



16份无芒雀麦种质资源生产性能与营养品质的综合评价

黄薇 常巍 余淑艳 李小云 高雪芹 伏兵哲

Comprehensive evaluation of production performance and nutritional quality of 16 *Bromus inermis* germplasm resources

HUANG Wei, CHANG Wei, YU Shuyan, LI Xiaoyun, GAO Xueqin, FU Bingzhe

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0246>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黄河滩区16个春播燕麦品种的生产性能和营养品质

Comparison of production performance and nutritional value of 16 oat varieties in Yellow River Beach area

草业科学. 2019, 36(7): 1843 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0536>

三峡库区10个青贮玉米品种生产性能及营养价值综合评价分析

Comprehensive evaluation and analysis of the performance and nutritional value of 10 silage corn varieties in the Three Gorges Reservoir Area

草业科学. 2019, 36(8): 2118 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0667>

29份无芒雀麦种质资源农艺性状的遗传多样性

Genetic diversity of agronomic characteristics of 29 *Bromus inermis* germplasms

草业科学. 2020, 37(9): 1770 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0556>

西藏日喀则地区8个引进燕麦品种的生产性能和营养品质比较

Comparative study on production performance and nutritional quality of eight imported oat varieties in the Shigatse region of Tibet, China

草业科学. 2019, 36(4): 1117 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0732>

青海高原地区不同玉米品种青贮性能及营养品质评价

Evaluation of silage performance and nutritional quality of different corn cultivars in Qinghai Plateau

草业科学. 2021, 38(6): 1194 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0726>

施肥对紫花苜蓿生产性能及营养品质的影响

Effects of different fertilization schemes on alfalfa performance and nutritional quality

草业科学. 2019, 36(3): 793 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0328>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0246

黄薇, 常巍, 余淑艳, 李小云, 高雪芹, 伏兵哲. 16 份无芒雀麦种质资源生产性能与营养品质的综合评价. 草业科学, 2021, 38(11): 2237-2246.

HUANG W, CHANG W, YU S Y, LI X Y, GAO X Q, FU B Z. Comprehensive evaluation of production performance and nutritional quality of 16 *Bromus inermis* germplasm resources. Pratacultural Science, 2021, 38(11): 2237-2246.

16 份无芒雀麦种质资源生产性能与 营养品质的综合评价

黄薇¹, 常巍¹, 余淑艳¹, 李小云¹, 高雪芹¹, 伏兵哲^{1,2}

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏草业工程技术研究中心, 宁夏 银川 750021)

摘要: 为了筛选出生产性能与营养品质表现优良的无芒雀麦 (*Bromus inermis*) 种质材料, 测量和分析了国内外 16 份无芒雀麦种质资源生产性能和营养品质的相关指标, 并运用聚类分析、灰色关联度分析进行综合评价。结果表明: 不同无芒雀麦种质材料之间生产性能与营养品质差异显著 ($P < 0.05$), 其中 Q6、Q8、Q2 的鲜草产量与 Q16、Q4 的干草产量显著高于其他种质材料 ($P < 0.05$), 可作为追求产草量的基础材料利用; Q16 粗蛋白含量高, 中性洗涤纤维含量低, 牧草消化率高, 营养品质好; Q2、Q4、Q10、Q14 叶茎比显著高于其他种质材料 ($P < 0.05$)。聚类分析将 16 份种质材料聚为 4 类, 聚类结果与原产地关系较小。根据灰色关联度分析, 叶茎比、干草产量、粗灰分、粗蛋白在无芒雀麦生产性能与营养品质综合评价系统中权重最大, 可作为无芒雀麦品种评价和筛选时的关键性状; Q6、Q4、Q10、Q16、Q2、Q8 与理想品系关联系数最大, 综合表现最好, 可为无芒雀麦品种改良和新品种培育提供基础材料。

关键词: 无芒雀麦; 生产性能; 营养品质; 聚类分析; 灰色关联度分析; 综合评价

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)11-2237-10

Comprehensive evaluation of production performance and nutritional quality of 16 *Bromus inermis* germplasm resources

HUANG Wei¹, CHANG Wei¹, YU Shuyan¹, LI Xiaoyun¹, GAO Xueqin¹, FU Bingzhe^{1,2}

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China;

2. Ningxia Grassland and Animal Husbandry Engineering Technology Research Center, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: To select the *Bromus inermis* germplasm materials with excellent performance and nutritional quality, performance and nutritional quality indicators of 16 germplasm resources were measured and analyzed, and a comprehensive evaluation was performed using gray relational and cluster analyses. The results showed that there were significant differences in the production performance and nutritional quality of the different *B. inermis* germplasm materials ($P < 0.05$). The fresh yield of Q6, Q8, and Q2 and the hay yield of Q16 and Q4 were significantly higher than the other germplasm materials ($P < 0.05$), which can be used as basic materials for obtaining high grass yield. Q16 had high crude protein content, low acid detergent fiber content, high forage digestibility, and excellent nutritional quality. The leaf-stem ratios of Q2, Q4, Q10, and Q14 were significantly higher than those of the other germplasm materials ($P < 0.05$). The cluster analysis divided

收稿日期: 2021-04-22 接受日期: 2021-06-16

基金项目: 宁夏牧草育种专项 (2019NYYZ0403); 宁夏高等学校一流学科建设 (草学学科) 项目 (NXYLXK2017A01)

第一作者: 黄薇 (1996-), 女, 宁夏中卫人, 在读硕士生, 主要从事牧草育种与栽培利用。E-mail: huangwei202103@163.com

通信作者: 伏兵哲 (1982-), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士, 主要从事牧草育种与栽培利用。E-mail: fbzhe19@163.com

the 16 germplasm materials into four categories, and the clustering results had little relationship with the place of origin. Based on the gray correlation analysis, the leaf-stem ratio, hay yield, crude ash, and crude protein had the largest weights in the comprehensive evaluation of production performance and nutritional quality of *B. inermis*, which can be used as key traits in the evaluation and selection of *B. inermis* varieties. Q6, Q4, Q10, Q16, Q2, and Q8 had the highest correlation coefficients with ideal strains and the best comprehensive performance, and could provide the basic materials for the improvement and breeding of new *B. inermis* varieties.

Keywords: *Bromus inermis*; production performance; nutritional quality; cluster analysis; gray correlation analysis; comprehensive evaluation

Corresponding author: FU Bingzhe E-mail: fbzhe19@163.com

无芒雀麦 (*Bromus inermis*) 为雀麦属多年生牧草, 具有产量高、适口性好、根系发达、耐牧、适应性强等特点^[1-2], 在我国西北、东北和华北等地区均可种植, 被誉为“禾草饲料之王”^[3]。近年来, 随着我国农村产业结构的调整与生态环境的治理, 无芒雀麦栽培面积大幅度增加, 其种子的需求量也呈上升趋势^[4]。然而, 目前我国大部分地区生产中利用的无芒雀麦新品种较少, 饲草产量和品质不高, 严重限制了无芒雀麦的推广应用。为此, 评价和筛选具有优良生产性能与营养品质的无芒雀麦种质材料, 对无芒雀麦新品种培育和生产利用具有十分重要的意义。

饲草的生产性能和营养品质是由多种因素共同作用的结果, 故在无芒雀麦种质资源性状鉴定中, 需要对不同时期的农艺性状、营养成分等指标进行综合评价。灰色关联度分析是分析育种目标关联程度的一种量化方法, 克服了单靠某一性状指标评价供试材料时的偏差, 具有不需要满足某种理论分布、样本数量少、分析方法简单和结果准确等优点^[5]。目前, 灰色关联度分析被广泛应用于小麦 (*Triticum aestivum*)^[6]、花生 (*Arachis hypogaea*)^[7]、玉米 (*Zea mays*)^[8]、谷子 (*Setaria italica*)^[9]、棉花 (*Gossypium hirsutum*)^[10]、苜蓿 (*Medicago sativa*)^[11]、黑麦草 (*Lolium perenne*)^[12] 等作物和牧草的性状综合分析以及种质材料的筛选等^[13-16]。有关不同种源无芒雀麦生产性能、营养品质的差异, 以及综合评价鲜有报道。为此, 本研究以国内外 16 份无芒雀麦种质资源为试验材料, 通过测定生产性能与营养品质的相关指标, 运用灰色关联度分析法结合聚类分析进行综合评价, 以期在无芒雀麦新品种培育和生产利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏吴忠市盐池县四墩子试验基地 (37°47' N, 107°25' E, 海拔 1 600 m)。该地属于典型大陆性季风气候, 年平均气温 7.8 °C, ≥ 0 °C 年积温 3 430.3 °C·d, 无霜期 162 d 左右, 年均降水量 289.4 mm, 年均蒸发量 2 131.8 mm, 土壤为黄绵土, 有机质含量为 1.29 g·kg⁻¹, 碱解氮含量为 0.5 mg·kg⁻¹, 速效磷含量为 21.34 mg·kg⁻¹, 速效钾含量为 10.56 mg·kg⁻¹。

1.2 试验材料

供试无芒雀麦种质材料 16 份 (国外 2 份; 国内 14 份, 其中宁夏本地材料 5 份), 试验所用种子均由各种质材料经过单株扩繁所得 (表 1)。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计。2018 年 4 月人工开沟条播, 播种行距 30 cm, 播量 22.5 kg·hm⁻², 小区面积 15 m² (3 m × 5 m), 小区间隔 1 m, 3 次重复, 共 48 个小区; 播种前施入复合肥 (N、P₂O₅、K₂O 含量均为 15%) 750 kg·hm⁻², 每茬收割后结合灌水追施尿素 150 kg·hm⁻², 正常田间管理。2019 年进行指标测量和数据采集。

1.4 农艺性状指标测定

在初花期测定无芒雀麦的生理指标。株高: 随机在每个小区选定 20 株无芒雀麦, 用卷尺测定其绝对高度 (cm), 取平均值; 茎粗: 用游标卡尺测量自地面开始第 2 节的最宽处直径 (mm); 鲜草产量: 每小区全区收割后立即称重, 一年收获两次, 求两茬鲜草产量之和 (t·hm⁻²); 干草产量: 随机取 300 g 鲜草,

表 1 无芒雀麦种质材料名称及来源
Table 1 Names and source of *Bromus inermis*

编号 Code	材料来源 Source	原产地 Origin
Q1	国家种质牧草中期库 National Forage Germplasm Bank	中国锡林郭勒 Xilingol, China
Q2	内蒙古草原站 Inner Mongolia Grassland Station	中国新疆 Xinjiang, China
Q3	国家种质牧草中期库 National Forage Germplasm Bank	中国陕西 Shaanxi, China
Q4	野外采集 Field collection	中国宁夏原州区 Ningxia Yuanzhou District, China
Q5	国家种质牧草中期库 National Forage Germplasm Bank	中国甘肃 Gansu, China
Q6	国家种质牧草中期库 National Forage Germplasm Bank	中国白旗 Baiqi, China
Q7	内蒙古农业大学 Inner Mongolia Agricultural University	中国锡林郭勒 Xilingol, China
Q8	美国 United States	美国 United States
Q9	国家种质牧草中期库 National Forage Germplasm Bank	中国新疆 Xinjiang, China
Q10	国家种质牧草中期库 National Forage Germplasm Bank	美国 United States
Q11	国家种质牧草中期库 National Forage Germplasm Bank	中国宁夏 Ningxia, China
Q12	国家种质牧草中期库 National Forage Germplasm Bank	中国呼伦贝尔 Hulunbuir, China
Q13	国家种质牧草中期库 National Forage Germplasm Bank	中国贵州 Guizhou, China
Q14	野外采集 Field collection	中国宁夏隆德县 Ningxia Longde County, China
Q15	野外采集 Field collection	中国宁夏六盘山 Ningxia Liupanshan, China
Q16	野外采集 Field collection	中国宁夏彭阳县 Ningxia Pengyang County, China

105 °C 杀青 15 min, 65 °C 烘干至恒重, 计算鲜干比, 由鲜草产量和鲜干比计算得到干草产量 ($t \cdot hm^{-2}$); 叶茎比: 随机在每个小区选取 1 m² 样方刈割, 重复 3 次, 样品装袋编号, 防止小区之间样品混淆, 将样品在自然条件下风干, 分离叶片与茎, 称其干重, 叶茎比 = 叶干重/茎干重。

1.5 营养指标测定

参照张丽英^[17]的方法对粗蛋白 (crude protein,

CP)、粗脂肪 (ether extract, EE)、中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF)、粗灰分 (crude ash, Ash) 进行测定。根据 NDF 和 ADF 含量, 计算饲草相对饲喂价值 (relative feed value, RFV)^[18]:

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

1.6 灰色关联分析

根据郭瑞林^[19]介绍的灰色系统理论, 把 16 份无芒雀麦种质材料看作一个灰色系统, 每份种质材料为该系统中的一个因素, 分析系统中各因素关联度越大, 因素的相似程度越高。根据实际生产需要将所测指标的最优值设为参考序列 X_0 , 并将株高、茎粗、叶茎比、鲜草产量、干草产量、粗蛋白、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗灰分、相对饲喂价值共 11 项指标分别设定为比较数列 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{11} 。为了确保数据的等效性与同序性, 采用均值法对所测数据进行无量纲化处理, 并根据处理后的数据计算各性状与标准性状的绝对值差, 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。关联系数和关联度的计算公式为:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|};$$

$$r(X_0 X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r[X_0(k), X_i(k)]。$$

式中: $\xi_i(k)$ 为 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 点的绝对差, $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为 2 级最小差, $\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为 2 级最大差; ρ 为分辨系数, 取值范围在 0~1, 本研究中取 0.5, 认为同等重要; n 代表样品个数。 r_i 为比较数列与参考数列的关联度, 是具体反映 X_0 与 X_i 数列之间关联性的度量。

1.7 数据分析

本研究鲜草产量、干草产量数据为两茬测定值之和, 其他数据为两茬测定值均值。利用 Excel 2010、MATLAB 软件进行数据整理与关联度分析, SPSS 22.0 软件进行统计方差分析、显著性分析、Duncan 多重比较和聚类分析, 用 Origin 2018 软件绘图。

2 结果

2.1 不同无芒雀麦株高和茎粗比较

不同无芒雀麦种质材料间株高和茎粗差异明显(图 1), 其中 Q7 株高最高, 为 82.94 cm, 显著高于

Q2、Q3、Q5、Q12、Q13、Q14、Q16 ($P < 0.05$); Q16 株高最低, 仅为 67.62 cm, Q7 株高较 Q16 高出 15.32 cm。Q9 茎粗最大, 为 2.51 mm, 显著高于 Q3、Q4、Q7、Q11、Q14、Q15、Q16 ($P < 0.05$); Q16 茎粗最小, 仅为 1.86 mm, Q9 茎粗较 Q16 高出 0.65 mm。

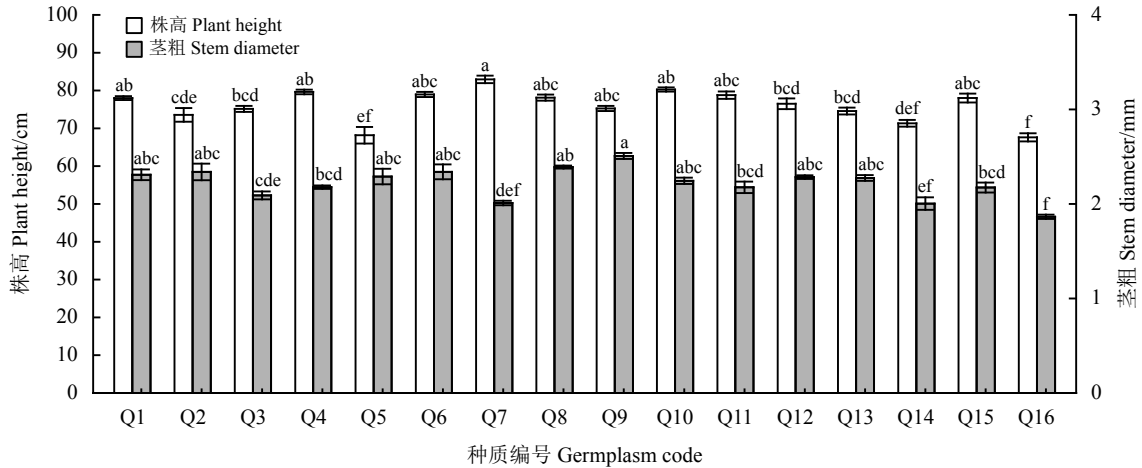


图 1 不同无芒雀麦株高和茎粗比较

Figure 1 Comparison of plant height and stem diameter of different *Bromus inermis* materials

不同小写字母表示同一指标品种间差异显著 ($P < 0.05$); 种质编号同表 1; 下同。

Different lowercase letters indicate a significant difference between varieties at the 0.05 level ($P < 0.05$); the germplasm code are as shown in Table 1; this is applicable for the following tables and figures as well.

2.2 不同无芒雀麦鲜草产量和干草产量比较

16 份无芒雀麦种质材料间鲜草产量和干草产量差异明显(图 2), 其中鲜草产量最大的是 Q6, 为 66.47 $t \cdot hm^{-2}$; 其次是 Q8、Q2, 分别为 64.24 和 64.23 $t \cdot hm^{-2}$, 显著高于除 Q3、Q15 和 Q16 外的其他种质材

料 ($P < 0.05$)。鲜草产量最小的是 Q5, 仅为 46.98 $t \cdot hm^{-2}$, Q6 鲜草产量较 Q5 高出 19.49 $t \cdot hm^{-2}$ 。干草产量 Q16 最大, 为 23.71 $t \cdot hm^{-2}$, 其次为 Q4, 为 23.63 $t \cdot hm^{-2}$, 二者显著高于其他种质材料 ($P < 0.05$); Q5 干草产量最小, 仅为 16.19 $t \cdot hm^{-2}$, Q16、Q4 干草产量较 Q5 分别高出 7.52 和 7.44 $t \cdot hm^{-2}$ 。

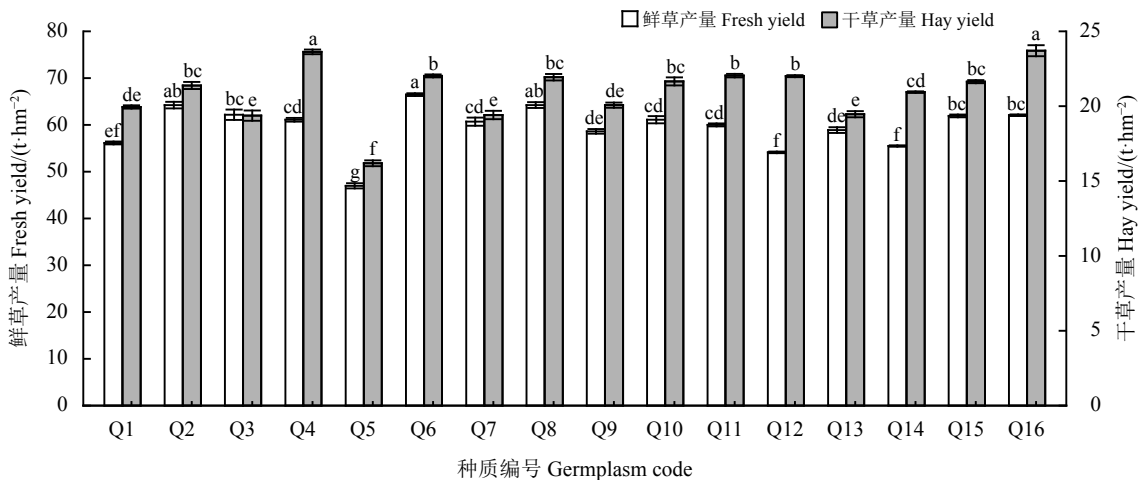


图 2 不同无芒雀麦鲜草产量和干草产量比较

Figure 2 Comparison of fresh yield and hay yield of different *Bromus inermis* materials

2.3 不同无芒雀麦叶茎比比较

叶茎比是评估牧草生产性能重要的指标之一(图 3)。不同无芒雀麦种质材料间叶茎比差异显著

($P < 0.05$), 其中 Q2、Q4 叶茎比最大, 均为 1.53; Q10、Q14 次之, 均为 1.50, 显著高于其他种质材料 ($P < 0.05$); 叶茎比最小的是 Q6, 仅为 1.20。

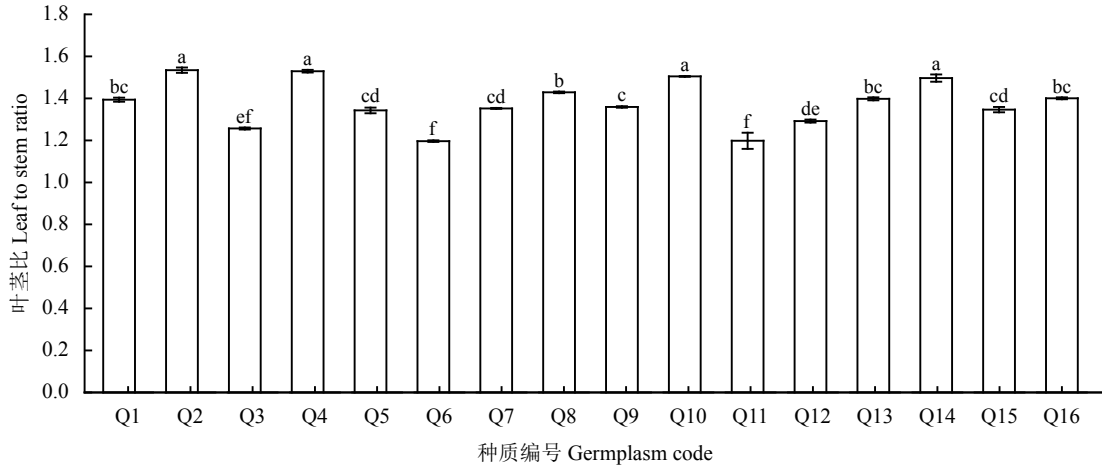


图 3 不同无芒雀麦叶茎比比较

Figure 3 Comparison of the leaf to stem ratios of different *Bromus inermis* materials

2.4 不同无芒雀麦营养成分比较

不同无芒雀麦种质材料营养成分差异明显(表 2)。其中, 粗蛋白含量最高的是 Q16, 为 17.70%, 显著高于其他种质材料 ($P < 0.05$)。粗脂肪含量最高的是 Q14, 为 1.90%, 显著高于 Q1、Q2、Q4、Q7、Q8、Q9 和 Q15 ($P < 0.05$)。NDF 含量最高的是 Q12, 为 53.71%; 其次是 Q5 和 Q7, 分别为 52.89% 和 52.88%, 显著高于 Q1、Q2、Q3、Q13、Q14、Q15 和 Q16 ($P < 0.05$); Q16 的 NDF 含量最低, 仅为 50.72%。ADF 含量最高是 Q1, 为 34.14%, 其次是 Q12、Q11, 分别为 33.54% 和 33.39%, 显著高于 Q3、Q4、Q7、Q8、Q10、Q13 和 Q16 ($P < 0.05$); Q7 的 ADF 含量最低, 仅为 30.68%。Q14、Q16 的粗灰分含量最高, 分别为 10.48% 和 9.92%, 显著高于其他种质材料 ($P < 0.05$); Q6 的粗灰分含量最低, 仅为 7.52%, 显著低于其他种质材料 ($P < 0.05$)。Q16 的相对饲喂价值最高, 为 117.48, 显著高于 Q1、Q5、Q6、Q7、Q9、Q11、Q12、Q14 ($P < 0.05$); Q12 的相对饲喂价值最低, 仅为 108.73。

2.5 聚类分析

基于生产指标与营养成分的平均值, 对 16 份无芒雀麦种质材料进行系统聚类分析得到树状图(图 4), 以欧式距离 5.5 为分界线可将这 16 份材料分为 4 类。第 I 类群由 Q4、Q10、Q8、Q15、Q11、Q6、Q7、

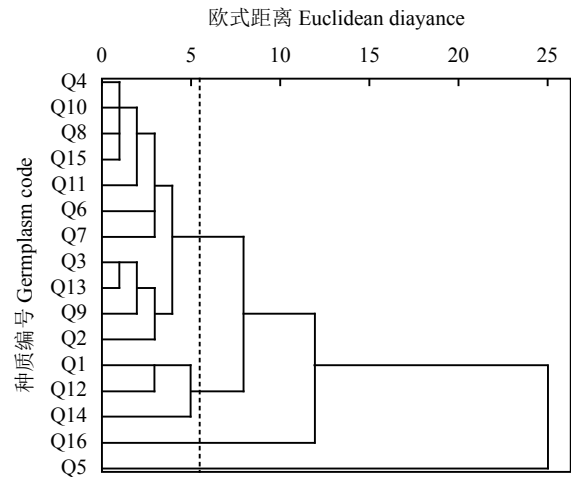


图 4 无芒雀麦种质材料系统聚类分析

Figure 4 Hierarchical cluster analysis of *Bromus inermis* germplasm materials

Q3、Q13、Q9、Q2 共 11 份材料组成, 第 II 类群由 Q1、Q12、Q14 共 3 份材料组成, 而第 III、IV 类群分别由 Q16、Q5 自成体系。从结果看, 这 16 份种质材料间关系较为复杂, 所有材料并没有严格按照原产地聚在一起。

2.6 灰色关联度分析

关联系数可以了解比较数列与参考数列各指标之间的关联程度。根据各指标的绝对差值, 利用公式计算得出关联系数 ζ_i 。各种质材料性状之间的关

表2 不同无芒雀麦营养成分比较
Table 2 Comparison of nutritional components of different *Bromus inermis* materials

种质编号 Germplasm code	粗蛋白 Crude protein/%	粗脂肪 Ether extract/%	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber/%	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber/%	粗灰分 Crude ash/%	相对饲喂价值 Relative feed value
Q1	12.50 ± 0.27g	1.69 ± 0.03cd	51.28 ± 0.06de	34.14 ± 0.06a	8.47 ± 0.03def	113.02 ± 0.05def
Q2	15.31 ± 0.14bc	1.69 ± 0.03cd	51.73 ± 0.28cde	32.13 ± 0.20cde	9.11 ± 0.14bcde	114.87 ± 0.54abcde
Q3	14.93 ± 0.10bcd	1.76 ± 0.08abcd	51.54 ± 0.06cde	30.69 ± 0.31f	8.67 ± 0.23cdef	117.32 ± 0.35ab
Q4	14.25 ± 0.15cdef	1.71 ± 0.03cd	52.17 ± 0.18bcd	31.63 ± 0.43def	9.44 ± 0.15bc	114.58 ± 0.65abcde
Q5	14.50 ± 0.24bcde	1.90 ± 0.03a	52.89 ± 0.15ab	32.42 ± 0.30bcde	9.21 ± 0.12bcd	111.96 ± 0.69ef
Q6	13.18 ± 0.06fg	1.86 ± 0.02ab	51.99 ± 0.45bcd	32.28 ± 0.30bcde	7.52 ± 0.14g	114.09 ± 0.86cdef
Q7	13.85 ± 0.47def	1.72 ± 0.03bcd	52.88 ± 0.35ab	30.68 ± 0.27f	9.22 ± 0.30bcd	114.36 ± 1.06bcdef
Q8	14.93 ± 0.45bcd	1.45 ± 0.03e	51.86 ± 0.30bcde	31.58 ± 0.21def	8.98 ± 0.26cde	115.33 ± 0.96abcd
Q9	14.94 ± 0.24bcd	1.74 ± 0.04bcd	51.87 ± 0.18bcde	32.55 ± 0.28bcd	8.52 ± 0.26def	113.96 ± 0.30def
Q10	14.36 ± 0.25cdef	1.83 ± 0.02abc	52.51 ± 0.28bc	31.13 ± 0.24ef	8.29 ± 0.16ef	114.52 ± 0.62abcde
Q11	14.84 ± 0.35bcd	1.81 ± 0.03abc	52.35 ± 0.03bcd	33.39 ± 0.02abc	9.09 ± 0.14bcde	111.76 ± 0.08f
Q12	14.24 ± 0.03cdef	1.79 ± 0.03abcd	53.71 ± 0.32a	33.54 ± 0.31ab	8.86 ± 0.13cdef	108.73 ± 0.50g
Q13	15.73 ± 0.13b	1.89 ± 0.03a	51.34 ± 0.16de	31.27 ± 0.24def	9.29 ± 0.13bcd	116.94 ± 0.55abc
Q14	13.59 ± 0.17efg	1.90 ± 0.03a	51.37 ± 0.22cde	33.23 ± 0.18abc	10.48 ± 0.15a	114.13 ± 0.49cdef
Q15	14.82 ± 0.10bcd	1.66 ± 0.06d	51.62 ± 0.06cde	32.42 ± 0.10bcde	8.03 ± 0.13f	114.69 ± 0.26abcde
Q16	17.70 ± 0.14a	1.80 ± 0.01abcd	50.72 ± 0.28e	31.90 ± 0.37def	9.92 ± 0.10ab	117.48 ± 0.77a

同列不同小写字母表示存在显著差异($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate a significant difference at the 0.05 level.

联系数范围为 0.3334~1.0001(表3)。由于无芒雀麦各性状特征值的重要性不同,需要根据权重公式计算各指标对应的权值,赋予各性状不同权重。根据计算结果可知,各指标在生产性能与营养成分的评价系统中所占权重表现为叶茎比 > 干草产量 > 粗灰分 > 粗蛋白 > 鲜草产量 > 茎粗 > 粗脂肪 > 株高 > 酸性洗涤纤维 > 相对饲喂价值 > 中性洗涤纤维。根据权重建立综合模型 $Z_k = 0.075 1X_1 + 0.105 1X_2 + 0.144 0X_3 + 0.109 3X_4 + 0.142 9X_5 + 0.128 5X_6 + 0.101 2X_7 + 0.009 3X_8 + 0.039 5X_9 + 0.128 7X_{10} + 0.016 4X_{11}$ 。

将关联系数 ζ_i 代入关联度公式,计算结果如表4所列。按照灰色关联度分析法原则,加权关联度能够全面地体现出对比品种的综合性能优劣,即加权关联度越大,综合性状越好,加权关联度最大的品种也最接近理想品系。16份无芒雀麦种质材料的加权关联度表现为 Q6 > Q4 > Q10 > Q16 > Q2 > Q8 > Q9 > Q13 > Q15 > Q14 > Q11 > Q12 > Q7 > Q3 > Q1 > Q5; 综合分析种质材料 Q6、Q4、Q10、Q16、Q2、Q8 与

理想参考品种相似程度最大。

3 讨论

灰色关联度分析可以定量了解因素之间的强弱、序位,聚类分析可根据种质材料遗传距离的大小判断种质之间的遗传相似性,这两种方法广泛应用于种质材料的评价筛选工作。本研究中,聚类分析将16份种质材料分为4类,聚类结果表明所有种质材料没有按照原产地进行分类,且没有明显的地域特征,说明种质材料之间的遗传相似性与原产地联系不大。叶茎比、鲜草产量、干草产量是生产性能的评估指标,粗蛋白、纤维是营养品质的评估指标^[20-23]。本研究通过灰色关联度分析与聚类分析筛选出 Q6、Q4、Q10、Q16、Q2、Q8 共6份综合性状优良、高产、优质的无芒雀麦种质材料。其中 Q4、Q16 是宁夏本地种,各项性状表现较好,综合排名靠前,接近于理想品种。Q6、Q8、Q2 的鲜草产量以及 Q16、Q4 的干草产量较大,显著高于其他种质材料

表 3 参试品种与理想参考品种的关联系数
Table 3 Correlation coefficient of experimental varieties and reference variety

种质编号 Germplasm code	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
Q1	0.7269	0.6670	0.6341	0.5051	0.5000	0.3507	0.5872	0.9351	0.6100	0.5865	0.8071
Q2	0.5838	0.7025	0.9999	0.8248	0.6180	0.5402	0.5927	0.8907	0.7780	0.4764	0.8773
Q3	0.6278	0.4882	0.4671	0.7105	0.4643	0.5034	0.6892	0.9092	0.9981	0.5448	0.9920
Q4	0.7991	0.5468	0.9803	0.6627	0.9795	0.4484	0.6087	0.8505	0.8407	0.4391	0.8657
Q5	0.4712	0.6464	0.5594	0.3510	0.3334	0.4668	0.9919	0.7947	0.7472	0.4644	0.7716
Q6	0.7677	0.7035	0.4187	1.0000	0.6904	0.3829	0.8807	0.8666	0.7617	1.0000	0.8460
Q7	1.0000	0.4444	0.5720	0.6463	0.4667	0.4217	0.6313	0.7949	1.0000	0.4626	0.8563
Q8	0.7318	0.7722	0.6976	0.8256	0.6797	0.5027	0.4030	0.8777	0.8467	0.4943	0.8966
Q9	0.6311	1.0000	0.5814	0.5731	0.5083	0.5037	0.6522	0.8776	0.7333	0.5752	0.8415
Q10	0.8313	0.6020	0.8908	0.6627	0.6471	0.4567	0.8096	0.8224	0.9152	0.6332	0.8628
Q11	0.7596	0.5455	0.4199	0.6197	0.6930	0.4947	0.7765	0.8361	0.6610	0.4788	0.7652
Q12	0.6711	0.6400	0.5011	0.4608	0.6888	0.4474	0.7395	0.7404	0.6497	0.5132	0.6805
Q13	0.6113	0.6305	0.6406	0.5816	0.4699	0.5874	0.9654	0.9290	0.8929	0.4551	0.9722
Q14	0.5312	0.4413	0.8652	0.4899	0.5760	0.4054	1.0001	0.9262	0.6740	0.3599	0.8476
Q15	0.7275	0.5439	0.5644	0.6989	0.6449	0.4937	0.5574	0.9008	0.7464	0.7168	0.8701
Q16	0.4620	0.3821	0.6449	0.7059	1.0000	1.0000	0.6900	1.0000	0.8050	0.3967	1.0000
权重Weight	0.0751	0.1051	0.1440	0.1093	0.1429	0.1285	0.1012	0.0093	0.0395	0.1287	0.0164

X₁: 株高; X₂: 茎粗; X₃: 叶茎比; X₄: 鲜草产量; X₅: 干草产量; X₆: 粗蛋白; X₇: 粗脂肪; X₈: 中性洗涤纤维; X₉: 酸性洗涤纤维; X₁₀: 粗灰分; X₁₁: 相对饲喂价值。

X₁: Plant height; X₂: Stem diameter; X₃: Leaf-stem ratio; X₄: Fresh yield; X₅: Hay yield; X₆: Crude protein; X₇: Ether extract; X₈: Neutral detergent fiber; X₉: Acid detergent fiber; X₁₀: Crude ash; X₁₁: Relative feed value.

($P < 0.05$), 说明 Q6、Q8、Q2、Q16、Q4 产量性状优良, 可作为追求产草量的基础材料利用。Q16 粗蛋白含量高, 中性洗涤纤维含量低, 综合排名第 4, 从营养价值看, 粗蛋白是牧草中的主要营养物质, 也是家畜必不可少的营养, 其含量高则品质优^[24], 而中性洗涤纤维是家畜对牧草消化率的影响因素之一, 其含量低则养分消化率高^[25], 表明 Q16 有利于提高牧草养分消化率、营养品质较好。Q2、Q4、Q10、Q14 叶茎比较大, 显著高于其他种质材料 ($P < 0.05$)。叶茎比是叶与茎的比值, 比值越大, 说明叶量越大, 品质越好, 故 Q2、Q4、Q10、Q14 可用来提高无芒雀麦的适口性, 进而提高其品质。综合排名结果与田间鉴评结果基本一致。从整体来看, 采用灰色系统理论对无芒雀麦种质资源进行综合评估, 其结果较为合理可信, 能够较全面地反映一个品种生产

性能与营养品质的优劣。

马啸等^[26]对 87 份扁穗雀麦 (*Bromus catharticus*) 材料的表型性状数值进行相关性分析与主成分分析, 表明评价和筛选扁穗雀麦优良种质材料时应该着重考察干重、株高、茎粗; 马铭等^[27]采用相关性分析认为, 扁穗雀麦品种选育时应该重点考虑植株高度、叶片宽度、分蘖数、茎粗。杨成前等^[28]利用相关性与聚类分析表明, 白术 (*Atractylodes macrocephala*) 种质资源收集和品种选育时可将株高、叶型、茎粗、根茎鲜重筛选为关键性状指标。本研究应用灰色关联度理论结果表明, 叶茎比、干草产量、粗灰分、粗蛋白在无芒雀麦生产性能与营养品质的综合评价系统中权重最大, 可初步作为无芒雀麦品种评价和筛选时的关键性状, 这与前者研究结果不同, 可见基于不同草种利用不同数据分析方法进行品种筛

表 4 参试品种加权关联度与排序
Table 4 Weight association and rank of experimental varieties

种质编号 Germplasm code	加权关联度 Weighted gray correlation	序位 Sequence
Q1	0.5687	15
Q2	0.6842	5
Q3	0.5784	14
Q4	0.7021	2
Q5	0.5396	16
Q6	0.7189	1
Q7	0.5801	13
Q8	0.6492	6
Q9	0.6272	7
Q10	0.6989	3
Q11	0.5918	11
Q12	0.5807	12
Q13	0.6267	8
Q14	0.5955	10
Q15	0.6258	9
Q16	0.6947	4

选时,理想指标也不同。因此,在无芒雀麦品种选育中,应重点考虑叶茎比、干草产量、粗灰分、粗蛋白 4 项重要指标,使其更好地与生产实际紧密相联。同时,还应进行大量考察充分了解不同无芒雀麦种质材料的优异特性,从而选育出适合不同生产需求的无芒雀麦优良品种。

采用灰色关联度分析法综合评价牧草品种的关键是依据当地生产实际和生产需要来进行性状的

选取、各性状权重值的确定和参考品种的构建。考虑到无芒雀麦属多年生优质禾本科牧草,不同来源的品种需经过多年适应性试验,才能充分发挥其独特优势,因此,要选取适应某个地区气候特征和生产实际状况的代表性性状作为综合评价的因子,并结合积累的生产经验,参照相关科技文献来赋予参评性状合理、科学的权重。本研究中无芒雀麦参考材料的选取具有一定人为因素,评价指标也不够丰富,在今后的研究中需综合牧草更多的生产性能、抗逆性及其他营养指标进行全面、合理地评价。

4 结论

不同无芒雀麦种质资源之间生产性能与营养品质差异较大,其中 Q6、Q8、Q2 的鲜草产量以及 Q16、Q4 的干草产量较大,可作为追求产草量的基础材料利用;Q16 粗蛋白含量高,中性洗涤纤维含量低,有利于提高牧草养分消化率、营养品质好;Q2、Q4、Q10、Q14 叶茎比较大,可用来提高无芒雀麦的适口性,进而提高其品质。聚类分析将 16 份种质材料分为 4 类,分类结果与种质材料原产地关联较小。通过灰色关联度分析,参试无芒雀麦种质材料各项指标在生产性能和营养成分的综合评价系统中所占权重表现为叶茎比 > 干草产量 > 粗灰分 > 粗蛋白 > 鲜草产量 > 茎粗 > 粗脂肪 > 株高 > 酸性洗涤纤维 > 相对饲喂价值 > 中性洗涤纤维;综合表现较好的种质材料为源自我国白旗的 Q6、宁夏原州区的 Q4、宁夏彭阳县的 Q16、新疆的 Q2 以及来自美国的 Q10、Q8,而源自我国锡林郭勒的 Q1 和甘肃的 Q5 加权关联度最小,综合表现最差。

参考文献 References:

- [1] ANTONOVA E V, FUCHS J, RÖDER M S. Influence of chronic man-made pollution on *Bromus inermis* genome size. *Russian Journal of Ecology*, 2020, 51(4): 337-344.
- [2] MOZHGAN A, MOHAMMAD M M, SAEIDNIA F, SAJED B, AGHAFAKHR M. Genetic and physiological aspects of drought tolerance in smooth brome grass. *Crop Science*, 2019, 59(6): 2601-2607.
- [3] 张希山,代连义,王志杰,祖罗菲亚,莎丽. 禾草饲料之王: 无芒雀麦. *新疆畜牧业*, 2002, 12(4): 28-29.
ZHANG X S, DAI L Y, WANG Z J, Zulifeiya, SHA L. The king of grass and fodder: *Bromus inermis* Leyss. *Xin Jiang Xu Mu Ye*, 2002, 12(4): 28-29.
- [4] 黄帆,李俊,刘磊,师文贵,李鸿雁,李志勇. 无芒雀麦组织培养再生体系的建立. *植物生理学报*, 2018, 54(5): 783-789.
HUANG F, LI J, LIU L, SHI W G, LI H Y, LI Z Y. Tissue culture and regeneration of *Bromus inermis*. *Plant Physiology Journal*, 2018, 54(5): 783-789.

- [5] 刘永新, 刘英杰, 周勤, 高磊, 方辉, 韩刚, 王玉芬, 姜秀凤, 刘海金. 牙鲆主要生长性状与体质量的灰色关联度分析. 中国水产科学, 2014, 21(2): 205-213.
LIU Y X, LIU Y J, ZHOU Q, GAO L, FANG H, HAN G, WANG Y F, JIANG X F, LIU H J. Grey relational analysis between main growth traits and body weight in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(2): 205-213.
- [6] 丁明亮, 赵红, 浦秋红, 崔永祯, 李宏生, 顾坚, 田玉仙, 杨木军, 李绍祥. 应用灰色关联度分析法对远缘杂交选育的小麦新品系评价. 西南农业学报, 2018, 31(2): 217-222.
DING M L, ZHAO H, PU Q H, CUI Y Z, LI H S, GU J, TIAN Y X, YANG M J, LI S X. Multi-factorial evaluation of new wheat lines from distant hybridization by grey relational analysis method. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31(2): 217-222.
- [7] 于树涛, 于国庆, 孙泓希, 王虹, 尤淑丽, 于洪波. 东北主栽花生品种农艺性状及品质性状分析. 分子植物育种, 2019, 17(10): 3364-3370.
YU S T, YU G Q, SUN H X, WANG H, YOU S L, YU H B. Analysis of agronomic characters and quality characters of the main peanut varieties in northeast china. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(10): 3364-3370.
- [8] 那亚, 渠晖, 花梅, 李峰, 乌仁曹, 李雪, 陶雅. 土默川平原不同玉米品种青贮饲料的品质比较. 中国草地学报, 2021, 43(1): 90-95.
NA Y, QU H, HUA M, LI F, WU R C, LI X, TAO Y. Quality comparison of different corn varieties used as silage in Tumed Plain. Chinese Journal of Grassland, 2021, 43(1): 90-95.
- [9] 贾小平, 袁玺垒, 陆平, 范丙友, 黄华, 戴凌峰. 中国 71 个谷子种质资源的灰色关联度分析及综合评价. 种子, 2017, 36(9): 63-66.
JIA X P, YUAN X L, LU P, FAN B Y, HUANG H, DAI L F. Grey incidence analysis and comprehensive evaluation of 71 millet germplasm resources in China. Seed, 2017, 36(9): 63-66.
- [10] 郑巨云, 王俊铎, 龚照龙, 梁亚军, 张泽良, 艾先涛, 郭江平, 莫明, 李雪源. 棉花品种资源花铃期抗旱性鉴定与评价. 干旱地区农业研究, 2021, 39(2): 150-163.
ZHENG J Y, WANG J D, GONG Z L, LIANG Y J, ZHANG Z L, AI X T, GUO J P, MO M, LI X Y. Identification and comprehensive assessment of drought resistance of upland cotton variety resources during flower and boll stage. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(2): 150-163.
- [11] 伏兵哲, 高雪芹, 高永发, 李东宁, 张龙, 张蓉. 21 个苜蓿品种主要农艺性状关联分析与综合评价. 草业学报, 2015, 24(11): 174-182.
FU B Z, GAO X Q, GAO Y F, LI D N, ZHANG L, ZHANG R. Correlation analysis of the main agronomic traits and performance of 21 alfalfa varieties. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(11): 174-182.
- [12] 肖逸, 杨忠富, 聂刚, 韩佳婷, 帅杨, 张新全. 12 个多花黑麦草品种 (系) 在成都平原的生产性能和营养价值综合评价. 草业学报, 2021, 30(5): 174-185.
XIAO Y, YANG Z F, NIE G, HAN J T, SHUAI Y, ZHANG X Q. Multi-trait evaluation of yield and nutritive value of 12 *Lolium multiflorum* varieties or lines in Chengdu Plain. Acta Prataculturae Sinica, 2021, 30(5): 174-185.
- [13] 郑敏娜, 李荫藩, 梁秀芝, 薛龙飞. 晋北地区引种苜蓿品种的灰色关联度分析与综合评价. 草地学报, 2014, 22(3): 631-637.
ZHENG M N, LI Y F, LIANG X Z, XUE L F. Relation grade analysis of grey theory and comprehensive evaluation of introduced alfalfa in the north of Shanxi province. Acta Agrestia Sinica, 2014, 22(3): 631-637.
- [14] MENG L, WANG C, ZHANG J Q. Heat injury risk assessment for single-cropping rice in the middle and lower reaches of the Yangtze River under climate change. Journal of Meteorological Research, 2016, 30(3): 426-443.
- [15] ZHOU B, YANG H. Economic analysis of limited water irrigation on wheat yield. Journal of Coastal Research, 2020, 104(sp1): 637-640.
- [16] WANG N, XING Y Y, WANG X K. Exploring options for improving potato productivity through reducing crop yield gap in Loess Plateau of China based on grey correlation analysis. Sustainability, 2019, 11(20): 5621.

- [17] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术 (第四版). 北京: 中国农业大学出版社, 2016.
ZHANG L Y. Feed Analysis and Quality Test Technology (Fourth Edition). Beijing: China Agricultural University Press, 2016.
- [18] 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.
- [19] 郭瑞林. 作物灰色育种学. 北京: 中国农业出版社, 1988: 26-40.
GUO R L. Crop Grey Breeding. Beijing: China Agriculture Press, 1988: 26-40.
- [20] 郑伟, 朱进忠, 加娜尔古丽. 不同混播方式豆禾混播草地生产性能的综合评价. *草业学报*, 2012, 21(6): 242-251.
ZHENG W, ZHU J Z, Jianaerguli. A comprehensive evaluation of the productive performance of legume-grass mixtures under different mixed sowing patterns. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(6): 242-251.
- [21] 贺文骅, 崔国文, 崔新, 刘省勇, 李冰. 紫花苜蓿与无芒雀麦不同混播比例对青贮品质的影响. *草地学报*, 2017, 25(2): 407-414.
HE W H, CUI G W, CUI X, LIU S Y, LI B. Effect of mix-sowing ratios of *Medicago sativa* L. and *Bromus inermis* Leyss. on silage quality. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(2): 407-414.
- [22] 宫珂, 靳瑰丽, 李陈建, 岳永寰, 王惠宁, 韩万强. 天山北坡野生无芒雀麦的表型性状. *生态学杂志*, 2019, 38(9): 2615-2621.
GONG K, JIN G L, LI C J, YUE Y H, WANG H N, HAN W Q. Phenotypic traits of *Bromus inermis* on the northern slope of Tianshan Mountains. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(9): 2615-2621.
- [23] 张凡凡, 于磊, 马春晖, 张前兵, 鲁为华. 绿洲区滴灌条件下施磷对紫花苜蓿生产性能及品质的影响. *草业学报*, 2015, 24(10): 175-182.
ZHANG F F, YU L, MA C H, ZHANG Q B, LU W H. Effect of phosphorus application under drip irrigation on the productivity and quality of alfalfa in Northern Xinjiang. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(10): 175-182.
- [24] 徐丽君, 杨桂霞, 陈宝瑞, 辛晓平, 乌恩奇, 青格勒, 朱树声. 不同苜蓿 (品) 种营养价值的比较. *草业科学*, 2013, 30(4): 556-570.
XU L J, YANG G X, CHEN B R, XIN X P, Wuenqi, Qinggele, ZHU S S. Comprehensive evaluation of nutritional values of different alfalfa species and varieties. *Pratacultural Science*, 2013, 30(4): 556-570.
- [25] 白玉婷, 卫智军, 闫瑞瑞, 乌仁其其格, 代景忠, 王天乐, 姚静, 孙世贤. 施肥对羊草割草地牧草产量及品质的影响. *中国草地学报*, 2017, 39(4): 60-66.
BAI Y T, WEI Z J, YAN R R, Wurenqiqige, DAI J Z, WANG T L, YAO J, SUN S X. Effects of fertilizer application on the yield of forage and nutrient content in *Leymus chinensis* mowing meadow. *Chinese Journal of Grassland*, 2017, 39(4): 60-66.
- [26] 马啸, 周朝杰, 张成林, 孙铭, 郭志慧, 王小利, 张建波. 扁穗雀麦种质资源形态和农艺性状变异的初步分析. *草地学报*, 2015, 23(5): 1048-1056.
MA X, ZHOU C J, ZHANG C L, SUN M, GUO Z H, WANG X L, ZHANG J B. Patterns of morphological variation and agronomic traits in a worldwide sample of prairie grass germplasm. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(5): 1048-1056.
- [27] 孙铭, 雷雄, 张新全, 张成林, 伍文丹, 赵文达, 杨晓鹏, 马啸. 扁穗雀麦优良品系数量性状的变异分析及遗传参数评估. *草业学报*, 2018, 27(1): 131-141.
SUN M, LEI X, ZHANG X Q, ZHANG C L, WU W D, ZHAO W D, YANG X P, MA X. Assessment of genetic variability in prairie grass. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(1): 131-141.
- [28] 杨成前, 雷美艳, 杨天建, 余中莲, 全健, 杨娟, 蒲盛才. 白术栽培群体的主要农艺性状相关性及其聚类分析. *分子植物育种*, 2019, 17(17): 5852-5859.
YANG C Q, LEI M Y, YANG T J, YU Z L, QUAN J, YANG J, PU S C. Agronomic character and cluster analysis in cultivated populations of *Atractylodes macrocephala*. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(17): 5852-5859.

(责任编辑 魏晓燕)