1.48±0.13klm
Hv005	36800±0.03jkl	5.28±0.42hijklmno	1.18±0.17mn
Hv006	37167±0.04ijk	6.68±0.35defg	1.93±0.11fghijk
Hv007	43033±0.07d	4.02±0.16op	1.66±0.12ijk
Hv008	28767±0.11o	5.95±0.36efghijkl	2.16±0.12defgh
Hv009	42200±0.05de	6.16±0.57efghijk	2.47±0.18de
Hv010	33367±0.04m	5.68±0.42fghijklmn	2.51±0.16cd
Hv011	43233±0.02d	5.35±0.16ghijklmno	1.82±0.12ghijk
Hv012	42800±0.06d	4.62±0.39lmnop	1.58±0.13jklm
Hv013	53300±0.05a	6.52±0.50efghi	2.53±0.21cd
Hv014	40000±0.08fg	6.17±0.24efghijk	1.96±0.12fghijk
Hv015	38033±0.05hijk	5.14±0.24ijklmno	1.88±0.12ghijk
Hv016	36667±0.07kl	5.60±0.23fghijklmn	1.79±0.10ghijk
Hv017	50667±0.06b	7.07±0.29def	1.87±0.10ghijk
Hv018	42333±0.04de	6.32±0.43efghij	1.91±0.12ghijk
Hv019	41900±0.05de	6.37±0.39efghij	1.80±0.12ghijk
Hv020	45767±0.06c	5.31±0.56ghijklmno	1.60±0.19ijklm
Hv021	38667±0.06ghij	4.88±0.19klmno	1.64±0.09ijkl
Hv022	34933±0.08lm	4.46±0.25mnop	1.20±0.06lmn
Hv023	42800±0.05d	5.77±0.20efghijklm	1.81±0.08ghijk
Hv024	42033±0.04de	5.52±0.34ghijklmn	1.60±0.09ijklm
Hv025	36333±0.04kl	5.94±0.36efghijkl	1.85±0.14ghijk
Hv026	40567±0.02ef	7.85±0.70cd	2.24±0.24defg
Hv027	50967±0.04b	6.91±0.56def	2.07±0.18efghi
Hv028	46467±0.05c	4.66±0.30lmnop	1.70±0.08hijk
Hv029	39533±0.06fgh	6.21±0.30efghijk	1.96±0.10fghijk
Hv030	37867±0.09hijk	9.22±0.40b	3.34±0.11b
Hv031	54067±0.06a	5.89±0.65efghijkl	1.64±0.14ijkl
Hv032	29333±0.04o	7.80±0.51cd	1.84±0.13ghijk
Hv033	13000±0.03p	3.55±0.31p	2.90±0.16c
Hv034	13900±0.05p	3.48±0.20p	2.37±0.20def
Hv035	34300±0.05m	9.24±0.45b	1.85±0.14ghijk
Hv036	37200±0.06ijk	8.62±0.68bc	2.06±0.11efghij
Hv037	31233±0.05n	5.06±0.27ijklmno	1.81±0.08ghijk
Hv038	37467±0.04ijk	6.66±0.38defgh	1.79±0.17ghijk
Hv039	34933±0.04lm	15.04±0.42a	4.61±0.10a

表5 10个农艺性状兼生产性能突出的大麦品种(系)的饲用营养品质比较

Table 5 Comparison of nutritional quality of the tested 10 barley varieties (lines) with outstanding agronomic traits and production performance

编号 Number	营养品质性状 Nutritional quality traits						
	酸性洗涤纤维 Acid de- tergent fiber (ADF, %)	中性洗涤纤维 Neutral de- tergent fiber (NDF, %)	粗蛋白 Crude pro- tein (CP, %)	粗纤维 Crude fiber (CF, %)	粗脂肪 Ether ex- tract (EE, %)	相对饲喂价值 Relative feeding value (RFV)	
Hv009	32.23±0.20d	66.43±0.37a	7.37±0.03d	56.36±0.26a	1.40±0.05e	89.33±0.33c	
Hv013	33.57±0.32c	62.43±0.33b	7.65±0.03c	53.13±0.16d	2.78±0.04a	93.51±0.85b	
Hv017	30.93±0.21e	57.12±0.50d	10.18±0.04a	48.25±0.19g	2.04±0.04c	105.54±0.78a	
Hv026	35.53±0.19b	62.37±0.39b	6.53±0.04g	54.08±0.13c	2.89±0.03a	91.32±0.43bc	
Hv027	31.13±0.24e	64.85±0.67a	9.32±0.06b	54.90±0.13b	2.32±0.03b	92.76±1.22b	
Hv030	34.03±0.24c	54.62±0.37e	7.53±0.06c	47.46±0.26h	1.10±0.04f	106.26±0.40a	
Hv031	35.99±0.12b	60.43±0.75c	7.54±0.03c	52.33±0.18e	2.79±0.04a	93.71±1.01b	
Hv035	40.07±0.20a	57.55±0.92d	6.80±0.04f	51.63±0.32f	2.77±0.03a	93.28±1.27b	
Hv036	36.12±0.25b	60.66±0.71bc	10.10±0.02a	52.65±0.14de	1.88±0.05d	93.19±0.80b	
Hv039	40.27±0.18a	58.90±0.66cd	6.94±0.06e	52.80±0.25de	1.12±0.02f	90.88±1.23bc	

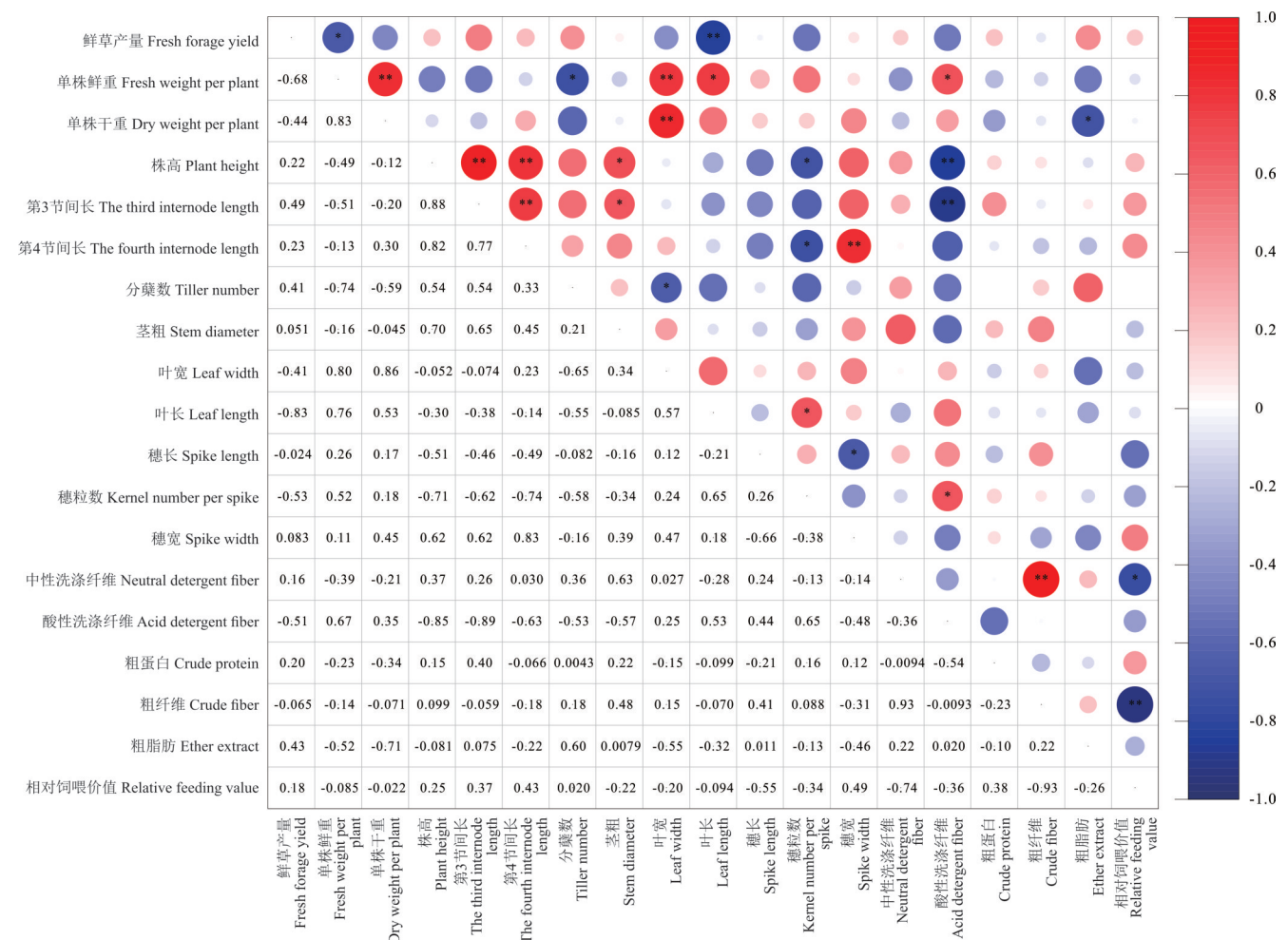


图1 10个农艺性状兼生产性能突出的大麦品种(系)的生产、农艺及其营养品质性状的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of production, agronomic and nutritional quality traits of the tested 10 barley varieties (lines) with outstanding agronomic traits and production performance

**：在0.01级别(双尾)相关性显著；*：在0.05级别(双尾)相关性显著。 ** and * indicate the significant correlation at 0.01 and 0.05 level (two-tailed), respectively.

数与 ADF 含量呈显著正相关关系。NDF 含量与 CF 含量呈极显著正相关关系,而与 RFV 呈极显著负相关关系。CF 含量与 RFV 呈极显著负相关关系。

2.5 不同大麦品种(系)的主成分分析

以特征值大于 0.85 为标准提取主成分,对 10 个农艺性状兼生产性能表现突出的大麦品种各指标进行主成分分析,结果发现前 4 个主成分累积贡献率达 85.099%,可作为 10 个大麦品种综合评价的主要因子。由 4 个综合指标的特征向量可知,主成分 1 方差百分比为 35.957%,ADF(-0.134)、第 3 节间长(0.129)、株高(0.122)、单株鲜重(-0.120)特征向量较大,主要反映了 1 项营养性状和 3 项农艺性状;主成分 2 方差百分比为 23.843%,贡献较大的性状为穗宽(0.195)、EE(-0.155)、单株干重(0.150)、第 4 节间长(0.146)、叶宽(0.139),反映了 1 项营养性状和 4 项农艺性状;主成分 3 方差百分比为 17.119%,CF(0.266)、NDF(0.251)、RFV(-0.230)、茎粗(0.216)特征向量较大,主要反映了 3 项营养性状和 1 项农艺指标;第 4 主成分方差百分比为 8.180%,贡献较大的性状为 CP(0.529)、穗粒数(0.334)、第 4 节间长(-0.218)、单株干重(-0.206),反映了 3 项农艺指标,1 项营养指标(表 6)。由分析结果可知,茎粗、株高、第 3 节间长、ADF 的贡献值较大,可作为重点评价指标,其中 ADF 为负向驱动,其余指标均为正向驱动。

表 6 10 个农艺性状兼生产性能突出的大麦品种(系)各指标主成分分析的特征向量及贡献率

Table 6 Characteristic vectors and contribution rates of principal component analysis (PCA) of each index of the tested 10 barley varieties (lines) with outstanding agronomic traits and production performance

项目 Item	主成分得分系数 Coefficient of principal component analysis (PCA)				贡献值 Contribution value (C)*
	主成分 1 PCA 1	主成分 2 PCA 2	主成分 3 PCA 3	主成分 4 PCA 4	
鲜草产量 Fresh forage yield	0.096	-0.060	-0.064	-0.125	-0.111
单株鲜重 Fresh weight per plant	-0.120	0.106	0.047	-0.041	-1.329
单株干重 Dry weight per plant	-0.076	0.150	0.096	-0.206	0.813
株高 Plant height	0.122	0.081	0.093	0.000	7.915
第 3 节间长 The third internode length	0.129	0.073	0.041	0.080	7.739
第 4 节间长 The fourth internode length	0.092	0.146	0.050	-0.218	5.862
分蘖数 Tiller number	0.108	-0.090	0.001	-0.116	0.807
茎粗 Stem diameter	0.073	0.045	0.216	0.173	8.809
叶宽 Leaf width	-0.065	0.139	0.170	-0.015	3.753
叶长 Leaf length	-0.098	0.098	0.040	0.185	1.014
穗长 Spike length	-0.063	-0.111	0.087	-0.162	-4.725
穗粒数 Kernel number per spike	-0.115	-0.031	-0.002	0.334	-2.174
穗宽 Spike width	0.053	0.195	0.027	-0.016	6.880
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	0.049	-0.089	0.251	0.086	4.644
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	-0.134	-0.043	-0.026	-0.154	-7.547
粗蛋白 Crude protein	0.045	0.021	-0.071	0.529	5.212
粗纤维 Crude fiber	0.001	-0.105	0.266	0.032	2.340
粗脂肪 Ether extract	0.043	-0.155	-0.031	-0.041	-2.997
相对饲喂价值 Relative feeding value	0.047	0.123	-0.230	0.016	0.798
总计 Total	6.832	4.530	3.253	1.554	
方差百分比 Variance percentage (V)	35.957	23.843	17.119	8.180	
累积贡献率 Accumulative contribution rate (%)	35.957	59.800	76.919	85.099	

注:贡献值(C)*为各主成分(PCA)得分系数与方差百分比乘积的总和,即 $C = \sum (PCA_i \times V_i) (i=1,2,3,4)$ 。

Note: Contribution value is the sum of each coefficient of principal component analysis (PCA) multiplied by the variance percentage (V), i. e. $C = \sum (PCA_i \times V_i) (i=1,2,3,4)$.

2.6 生产性能和营养品质综合评价

本研究采用隶属函数法对饲用大麦10个适应性突出的品种进行综合性评价,分析结果显示供试大麦品种的综合评价价值(D)从大到小排序依次为:Hv027>Hv017=Hv009>Hv013>Hv026>Hv030>Hv036>Hv039>Hv031>Hv035,其中Hv027、Hv017、Hv009这3个品种表现较优,它们的综合评价价值(D)都在0.7以上(表7)。

表7 10个农艺性状兼生产性能突出的大麦品种(系)权重、隶属函数值和综合评价价值比较

Table 7 Comparative analysis of weights, membership function values, and comprehensive scores of the tested 10 barley varieties (lines) with outstanding agronomic traits and production performance

编号 Number	成分 Component (X_i)				隶属函数值 Membership function value [$\mu(X_i)$]				综合评价价值 Comprehensive evaluation value (D)
	1	2	3	4	1	2	3	4	
Hv009	0.56	-0.06	1.38	-0.02	0.83	0.53	1.00	0.36	0.74
Hv013	0.72	0.02	0.14	-0.42	0.88	0.56	0.53	0.24	0.66
Hv017	1.09	1.03	-1.07	0.98	1.00	0.86	0.08	0.67	0.74
Hv026	0.50	-0.28	0.89	-0.64	0.81	0.47	0.82	0.17	0.65
Hv027	0.79	-0.11	1.00	0.71	0.91	0.52	0.86	0.59	0.76
Hv030	0.17	1.51	-1.27	-0.94	0.70	1.00	0.00	0.08	0.59
Hv031	0.17	-1.85	-0.84	-1.21	0.70	0.00	0.16	0.00	0.33
Hv035	-1.18	-0.76	-0.90	0.06	0.26	0.33	0.14	0.39	0.27
Hv036	-0.82	-0.60	-0.30	2.06	0.38	0.37	0.37	1.00	0.44
Hv039	-1.99	1.10	0.95	-0.58	0.00	0.88	0.84	0.19	0.43

3 讨论

3.1 农艺性状及生产性能分析

农艺性状与生产性能的鉴定和评价是农业种质资源筛选研究的基本方法和有效途径,本研究通过对39份大麦品种(系)在南京地区的农艺性状系统性评价,发现不同品种(系)间在株高、茎粗、节间长、穗宽、分蘖数等主要农艺性状特征方面存在显著差异。植株最高品种Hv006与最矮品种Hv033间相差大于60 cm,而且株高最高品种的节间长远大于最矮品种,其鲜草产量也远高于最矮品种,充分说明大麦种质资源在农艺性状特征方面存在典型的遗传差异,同时这些与饲草产量相关的指标间也存在正相关性或一致性,这为筛选和培育高产饲用型大麦品种提供了基础理论依据和材料选择。饲草产量作为反映饲草生产性能及生长适应性的重要参数指标,与饲草生产的最终目标直接相关。本研究39个大麦品种(系)的鲜草产量差异较大,最高与最低产量在品种间相差超过3倍,品种Hv013、Hv017、Hv027、Hv031的鲜草产量均超过50000 kg·hm⁻²,这与云南保山地区^[12]和关中地区^[13]饲用大麦的最高草产量值相当,而高于新疆地区^[14]的平均产量值以及大麦新品种一甘饲麦1号在甘肃地区^[15]的饲草产量值。此外,本研究相关性分析发现,鲜草产量与分蘖数和第3节间长呈显著或极显著正相关关系,这与赵加涛等^[12]、徐芦等^[13]、赵加涛^[16]、赵加涛等^[17]对大麦种质资源的研究结果相似,表明植株分蘖数的多少和节间长短对整体生物量的形成具有重要的贡献。然而,鲜草产量与单株鲜/干重、叶长及穗粒数等呈显著或极显著负相关,赵锋等^[18]对大麦种质资源的研究也有相类似的报道结果,这说明大麦饲草整体产草量的高低不是完全取决于品种单株生物量的大小,而品种整体饲草产量与单株生物量以及单株干物质积累之间存在一定权衡,高产性状的筛选需结合多指标协同优化与综合考量。本研究根据主成分分析进一步得出,节间长、株高、穗宽及茎粗对大麦饲用综合特征的贡献较大,是饲用大麦品种评测的重点指标,这与王楠等^[19]、牛小霞等^[20]研究结果相一致。

3.2 饲用营养品质分析

评价饲用大麦品种的优劣,不仅要考虑高产,而且也要注重优质。本研究通过对10份农艺性状和生产性能

表现突出的大麦品种的主要饲用指标检测分析,发现大麦不同品种间在ADF、NDF、CP、CF、EE和RFV主要营养指标方面存在显著差异,尤其是在CP和RFV方面。牧草中的CP含量和RFV高低是评价其营养价值优劣的关键^[21]。一般来说,CP含量高的饲草不仅可以促进家畜的生长发育,而且还能有效提高畜产品的质量^[22],本研究中10个测试大麦品种的CP含量为6.53%~10.18%,低于王志龙等^[23]对云南22个大麦品种(系)检测出的CP含量,也略低于巫小建等^[24]有关大麦青贮处理前的CP含量,而高于青贮处理后的CP含量。根据饲草等级划分标准^[25],本研究中Hv017与Hv036两个品种的CP含量均达到二级优质饲草的CP含量要求($CP \geq 10\%$)。优质饲草除了考虑CP含量,同时也要权衡纤维、粗脂肪等的含量水平,故RFV常被用来综合评估饲草的营养价值。根据RFV饲草品质评价标准^[26], $RFV > 100$ 表示营养价值较好,本研究所测试的10份大麦品种RFV为89.33~106.26,其中Hv030的RFV大于100,这与其较低的NDF(54.62%)、ADF(34.03%)以及CF含量密切相关,表明其具有较高的消化率和适口性。值得注意的是,鲜草产量与NDF含量呈显著负相关关系($P < 0.05$),表明高产品种可能存在纤维含量升高的风险,故需在饲用大麦选育中做好产量与品质的平衡与协同改良。

3.3 综合分析

基于主成分分析和隶属函数法的综合分析表明,Hv009、Hv013、Hv017、Hv026、Hv027这5个品种(系)的综合表现较优,其中Hv017在饲用品质(CP、RFV)和农艺性状(如分蘖数、茎粗等)间实现了良好平衡。主成分分析提取的穗长、穗粒数、鲜草产量等指标(累积贡献率大于85%),可有效反映各品种的综合特性,进一步验证了这些性状在饲用大麦评价中的核心地位。隶属函数法排名显示,Hv027因在单株干重、分蘖数、穗粒数上的更突出表现,综合评分略优于Hv017。本研究综合分析结果与苏滢森等^[27]对大麦相关农艺性状与营养指标的综合评价结果相呼应,再次强调了多维度评价分析和筛选的重要性。然而,本试验结果是基于单一固定地点的数据,未来还需结合多点试验验证研究结果的一致性和品种表现的稳定性,为选育适合南京及江苏西南部地区种植的优质饲用大麦品种提供可靠的种质(品种)材料和数据参考,以加速优质饲用大麦的选育进程。

4 结论

本研究通过对39个不同饲用大麦品种(系)的农艺性状与生产性能的系统评价,并基于生产性能指标的加权分析,筛选出10个适应性表现突出的大麦品种(系),进一步对该10个品种(系)的主要营养品质性状进行了检测分析,通过对农艺生产性状与营养品质性状的相关性分析、主成分分析及隶属函数法综合分析,评定结果从高到低依次排序为Hv027>Hv017=Hv009>Hv013>Hv026>Hv030>Hv036>Hv039>Hv031>Hv035,其中Hv009、Hv017、Hv027这3个品种(系)的综合表现较优,尤其是Hv017,兼具了农艺性状与营养品质等多方面的优点,可作为南京地区乃至江苏西南部饲用大麦种植与推广的优选品种,以利于实现当地饲草产业的良好发展。

参考文献 References:

- [1] Zhao B, Ji C H, Sun H, *et al.* Comprehensive assessment of the yield and quality of forage and grain among multi-rowed barley lines. *Crops*, 2022(6): 93-97.
赵斌, 季昌好, 孙皓, 等. 多棱饲用大麦品系粮、草产量及品质的鉴定与综合评价. *作物杂志*, 2022(6): 93-97.
- [2] Chen X D, Zhao B, Wang R, *et al.* Effects of different cuts and defoliation timing on the yield and quality of barley forage. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(12): 36-39.
陈晓东, 赵斌, 王瑞, 等. 不同刈割茬次与刈割时期对大麦饲草产量与品质的影响. *中国农学通报*, 2015, 31(12): 36-39.
- [3] Ji C H, Wang R, Chen X D, *et al.* Introduction of various methods for using green barley plants as animal feed. *Barley and Cereal Sciences*, 2018, 35(4): 38-39, 49.
季昌好, 王瑞, 陈晓东, 等. 大麦绿植株饲用方法. *大麦与谷类科学*, 2018, 35(4): 38-39, 49.
- [4] Wang Y S, Wang B, Lei H. Nutritional values and measures for improving utilization ratio of barley. *China Feed*, 2014(4): 18-22.
王勇生, 王博, 雷恒. 大麦的营养价值与提高其畜禽利用率的措施. *中国饲料*, 2014(4): 18-22.
- [5] Yang S. *Feed analysis and feed quality testing technology*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1999.
杨胜. *饲料分析及饲料质量检测技术*. 北京: 北京农业大学出版社, 1999.

- [6] Gao X, Li Y J, Li W J, *et al.* Efficient utilization strategies of household forage resources in Yunnan Province: Barley and broad bean (pea) stems and leaves. *Yunnan Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2020(5): 32–37.
高新, 李银江, 李卫娟, 等. 云南省家庭养殖农家饲草料高效利用策略—大麦、蚕(豌豆)茎叶. *云南畜牧兽医*, 2020(5): 32–37.
- [7] Zhang F. Research of whole forage barley silage and its application of TMR diets in dairy cow. Hefei: Anhui Agricultural University, 2015.
张放. 全株青刈大麦青贮及其在奶牛 TMR 日粮中应用研究. 合肥: 安徽农业大学, 2015.
- [8] Zhang Y Y, Su S Y, Liu C, *et al.* Effects of feeding silage barley on fattening geese. *Chinese Abstracts of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2017, 33(11): 215.
张云影, 苏斯瑶, 刘臣, 等. 青贮大麦饲喂育肥鹅的效果. *中国畜牧兽医文摘*, 2017, 33(11): 215.
- [9] Ai W W, Yang J J, Li Y L. The welfare effect of China's "anti-dumping and countervailing" measures on imported food under the big food perspective—A simulation study of partial equilibrium based on barley industry. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024, 45(10): 65–79.
艾玮炜, 杨继军, 李艳丽. 大食物观下中国对进口粮食实施“双反”措施的福利效应—基于大麦行业的局部均衡模拟分析. *中国农业资源与区划*, 2024, 45(10): 65–79.
- [10] Zhang R, Li X D. Application value and development prospect of feed barley in China. *Food and Nutrition in China*, 2015, 21(7): 27–31.
张融, 李先德. 饲料大麦的应用价值及开发前景. *中国食物与营养*, 2015, 21(7): 27–31.
- [11] Rohweder D A, Barnes R F, Jorgensen N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 1978, 47(3): 747–759.
- [12] Zhao J T, Liu M D, Yang X H, *et al.* Evaluation and utilization of barley germplasm resources in Baoshan. *Seed*, 2016, 35(4): 65–67, 80.
赵加涛, 刘猛道, 杨向红, 等. 保山市大麦种质资源的评价与利用. *种子*, 2016, 35(4): 65–67, 80.
- [13] Xu L, Li W N, Sun J C, *et al.* Analysis of the main agronomic traits of barley germplasms in Guanzhong. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2015, 21(24): 50–51, 84.
徐芦, 李维娜, 孙军仓, 等. 关中大麦种质资源主要农艺性状分析. *安徽农学通报*, 2015, 21(24): 50–51, 84.
- [14] Yu T S. Evolution of yield and main agronomic traits of barley varieties in Xinjiang over different decades. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 2016(2): 41–43.
俞天胜. 新疆不同年代大麦品种产量及其主要农艺性状的演变规律. *新疆农业科技*, 2016(2): 41–43.
- [15] Bao Q J, Pan Y D, Guo G G, *et al.* Breeding of Gansimai No. 1, a new forage barley variety with high quality and high yield. *Barley and Cereal Sciences*, 2021, 38(6): 56–59.
包奇军, 潘永东, 郭刚刚, 等. 优质高产饲用大麦新品种—甘饲麦 1 号选育. *大麦与谷类科学*, 2021, 38(6): 56–59.
- [16] Zhao J T. Multiple analysis of the main agronomic characters and yield of early autumn barley. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(7): 41–42, 77.
赵加涛. 早秋大麦主要农艺性状与产量的多重分析. *安徽农业科学*, 2018, 46(7): 41–42, 77.
- [17] Zhao J T, Guo M Y, Liu M D, *et al.* Multiple analysis of main agronomic characters and fresh grass yield of silage barley. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2022, 50(14): 22–24, 30.
赵加涛, 郭勉艳, 刘猛道, 等. 青贮大麦主要农艺性状与鲜草产量的多重分析. *安徽农业科学*, 2022, 50(14): 22–24, 30.
- [18] Zhao F, Bao Q J, Pan Y D, *et al.* Comprehensive evaluation of genetic diversity in 70 barley germplasms. *Crops*, 2023(6): 54–61.
赵锋, 包奇军, 潘永东, 等. 70 份大麦种质资源遗传多样性评价. *作物杂志*, 2023(6): 54–61.
- [19] Wang N, Liu M D, Li J Y, *et al.* Analysis on the phenotypic difference and QTLs detection of the plant height and its main components of 25 barley varieties. *Molecular Plant Breeding*, 2016, 14(2): 489–495.
王楠, 刘猛道, 李静焯, 等. 25 个大麦品种株高及其主要构成因素的差异分析和 QTLs 检测. *分子植物育种*, 2016, 14(2): 489–495.
- [20] Niu X X, Liu X N, Pan Y D, *et al.* Analysis and evaluation of agronomic traits of 97 barley germplasm resources. *Seed*, 2021, 40(8): 68–72, 77.
牛小霞, 柳小宁, 潘永东, 等. 97 份大麦种质资源农艺性状分析与评价. *种子*, 2021, 40(8): 68–72, 77.
- [21] Guo T D, Pan Y X, Li S K, *et al.* Selection of suitable forage oat varieties in Jinta area of Gansu Province. *China Feed*, 2024(7):

133—139.

郭天斗, 潘玉鑫, 李世昆, 等. 适宜甘肃金塔地区饲用燕麦品种筛选. 中国饲料, 2024(7): 133—139.

- [22] Wang Y T, Yang Z M, Liu J C, *et al.* Comprehensive evaluation of production performance and nutritional quality of 21 oat varieties in northwest of Hebei Province. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(5): 1311—1318.

王运涛, 杨志敏, 刘建成, 等. 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.

- [23] Wang Z L, Yang J H, Yu Y X, *et al.* The analysis of the nutritional quality of 22 new barley varieties (lines) bred in Yunnan. *Barley and Cereal Sciences*, 2018, 35(1): 23—26.

王志龙, 杨金华, 于亚雄, 等. 云南 22 个大麦新品种(系)的营养品质分析. 大麦与谷类科学, 2018, 35(1): 23—26.

- [24] Wu X J, Yu H M, Zeng F R, *et al.* Nutritional quality analysis of silage for two-row barley Zhepi No. 10. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61(9): 1906—1907, 1914.

巫小建, 俞慧明, 曾凡荣, 等. 二棱大麦浙皮 10 号青贮饲用营养品质分析. 浙江农业科学, 2020, 61(9): 1906—1907, 1914.

- [25] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Hulled barely for feed: GB10367-1989. Beijing: Standards Press of China, 1989.

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 饲料用皮大麦: GB10367-1989. 北京: 中国标准出版社, 1989.

- [26] Allen M S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(7): 1598—1624.

- [27] Su Y M, Hou B, Zhang Y W, *et al.* Analysis of agronomic traits and crude protein content of 164 barley germplasms. *Pratacultural Science*, 2025, 43(1): 1—14.

苏滢淼, 侯波, 张一为, 等. 164 份大麦种质农艺性状与粗蛋白含量分析. 草业科学, 2025, 43(1): 1—14.