

甘肃省不同生态区高产优质小黑麦种质的筛选

刘晶^{1,2}, 赵方媛¹, 杜文华¹, 田新会¹

(1. 甘肃农业大学草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 青海民族大学生态环境与资源学院, 青海 西宁 810000)

摘要:采用小黑麦品种石河子大学1号(Shida No. 1)和小黑麦新品系(C17、C19、C22、C24、C31)为材料,在甘肃省不同生态区(兰州、合作)进行生产性能和营养品质比较试验,连续两年在不同试验点对小黑麦种质在开花期的生产性能(干草产量、株高、枝条数)和营养品质(粗蛋白、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、消化率)测定分析,并采用灰色关联度法进行综合比较。结果表明:(1)通过对参试小黑麦种质生产性能进行比较,C31的干草产量(15.51 t/hm²)显著高于其他种质,C24的干草产量(11.27 t/hm²)显著低于其他处理;石大1号的株高(152 cm)显著高于其他种质,C31的枝条数(745.42万枝/hm²)最高,除了与C17(681.25万枝/hm²)无显著性差异外,显著高于其他种质;通过对参试小黑麦种质营养品质进行比较,C24的CP含量(12.36%)显著高于其他种质,C24的NDF(55.38%)含量最低,与C22之间无显著差异,显著低于其他种质。C24的ADF(36.20%)含量最低,显著低于C17、C19。C24的DMD含量(63.08%)显著高于其他种质;(2)2个试验点,合作小黑麦生产性能(干草产量、枝条数)显著高于兰州小黑麦生产性能(干草产量、枝条数);合作小黑麦干草的CP含量为11.61%,显著高于兰州点(9.85%);合作小黑麦干草的NDF(54.83%)含量显著低于兰州(62.93%);合作小黑麦干草的DMD(64.35%)显著高于兰州(51.10%);(3)多重比较和灰色关联度综合分析结果显示,合作点适合生长的小黑麦为品系C31和C17,更适合参试小黑麦种质的生长发育。

关键词:饲草型小黑麦;生产性能;营养品质;灰色关联度

中图分类号:S544.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)05-0044-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2019.05.006

小黑麦(*×Triticosecale* Wittmack)是小麦属(*Triticum*)和黑麦属(*Secale*)植物经属间有性杂交,通过染色体加倍及染色体工程育种得到的新物种,为一年生禾本科植物^[1]。小黑麦作为粮饲兼用型饲料作物,不但生物量高、蛋白质含量高,而且抗逆性强、适应

性广、对土壤的要求不严,同时由于其根系发达,对氮、磷利用率高,比种植其他牧草节省水肥^[2]。随着青藏高原高寒牧区畜牧业及奶制品产业的发展和现代农业经济结构的调整,牧草缺口日益增大^[3]。而小黑麦在青藏高原高寒牧区的生产性能显著高于黑麦,垂穗披碱草和燕麦^[4-5],所以筛选适宜的小黑麦种质对青藏高原高寒牧区草牧业发展具有重要意义。

目前,国内外小黑麦研究主要集中在生态适应性^[2,6-9]、农艺性状^[10-11]、抗旱性^[12-13]、适宜播种期^[14]等方面。金涛等^[2]通过对单个指标(干草产量、粗蛋白、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维)进行多重比较筛选出小黑麦新品系的适宜种植区域。赵方媛等^[6]综合不同播种密度下黑麦和甘农2号小黑麦的株高、枝条数、草产量以及营养品质,得出甘农2号小黑麦的生产性

收稿日期:2019-03-06; **修回日期:**2019-06-25

基金项目:甘肃省草地畜牧业可持续发展创新团队项目(2017C-11);国家自然科学基金(31760702);国家重点研发计划(2018YFD0502402-3)资助

作者简介:刘晶(1983-),女,山西平陆人,博士研究生。

E-mail:654138133@qq.com

杜文华为通讯作者。

E-mail:duwh@gsau.edu.cn

能和营养品质均优于黑麦,在云贵高原具有一定示范推广价值。代寒凌等^[5]研究得出与黑麦、燕麦相比,小黑麦品系 C35 在该地区具有较高的生产性能和营养品质,具有区域优势,适于推广种植。刘晶等^[8]利用 GGE 双标图研究了小黑麦基因型与环境互作效应的稳定性。王有武等^[8]应用灰色关联度综合评价了冬性小黑麦品种区域试验。从前人的研究可知,对小黑麦种质适应性研究中,多是针对生产性能或者营养价值进行比较。

以对照石大 1 号小黑麦品种和小黑麦新品系 C17、C19、C22、C24 和 C31 为试验材料,研究其在甘肃省兰州和合作地区的生产性能和营养品质,并利用灰色关联度法进行综合分析,以期筛选出参试小黑麦种质适宜种植的区域。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

兰州试验点位于甘肃省兰州市甘肃农业大学牧草试验站, N 36°03′、E 103°53′,海拔 1 560 m,年均气温 7.9℃,无霜期 150 d,年均降水量 320 mm。土壤类型为栗钙土,肥力均匀,土壤有机质 2.3 g/kg,碱解氮 90.05 mg/kg,速效磷 7.36 mg/kg,速效钾 172.8 mg/kg,pH 7.35。前茬作物为混播牧草,有灌溉条件。小黑麦播种日期为 2016 年 3 月 26 日和 2017 年 3 月 14 日。

合作试验点位于合作市兰州大学干旱与草地教育部重点实验室高寒草甸生态系统定位站。地理位置 N 34°57′,E 102°53′,海拔为 2 950 m,年平均气温 3.2℃,无霜期 113 d,年均降水量 570 mm。高寒草甸土,无灌溉条件。土壤有机质 78.4 g/kg、全氮 1.28 g/kg、速效氮 380.25 mg/kg、速效磷 96.84 mg/kg、速效钾 45.33 mg/kg、pH 7.55。前茬作物为小黑麦,无灌溉条件。小黑麦播期为 2016 年 4 月 16 日和 2017 年 4 月 16 日。

1.2 试验材料

供试材料为甘肃农业大学草业学院培育的饲草型小黑麦品系 C17(G₁)、C19(G₂)、C22(G₃)、C24(G₄)、C31(G₅)和石河子大学农学院培育的饲草型小黑麦品种石大 1 号(G₆,对照)。

1.3 试验设计

二因素随机区组设计。A 为参试小黑麦种质,设

6 个水平,分别为:C17(G₁),C19(G₂),C22(G₃),C24(G₄),C31(G₅),对照石大 1 号小黑麦品种(G₆);B 因素为试验点,设 2 个水平,分别为合作点(E₁),兰州点(E₂)。各试验小区条播,行距 30 cm,播种深度 3~4 cm,播量按照 750 万苗/hm² 计算而得,3 次重复,小区面积 5 m×3 m。试验地周围 1 m 种植保护行。播种前施尿素 109 kg/hm²,磷酸二铵 180 kg/hm²,小黑麦生长发育期间不再施肥,试验期间及时中耕除草,灌水 2 次(拔节期、抽穗期)。

1.4 测定指标及方法

草产量:开花期进行^[14]。测产时,齐地面刈割每个小区内所有植株的地上部分(除去边行和地头两边的 50 cm 部分),称重,得到鲜草产量。同时取鲜草样 500 g,在 65℃~70℃ 烘箱中烘 8 h 至恒重,称重得到干草产量,计算鲜干比。根据 500 g 草样的鲜干比计算每个小区的干草产量。

枝条数:开花期刈割前进行。每个小区内随机选取 1 m 样段(边行除外),数取样段内株高高于 50 cm 的枝条数量^[2,8]。

株高:开花期刈割前进行。每小区随机选取 10 个单株,测量从地面至最高点的自然高度。10 株的平均值作该区小黑麦的株高^[2,8]。

营养品质:用粉碎机粉碎烘干后的草样,过 1 mm 筛子,从混合均匀的草样中随机取 4 份样品,平行测定各项指标。粗蛋白(CP)含量测定采用凯氏定氮法^[15],中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量测定采用范氏的洗涤纤维分析法,干物质消化率(DMD)采用人工瘤胃法^[15]。

1.5 数据处理

采用 Excel 2007 软件进行数据的整理,应用 SPSS 19.0 对数据进行统计分析^[16]。

灰色关联分析是对一个发展变化的系统发展动态的量化比较,其基本思想是根据因素间几何形状的相似程度来判断关联程度^[9]。关联度是反映这种密切程度大小的度量,关联度愈大说明因素间变化的势态愈接近,其相互关系愈密切。采用灰色系统关联度理论^[18],将试验点×种质交互作用下小黑麦的干草产量、株高、枝条数、CP、ADF、NDF、DMD 7 项指标看作一个灰色系统整体。试验点×种质交互作用下小黑麦以 X 表示,指标以 k 表示,参考数列记为 $\{X_0(k), k=1, 2, \dots, m(m=7)\}$,比较数列记为 $\{X_i(k), i=1, 2,$

……, $n(n=12)$, $k=1, 2, 3, \dots, m(m=7)$ }, 试验点 \times 种质交互作用下小黑麦的 7 个指标均选择最优值为最优标准品种^[17]。

为便于比较和方便,同时保证各指标的等效性和同序性,采用均值化^[19]对原始数据进行处理,即用比

$$\alpha_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中: $|x_0(k) - x_i(k)|$ 为 $X_i(k)$ 与 $X_0(k)$ 在第 k 点的绝对差, $\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最小差, $\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最大差, ρ 为分辨系数,一般取值在 0~1,取 0.5。等权关联度是在各指标同等重要时评价不同品种的优劣。而反映小黑麦各指标特征值的重要性不相同。根据生产性能和营养品质在小黑麦生产中的重要程度^[7-8],进行各指标的权重分配。

根据关联系数:

$$\beta'_i = \sum_{k=1}^6 \omega_i(k) \times \alpha_i(k) \quad (2)$$

表 1 参试小黑麦种质干草产量,株高,CP,ADF,NDF 和 DMD 的方差分析

Table 1 Variance analysis on hay yield, plant height, contents of CP, ADF, ADF and DMD of tested triticale germplasms

| 变异来源 | F 值 | | | | | | |
|-----------------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|----------|
| | 干草产量 | 株高 | 枝条数 | CP | ADF | NDF | DMD |
| 试验点间 | 14.72** | 0.51 | 4.89* | 93.15** | 2.83 | 151.69* | 595.22** |
| 种质间 | 498.12** | 21.95** | 10.01** | 23.51** | 5.45** | 7.60** | 23.27** |
| 试验点 \times 种质 | 281.30** | 3.87** | 1.94 | 0.68 | 0.59 | 3.16* | 2.04 |

2.1.1 试验点间小黑麦干草产量,株高和枝条数的差异 试验点间多重比较表明, E_1 (合作点) 的干草产量 (13.45 t/hm²) 显著高于 E_2 (兰州点) (13.22 t/hm²) ($P < 0.05$); E_1 的枝条数 (655.42 万/hm²) 显著高于 E_2 (611.39 万/hm²) ($P < 0.05$) (图 1)。

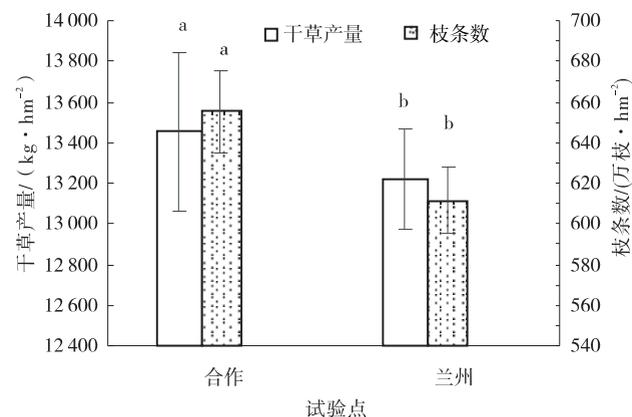


图 1 不同试验点间干草产量和枝条数的差异

Fig. 1 Differences of hay yield and branch numbers at different experimental sites

较数列 $X_i(k)$ 除参考数列 $X_0(k)$, 将数据压在 $[0, 1]$ 区间内,以增加可比性。

根据公式(1)^[18],计算试验点 \times 种质交互作用每个指标对应 $\alpha_i(k)$, $\alpha_i(k)$ 为 $x_i(k)$ 与 $x_0(k)$ 在第 k 点的关联系数。

式中: β'_i 为加权关联度, $\omega_i(k)$ 为参试品种第 k 个指标权重,计算各个小黑麦的加权关联度值。

2 结果与分析

2.1 生产性能相关指标差异分析

方差分析表明,单因素(试验点,种质)间、试验点与种质交互作用间干草产量均存在极显著差异;单因素(种质)间、试验点与种质交互作用间株高均存在极显著差异;单因素(试验点,种质)间枝条数存在显著差异,需要做多重比较(表 1)。

2.1.2 小黑麦种质间干草产量,株高和枝条数的差异 种质间多重比较结果可知,参试小黑麦种质中, G_5 的干草产量 (15.51 t/hm²) 显著高于其他种质 ($P < 0.05$); G_1 的干草产量 (15.08 t/hm²) 次之,显著高于其他 4 个小黑麦种质 ($P < 0.05$); G_4 的干草产量 (11.27 t/hm²) 最低,显著低于其他处理 ($P < 0.05$) (图 2)。

G_5 的株高 (152 cm) 显著高于其他种质 ($P < 0.05$); G_3 的株高 (114.83 cm) 最低,与 G_4 株高无显著差异,显著低于其他种质。

G_5 的枝条数 (745.42 万枝/hm²) 最高,与 G_1 的枝条数 (681.25 万枝/hm²) 无显著差异外,显著高于其他种质; G_6 的枝条数 (548.33 万枝/hm²) 最低,除与 G_4 的枝条数 (560.42 万枝/hm²) 和 G_3 (598.33 万枝/hm²) 无显著差异外,显著低于其他种质。

2.1.3 试验点 \times 种质交互作用间小黑麦干草产量、株高和枝条数的差异 试验点 \times 种质交互作用的多重比较表明, $E_1 G_1$ 的干草产量最高 (16.78 t/hm²), 显著高

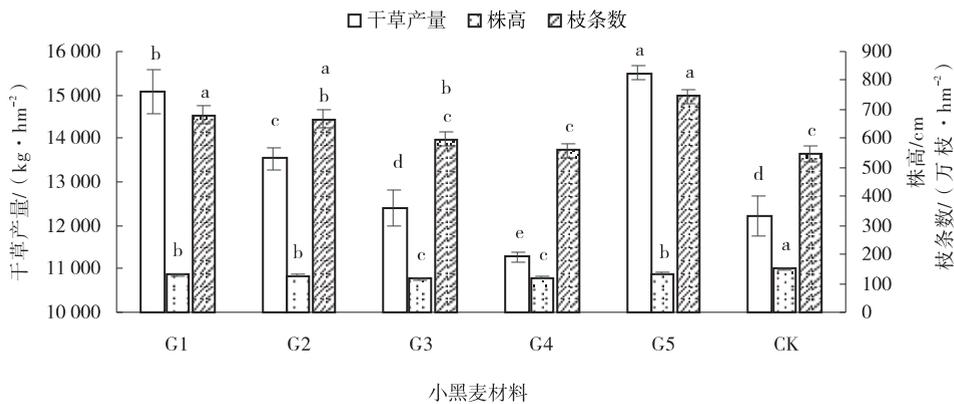


图 2 小黑麦种质间干草产量,株高和枝条数的差异

Fig. 2 Differences of hay yield, plant height and branch numbers among different triticale germplasms

于其他处理 ($P < 0.05$); $E_1 G_6$ 的干草产量最低 (10.64 t/hm^2), 显著低于其他处理 ($P < 0.05$)。 $E_2 G_6$ 的株高 (159 cm) 显著高于其他处理 ($P < 0.05$)。 $E_1 G_5$ 的枝条数最多 (785.83 万/hm^2), 显著高于除 $E_1 G_1$ 、 $E_1 G_2$ 、 $E_2 G_5$ 外的其他处理 ($P < 0.05$) (表 2)。

2.2 小黑麦营养品质相关指标差异分析

方差分析表明, 单因素(试验点, 种质)间营养品质 (CP、NDF、DMD) 均存在显著差异; 不同种质间 ADF 存在显著差异; 试验点与种质交互作用间 NDF 含量存在显著差异, 需要做多重比较(表 1)。

2.2.1 不同试验点间小黑麦营养品质的差异 不同试验点间小黑麦营养品质的多重比较结果表明, 2 个试验点中, E_1 点小黑麦干草的 CP 含量 (11.61%) 显著高于 E_2 点 (9.85%) ($P < 0.05$); E_1 点小黑麦干草的 NDF (54.83%) 含量显著低于 E_2 (62.93%); E_1 点小黑麦干草的 DMD (64.35%) 显著高于 E_2 (51.10%) ($P < 0.05$) (图 3)。

2.2.2 小黑麦种质间营养品质的差异 小黑麦种质间营养品质的多重比较表明(图 4), 参试小黑麦种质

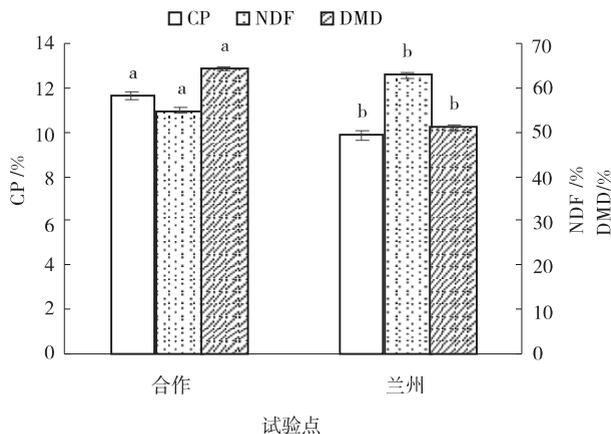


图 3 不同试验点小黑麦营养品质的差异

Fig. 3 Differences of nutritional quality at different experimental sites

中, G_4 的 CP 含量 (12.36%) 显著高于其他种质; G_3 的 CP 含量 (9.24%) 显著低于其他种质 ($P < 0.05$)。 G_4 的 ADF (36.20%) 含量最低, 与 G_6 (39.14%), G_5 (39.23%) 和 G_3 (39.41%) 无显著差异, 显著低于 G_1 、 G_2 。 G_4 的 NDF (55.38%) 含量最低, 与 G_3 (57.56%)

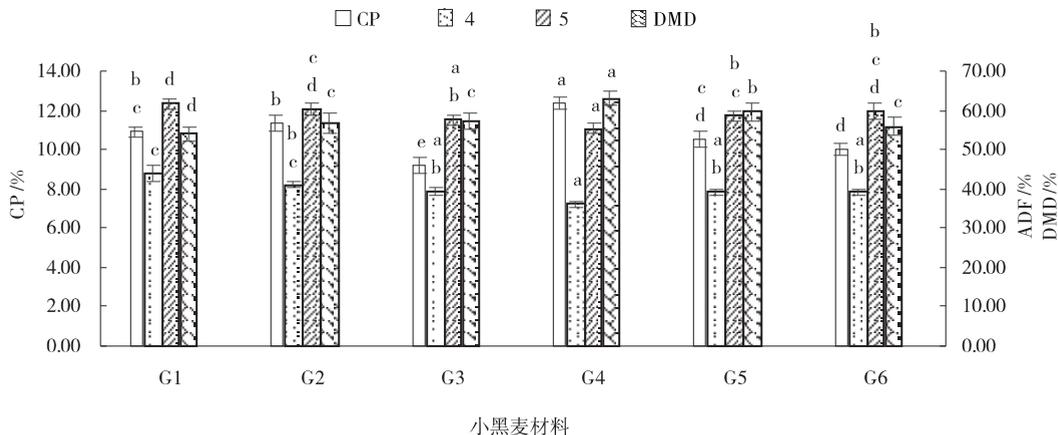


图 4 小黑麦种质间营养品质的差异

Fig. 4 Differences of nutritional quality among different germplasms

之间无显著差异,显著低于其他种质($P<0.05$)。G₄的DMD含量(63.08%)显著高于其他种质。

2.2.3 试验点×小黑麦种质交互作用间营养品质指标的差异 试验点×小黑麦种质互作效应的多重比较

表2 试验点×种质交互作用的小黑麦干草产量,CP,ADF,NDF和DMD含量的多重比较

Table 2 Multiple comparisons on hay yield, contents of CP, ADF, ADF and DMD of triticale in interactions between experiment sites and germplasms

| 水平 | 干草产量 (t·hm ⁻²) | 株高/cm | 枝条数 | 营养品质/% | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | | | CP | ADF | NDF | DMD |
| E ₁ G ₁ | 16.78±0.06 ^a | 130.17±1.85 ^{bc} | 745.83±25.57 ^{ab} | 11.65±0.17 ^a | 43.11±4.03 ^a | 58.42±0.94 ^b | 59.84±0.44 ^a |
| E ₁ G ₂ | 12.77±0.07 ^a | 130.33±1.84 ^{bc} | 711.67±48.52 ^{abc} | 12.20±0.05 ^a | 39.31±0.53 ^a | 55.88±1.44 ^{ab} | 64.91±0.21 ^a |
| E ₁ G ₃ | 13.79±0.06 ^c | 113.17±1.45 ^c | 600.83±48.21 ^{cd} | 10.40±0.16 ^a | 38.78±0.47 ^a | 53.45±0.42 ^a | 63.11±0.24 ^a |
| E ₁ G ₄ | 10.88±0.11 ^j | 113.33±1.45 ^c | 532.50±20.81 ^d | 13.37±0.04 ^a | 36.41±1.46 ^a | 53.02±1.94 ^a | 69.09±0.54 ^a |
| E ₁ G ₅ | 15.87±0.09 ^b | 141.50±2.13 ^{bc} | 785.83±11.93 ^a | 11.12±0.17 ^a | 39.43±1.38 ^a | 55.02±1.52 ^{ab} | 66.04±0.42 ^a |
| E ₁ G ₆ | 10.64±0.08 ^k | 145.00±3.83 ^b | 555.83±11.51 ^d | 10.91±0.10 ^a | 37.46±0.54 ^a | 53.16±0.83 ^a | 63.11±1.04 ^a |
| E ₂ G ₁ | 13.38±0.12 ^f | 129.33±7.47 ^{bc} | 616.67±36.83 ^{bcd} | 10.12±0.07 ^a | 45.09±0.75 ^a | 64.87±0.59 ^{cd} | 47.98±0.53 ^a |
| E ₂ G ₂ | 14.30±0.06 ^d | 125.17±8.09 ^{bc} | 621.67±28.97 ^{bcd} | 10.54±0.64 ^a | 42.73±0.61 ^a | 64.86±0.90 ^{cd} | 48.39±0.30 ^a |
| E ₂ G ₃ | 11.03±0.15 ⁱ | 116.50±3.41 ^c | 595.83±7.00 ^{cd} | 8.08±0.38 ^a | 40.03±2.12 ^a | 61.68±1.32 ^c | 51.41±2.08 ^a |
| E ₂ G ₄ | 11.66±0.07 ^h | 126.17±1.52 ^{bc} | 588.33±42.75 ^{cd} | 11.36±0.07 ^a | 35.99±0.45 ^a | 57.73±1.36 ^b | 57.06±0.21 ^a |
| E ₂ G ₅ | 15.16±0.22 ^c | 127.00±2.71 ^{bc} | 705.00±36.58 ^{abc} | 9.85±0.73 ^a | 39.03±0.58 ^a | 62.15±0.87 ^c | 53.13±2.00 ^a |
| E ₂ G ₆ | 13.78±0.05 ^e | 159.00±3.37 ^a | 540.83±53.06 ^d | 9.14 ^f ±0.11 ^a | 40.81±1.65 ^a | 66.28±0.38 ^d | 48.66±0.14 ^a |

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

表3 饲草型小黑麦生产性能和营养品质指标间相关性分析

Table 3 Correlation between production performance and forage nutritional quality index

| | 干草产量 (t·hm ⁻²) | 株高/cm | 枝条数 (万·hm ⁻²) | CP/% | NDF/% | ADF/% | DMD/% |
|----------------------------|-------------------------------|-------|------------------------------|---------|---------|---------|-------|
| 干草产量/(t·hm ⁻²) | 1.00 | | | | | | |
| 株高/cm | 0.19 | 1.00 | | | | | |
| 枝条数/(万·hm ⁻²) | 0.56** | 0.10 | 1.00 | | | | |
| CP/% | -0.01 | -0.06 | 0.15 | 1.00 | | | |
| NDF/% | 0.23 | 0.21 | -0.06 | -0.48** | 1.00 | | |
| ADF/% | 0.33** | 0.05 | 0.04 | -0.25* | 0.49** | 1.00 | |
| DMD/% | -0.14 | -0.17 | 0.10 | 0.61** | -0.82** | -0.41** | 1.00 |

2.3 生产性能和营养品质指标间相关分析

根据饲草型小黑麦生产性能和营养品质指标间相关性分析可知,干草产量和枝条数呈显著正相关,与ADF呈极显著正相关;粗蛋白含量与NDF、ADF呈显著负相关,粗蛋白含量与DMD呈极显著正相关;NDF与ADF呈显著正相关,NDF与DMD呈显著负相关;ADF与DMD呈显著负相关。

2.4 小黑麦种质生产性能与营养品质的灰色关联度

2.4.1 建立标准品种和供试种质的各项性状 采用

表明,E₁G₄的NDF含量最低(53.02%),与E₁G₂、E₁G₃、E₁G₅、E₁G₆无显著性差异外,显著低于其他处理($P<0.05$)。试验点×种质互作效应间的CP含量、ADF含量和DMD无显著差异(表2)。

灰色系统关联度理论,将试验点×种质交互作用下小黑麦的7个指标均选择最优值为最优标准品种^[17],根据生产性能和营养品质在小黑麦生产中的重要程度^[7-8],进行各指标的权重分配(表4)。

2.4.2 数据标准化处理 采用均值化对原始数据进行处理,将数据压在[0,1]区间内,以增加可比性,处理后的结果用 $x_i(k)$ [$i=1,2,\dots,n(n=12),k=1,2,3,\dots,m(m=7)$],如表5所示。

表 4 标准小黑麦的构建及各指标的权重

Table 4 The construction of the standard triticale and the weight of the index

| X 指标 | 试点 | 干草产量 (t · hm ⁻²) | 株高/cm | 分枝数 (万 · hm ⁻²) | CP | ADF | NDF | DMD |
|----------------|----|---------------------------------|--------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| X ₀ | 兰州 | 15.16 | 159.00 | 705.00 | 11.36 | 39.43 | 57.73 | 57.06 |
| X ₀ | 合作 | 16.78 | 145.00 | 785.83 | 13.37 | 36.41 | 53.02 | 69.09 |
| W _k | 兰州 | 0.50 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.05 | 0.05 | 0.10 |
| W _k | 合作 | 0.50 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.05 | 0.05 | 0.10 |

表 5 试验点×小黑麦种质交互作用的生产性能和营养品质数据的无量化处理

Table 5 Data dimensionless of the production performance and nutrition quality in the interactions between experiment sites and germplasm

| 水平 | 干草产量 (t · hm ⁻²) | 株高/cm | 枝条数 | 营养品质 | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | CP | ADF | NDF | DMD |
| E ₁ G ₁ | 1.000 0 | 0.897 7 | 0.949 1 | 0.871 6 | 0.894 7 | 0.885 0 | 0.866 0 |
| E ₁ G ₂ | 0.761 0 | 0.898 8 | 0.905 6 | 0.912 9 | 0.954 5 | 0.939 1 | 0.939 4 |
| E ₁ G ₃ | 0.821 7 | 0.780 5 | 0.764 6 | 0.778 3 | 0.962 7 | 0.990 8 | 0.913 4 |
| E ₁ G ₄ | 0.648 3 | 0.781 6 | 0.677 6 | 1.000 0 | 1.000 0 | 1.000 0 | 1.000 0 |
| E ₁ G ₅ | 0.945 5 | 0.975 9 | 1.000 0 | 0.832 1 | 0.952 5 | 0.957 5 | 0.955 7 |
| E ₁ G ₆ | 0.634 1 | 1.000 0 | 0.707 3 | 0.816 0 | 0.983 6 | 0.997 0 | 0.913 4 |
| E ₂ G ₁ | 0.882 6 | 0.813 4 | 0.874 7 | 0.890 8 | 0.857 8 | 0.831 0 | 0.840 8 |
| E ₂ G ₂ | 0.942 7 | 0.787 2 | 0.881 8 | 0.928 5 | 0.894 7 | 0.831 5 | 0.848 0 |
| E ₂ G ₃ | 0.727 4 | 0.732 7 | 0.845 1 | 0.711 2 | 0.936 9 | 0.906 5 | 0.901 0 |
| E ₂ G ₄ | 0.769 1 | 0.793 5 | 0.834 5 | 1.000 0 | 1.000 0 | 1.000 0 | 1.000 0 |
| E ₂ G ₅ | 1.000 0 | 0.798 7 | 1.000 0 | 0.867 6 | 0.952 5 | 0.895 5 | 0.931 1 |
| E ₂ G ₆ | 0.909 0 | 1.000 0 | 0.767 1 | 0.805 2 | 0.924 7 | 0.797 9 | 0.852 7 |

2.4.3 关联系数、关联度和权重 根据公式(1),计算试验点×种质交互作用每个指标对应关联系数 $\alpha_i(k)$, 计算结果见表 6。将计算结果代入公式(2),得到试验点×小黑麦种质交互作用的加权关联度(表 7)。可真实反应供试小黑麦种质与最优标准种质的差异大小,关联度大,表明该种质与最优标准品种的相似程度高,

反之则低。

在所有试验点×小黑麦种质中,E₂G₅、E₁G₁、E₂G₂和 E₁G₅的加权关联度最大,E₁G₃、E₂G₁、E₁G₆、E₂G₃和的加权关联度较小,说明 G₅种质生产性能和营养品质的综合评价价值最好,G₃种质生产性能和营养品质的综合评价价值较低(表 7)。

表 6 试验点×种质交互作用小黑麦生产性能和营养品质关联系数值

Table 6 Related coefficients on production performance and nutrition quality in the interactions between experiment sites and germplasm

| 水平 | 干草产量 | 株高 | 枝条数 | 营养品质 | | | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | CP | ADF | NDF | DMD |
| E ₁ G ₁ | 1.000 0 | 0.641 4 | 0.782 3 | 0.587 7 | 0.634 7 | 0.613 9 | 0.577 2 |
| E ₁ G ₂ | 0.433 6 | 0.643 9 | 0.659 7 | 0.677 5 | 0.800 9 | 0.750 2 | 0.751 2 |
| E ₁ G ₃ | 0.506 4 | 0.454 6 | 0.437 3 | 0.452 1 | 0.830 5 | 0.952 4 | 0.678 8 |
| E ₁ G ₄ | 0.342 2 | 0.455 8 | 0.362 0 | 1.000 0 | 1.000 0 | 1.000 0 | 1.000 0 |
| E ₁ G ₅ | 0.770 6 | 0.883 4 | 1.000 0 | 0.521 5 | 0.793 9 | 0.811 5 | 0.805 2 |
| E ₁ G ₆ | 0.333 3 | 1.000 0 | 0.384 6 | 0.498 5 | 0.917 5 | 0.983 7 | 0.678 8 |
| E ₂ G ₁ | 0.537 2 | 0.422 1 | 0.521 1 | 0.555 2 | 0.489 4 | 0.446 5 | 0.461 3 |
| E ₂ G ₂ | 0.703 9 | 0.390 5 | 0.535 6 | 0.655 9 | 0.564 1 | 0.447 2 | 0.472 8 |
| E ₂ G ₃ | 0.333 3 | 0.337 7 | 0.468 2 | 0.320 6 | 0.683 6 | 0.593 2 | 0.579 3 |
| E ₂ G ₄ | 0.371 2 | 0.397 6 | 0.451 6 | 1.000 0 | 1.000 0 | 1.000 0 | 1.000 0 |
| E ₂ G ₅ | 1.000 0 | 0.403 8 | 1.000 0 | 0.507 2 | 0.741 5 | 0.565 9 | 0.664 2 |
| E ₂ G ₆ | 0.599 6 | 1.000 0 | 0.369 2 | 0.411 7 | 0.644 1 | 0.402 8 | 0.480 7 |

表7 试验点×小黑麦种质交互作用的加权关联度

Table 7 Weighted incidence degree for the interactions between experiment sites and germplasms

| 水平 | 加权关联度 | 加权排序 | 水平 | 加权关联度 | 加权排序 |
|-------------------------------|---------|------|-------------------------------|---------|------|
| E ₁ G ₁ | 0.808 9 | 2 | E ₂ G ₁ | 0.534 0 | 10 |
| E ₁ G ₂ | 0.570 2 | 7 | E ₂ G ₂ | 0.640 1 | 4 |
| E ₁ G ₃ | 0.545 2 | 9 | E ₂ G ₃ | 0.406 0 | 12 |
| E ₁ G ₄ | 0.612 0 | 6 | E ₂ G ₄ | 0.636 3 | 5 |
| E ₁ G ₅ | 0.744 6 | 3 | E ₂ G ₅ | 0.809 5 | 1 |
| E ₁ G ₆ | 0.498 6 | 11 | E ₂ G ₆ | 0.564 2 | 8 |

3 讨论

3.1 不同试验点间小黑麦种质生产性能和营养品质的差异分析

小黑麦的干草产量是评价其品种优劣的关键特征,也是衡量其生产力大小的主要指标,可以反映不同种质生产性能及适应性。试验中合作试验点各参试种质2年的平均干草产量显著高于兰州试验点。主要是因为合作试验点海拔较高,小黑麦生长季的气温低于兰州,更适合小黑麦生长,这与吴发莉等^[19]和尚小生等^[20]研究结果一致。株高和枝条数是构成小黑麦草产量的重要因素,但枝条数对小黑麦草产量的影响更大^[20-21]。合作试验点小黑麦种质的草产量高于兰州试验点,可能是因为其枝条数(655.42万枝/hm²)显著高于兰州试验点(611.39万枝/hm²)。

营养品质高低是评价牧草饲用价值的重要因素^[22-23],牧草中CP含量越高,NDF和ADF含量越低,牧草的饲用价值越高。NDF含量影响饲草的适口性,NDF含量越高,则家畜对饲草的采食量越低^[24]。ADF含量影响饲草的消化率,ADF含量越高,家畜对饲草的消化率越低^[25-26]。从小黑麦营养价值比较可知,合作试验点小黑麦营养品质显著高于兰州试验点,主要是因为合作点温度较低,小黑麦种质生长发育缓慢,积累的营养物质较多^[2,8]。

3.2 小黑麦种质间生产性能和营养品质的差异分析

牧草的遗传特性和外界环境条件共同决定其草产量高低,抗病能力、株高和分蘖性能取决于自身遗传特性。虽然株高和枝条数对小黑麦草产量均有影响,但枝条数对小黑麦草产量的影响更大。虽然小黑麦品系

C31的株高显著低于对照石大1号,但由于其枝条数(745.42万枝/hm²)显著或不显著高于其他种质,因此,其获得了较高干草产量(15.51 t/hm²)。同样,由于C17的枝条数(681.25万/hm²)仅次于C31,也获得了较高草产量(15.08 t/hm²)。因此,在小黑麦育种中应注重选择枝条数多的种质作为亲本,以培育高产品系(种)。

不同小黑麦种质由于遗传特性不同,营养品质存在显著差异^[32]。参试小黑麦种质中,C24的CP含量(12.36%)显著高于其他种质,NDF(55.38%)和ADF(36.20%)含量最低,DMD含量(63.08%)显著高于其他种质,这主要是因为C24在生长过程中表现为叶量丰富,叶片的粗蛋白含量和消化率显著高于茎秆,NDF和ADF含量显著低于茎秆,这与前人研究结果一致^[2,8]。

3.3 小黑麦种质和试验点交互作用间生产性能和营养品质的差异分析

从交互作用而言,小黑麦品系C17的干草产量在试点间差异较大,合作试验点干草产量最高,为16.78 t/hm²,兰州点只有13.38 t/hm²,说明其在合作点生产性能较好,但适应性较差;品系C31在2个试验点的干草产量为15.16~15.87 t/hm²,表现出较好的生产性能和适应性;C17和C31优良的生产性能主要得益于枝条数。小黑麦营养品质的差异取决于多个因素,但遗传特性的影响较大,虽然试验点间的降水量、海拔、年均温和土壤养分等差异极大,但合作点小黑麦品系C24的CP含量和DMD较高,NDF和ADF含量较低,营养品质较好。

3.4 小黑麦生产性能和营养品质指标间相关性分析

根据饲草型小黑麦生产性能和营养品质指标间相关性分析可知,干草产量和枝条数、ADF呈极显著正相关,这与枝条数对小黑麦草产量的影响更大结论基本一致,粗蛋白含量与NDF、ADF呈显著负相关,粗蛋白含量与DMD呈极显著正相关;NDF与ADF呈显著正相关,NDF与DMD呈显著负相关;ADF与DMD呈显著负相关。这是因为NDF和ADF含量增加,采食量随之减少,消化率降低,这与李春喜等^[22]对燕麦的研究结果基本一致。

3.5 小黑麦种质的综合评价

应用灰色关联度综合评价结果表明,兰州点小黑麦品系C31和C19的生产性能和营养品质与标准品

种的相似程度最高,其各项指标都表现较好,综合排名靠前;合作点小黑麦品系 C17 和 C31 的生产性能和营养品质与标准品种的相似程度最高,其各项指标都表现较好,综合排名靠前;对照石大 1 号和 C22 小黑麦种质表现较差;合作试验点各参试小黑麦种质的综合评价价值较高,更适合小黑麦生长。

4 结论

综合多重比较和灰色关联度综合分析,兰州点适合生长的小黑麦品系为 C31 和 C19,与兰州点相比,合作点更适合参试小黑麦种质的生长发育,合作点适合生长的小黑麦品系为 C31 和 C17。石大 1 号和 C22 生产性能和营养品质的整体综合评价价值较低,不适合在兰州点和合作点生长。

参考文献:

- [1] 孙敏,郭媛. 小黑麦生物学特性、营养价值及利用前景[J]. 山西农业大学学报,2003,23(3):200—203.
- [2] 金涛. 西藏中部农区冬春季小黑麦饲草生产技术研究[D]. 北京:中国农业科学院,2016.
- [3] 王伟,徐成体,德科加,等. 称多县燕麦与小黑麦引种试验初步研究[J]. 青海畜牧兽医杂志,2015,45(5):4—6.
- [4] 官旭胤,汪晓娟,张利平,等. 小黑麦在祁连山牧区引种试验研究[J]. 甘肃农业科技,2014(7):32—34.
- [5] 赵方媛,王文,陈平,等. 甘农 2 号小黑麦在云贵高原的生产性能研究[J]. 草原与草坪,2019,39(1):43—47.
- [5] 代寒凌,田新会,杜文华,等. 甘南地区饲用型小黑麦草产量及营养品质研究[J]. 草原与草坪,2019,39(2):66—72.
- [7] 刘晶,宋谦,田新会. 基于隶属函数法和 GGE 双标图的饲草型小黑麦种质适应性评价[J]. 草业学报,2018,27(5):85—96.
- [8] 王有武,王瑞清,黄小晶,等. 应用灰色关联度综合评价冬性小黑麦品种区域试验[J]. 安徽农业科学,2009,37(16):7375—7377.
- [9] 胡立芹,徐林涛,张超,等. 六倍体小黑麦基于农艺性状和品质性状的多样性分析[J]. 中国农学通报,2015,31(3):106—112.
- [10] 王瑞清,王有武,徐晓燕,等. 小黑麦种质资源农艺性状的相关及聚类分析[J]. 新疆农业科学,2015,52(9):1591—1599.
- [11] 孙黛珍,周福平,王曙光,等. 六倍体小黑麦灌浆期抗旱

- 性分析[J]. 中国农学通报,2007,23(7):236—240.
- [12] 赵方媛,田新会,杜文华. 小黑麦萌发期抗旱条件模拟和抗旱指标的筛选[J]. 干旱地区研究,2017,35(2):96—102.
- [13] 郭建文,田新会,张舒芸,等. 拔节期喷施矮壮素对小黑麦抗倒伏性及产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2018,53(6):42—49.
- [14] 杨胜. 饲料分析及饲料质量监测技术[M]. 北京:中国农业大学出版社,1998:330—338.
- [16] 徐向宏,何明珠. 试验设计与 Design-Expert、SPSS 应用[M]. 北京:科学出版社,2010:9—19.
- [16] 金玉国. 一种测定权数的新方法:灰色系统关联分析法[J]. 统计教育,2002(3):14—15.
- [17] 孙万斌,马晖玲,侯向阳,等. 20 个紫花苜蓿品种在甘肃两个地区的生产性能及营养价值综合评价[J]. 草业学报,2017,26(3):161—174.
- [18] 韩汝旦,姬奇武,董宽虎. 应用灰色关联度对白羊草生产性能的综合评价[J]. 草业科学,2015,32(9):1489—1495.
- [19] 吴发莉,王之盛,杨勤,等. 甘南碌曲和合作地区冬夏季高寒天然牧草生产特性、营养成分和饲用价值分析[J]. 草业学报,2014,23(4):31—38.
- [20] 尚小生,刘鹏,赵秉强,等. 小黑麦+箭筈豌豆混播试验初报[J]. 草业与畜牧,2012,204(11):16—18.
- [21] 姚玉璧,李志福. 甘南天然草场气候生产力评估[J]. 甘肃气象,1993,11(1):30—31.
- [22] 李春喜,叶润荣,周玉碧,等. 高寒牧区不同燕麦品种饲草产量及品质的研究[J]. 草地学报,2014,22(4):882—888.
- [23] 韩建国,马春晖,毛培胜,等. 播种比例和施氮量及刈割期对燕麦与豌豆混播草地草产量和质量的影响[J]. 草地学报,1999,7(2):87—94.
- [24] 曹卫星,夏劲伟. 氮肥对一年生黑麦草产量及品质影响的研究[D]. 南京:南京农业大学,2000.
- [25] 李国辉,李志坚,胡跃高. 青刈黑麦产草量与营养动态分析[J]. 草地学报,2000,8(1):49—54.
- [26] 乔玉强,马传喜,黄正来. 小麦品质性状的基因型和环境及其互作效应分析[J]. 核农学报,2008,22(5):706—711.
- [27] 姜慧敏,布仁图雅. 豆科牧草与禾本科牧草的营养品质指标的比较研究[J]. 环境与发展,2014,26(8):65—72.

Screening of high yield and high quality triticale genotypes in different ecological regions of Gansu Province

LIU Jing^{1,2}, ZHAO Fang-yuan¹, DU Wen-hua¹, TIAN Xin-hui¹

(1. *College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Lanzhou 730070, China*; 2. *College of Ecological Environment and Resource, Qinghai Nationalities University, Xining 810000, China*)

Abstract: The production performance (hay yield, plant height, branch number) of 5 triticale new lines (C17, C19, C22, C24 and C31) was compared with the CK (Shida No. 1) through gray correlation method in Hezuo and Lanzhou of Gansu Province in 2016 and 2017. The results showed that 1) The hay yield of C31 (15.51 t/ha) was significantly higher than other germplasms, and the hay yield of C24 (11.27 t/ha) was significantly lower than other germplasms. The plant height of Shida No. 1 (152 cm) was significantly higher than other germplasms. The branch numbers of C31 (7.45 million/ha) was the highest, and it was significantly higher than other germplasms except for C17 (6.81 million/ha). The CP content (12.36%) of C24 was significantly higher than other germplasms. The NDF content of C24 (55.38%) was the lowest, and there was no significant difference with C22, which was significantly lower than other germplasm. The ADF content of C24 (36.20%) was the lowest, which was significantly lower than C17 and C19. The DMD content of C24 (63.08%) was significantly higher than other germplasms. 2) At two experiment sites, the production performance of triticale in Hezuo (hay yield, branch numbers) was significantly better than that in Lanzhou ($P < 0.05$). The CP content in Hezuo (11.61%) was significantly higher than that in Lanzhou (9.85%). The NDF content in Hezuo (54.83%) was significantly lower than that in Lanzhou (62.90%). The DMD content in Hezuo (64.35%) was significantly higher than that in Lanzhou (51.10%). 3) The results of multiple comparison and grey correlation analysis showed that Hezuo was more suitable for the growth and development of triticale germplasm. Among tested triticale germplasms, C17 and C31 were the best for growth in Hezuo.

Key words: triticale; production performance; nutritional quality; grey correlation analysis