

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2013.03.032

应用灰色关联度综合评价甜高粱的生产性能

冯海生, 李春喜

(中国科学院西北高原生物研究所 中国科学院西北高原生物适应与进化重点实验室, 青海 西宁 810001)

摘要:采用灰色关联度分析法对 8 个甜高粱(*Sorghum dochna*)品种的 9 个性状进行综合评价。结果表明:在青海东部农业区表现较好的甜高粱品种有九甜杂三、大力士、超级放牧者,而吉甜 3 号和辽甜 1 号的生产性能较差。各项指标的权重大小顺序为单株干质量>分蘖数>鲜干比>鲜重产量>主茎粗>单株鲜质量>出苗率>株高>绿叶数,研究结果可为该地区甜高粱的引种及推广提供科学依据。

关键词:甜高粱;生产性能;灰色关联度分析;评价

中图分类号:S524.091

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2013)03-0622-04

A Comprehensive Evaluation of Production Performance of Sweet Sorghum Varieties Using Grey Correlative Degree Analysis

FENG Hai-Sheng, LI Chun-Xi

(Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810001, China)

Abstract: The grey correlative degree analysis was applied to comprehensively evaluate the growth performance of 8 sweet sorghum varieties by nine characteristics. Three varieties including Jiutianzasan, Hunni green and Super herder performed well, whereas Jitian 3 and Liaotian 1 had relatively low suitability in the eastern agricultural region of Qinghai province. The order of weight index in the grey correlation analysis was plant dry weight>tillers number>fresh to dry ratio>fresh yield>stem diameter>plant fresh weight>emergence rate>plant height>green leaf count. This result will provide a scientific evidence for introducing and extending sweet sorghum in the region.

Key words: Sweet sorghum; Production performance; Grey correlative degree analysis; Evaluation

甜高粱(*Sorghum dochna*)作为饲用植物在世界各地受到广泛重视,具有抗旱、耐涝、耐盐碱、耐瘠薄等优良特性,而且适应性广泛^[1]。近年来在美国西北部,甜高粱常常被作为青贮玉米的替代品进行研究^[2]。我国近几年的引种试验表明,甜高粱生长快、产量高、抗病能力强,具有很好的发展潜力^[3],而且作为奶牛饲料具有明显优势,既可做牧草放牧,又可刈割做青贮^[4]。为了探索甜高粱在青海作为饲料作物的可能性,增加饲料作物的来源,于 2009 年在中国科学院西北高原生物研究所平安生态农业试验站开展了甜高粱引种栽培研究,结果表明在青海东部农业区铺地膜种植甜高粱完全可行^[5]。灰色系统理论是近年来发展起来的一种分析理论,在高丹草

(*Sorghum bicolor* × *S. sudanense*)^[6]、黑麦草(*Lolium* spp.)^[7]等牧草已有所应用,但在甜高粱引种评价中的报道较少。为此本研究选取株高、生物产量、主径粗等 9 项农艺性状指标,采用灰色关联度评价 8 个甜高粱品种的引种适应性,为青海东部农业区引种和推广提供科学依据,也为甜高粱引种适应性研究鉴定和评价提供可选择的性状指标。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于青海省平安县小峡镇下红庄村,地理位置 E 102°18', N 36°38', 海拔 2100 m, 年平均气

收稿日期:2012-12-26;修回日期:2013-03-19

基金项目:青海省科技厅项目“粮饲兼用甜高粱品种选育与饲喂技术示范”(2012-N-504)资助

作者简介:冯海生(1961-),男,山西柳林人,副研究员,学士,主要从事作物育种与遗传学研究,E-mail:hsfeng@nwipb.cas.cn

温 6.2℃,年均降水量 354.1 mm,年蒸发量 1800 mm,无霜期 179 d。日平均气温稳定通过≥0℃的初日为 3月 13 日,终日为 11 月 1 日,期间积温 2900℃。土壤属灌淤型红粘砂土,灌淤厚度 50~60 cm,田间耕层有机质含量 1.7%左右,全氮 0.112%,全磷 0.058%,全钾 1.782%,pH 值 8.3~8.8。土壤肥力中等,地势平坦。

1.2 试验材料与试验方法

试验材料如表 1 所示。2010 年 5 月 8 日播种,采用随机区组设计,3 次重复,小区面积为 10.0 m × 2.4 m,小区间隔 0.7 m,株行距为 0.20 m × 0.40 m,两端设立保护区。铺地膜,地膜宽幅为 3 m,两边埋入土中,地面保留盖膜宽度 2.5~2.7 m。铺好地膜后,用卷尺固定株行距,人工戳孔,3~4 cm 深,每穴下种 2~4 粒。

1.3 测定指标

以参试甜高粱品种的株高、主茎粗、单株鲜质重、单株干质重、鲜干比、鲜重产量、分蘖数、出苗率、绿叶数 9 项指标的测定结果为分析资料(表 2),对甜高粱品种的优劣进行综合评价。

1.4 数据分析 用下列公式计算权重和加权关联度:

关联系数:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_k |\Delta_i(k)| + \rho \max_k |\Delta_i(k)|}{|\Delta_i(k)| + \rho \max_k |\Delta_i(k)|} \quad (1)$$

$$\text{等权关联度: } \gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k), n \text{ 为样本数。} \quad (2)$$

$$\text{权重系数: } \omega_i = \frac{\gamma_i}{\sum \gamma_i} \quad (3)$$

$$\text{加权关联度: } \gamma_i' = \sum_{k=1}^n \omega_i(k) \cdot \xi_i(k) \quad (4)$$

表 1 品种来源

Table 1 Resources and varieties

编号 Code	品种名称 Varieties	品种来源 Resource
1	BJ0602	引自澳大利亚,北京百绿集团提供
2	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	辽宁省农业科学院作物所(国家高粱改良中心)
3	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	辽宁省农业科学院作物所(国家高粱改良中心)
4	大力士 Hunni green	引自澳大利亚,北京百绿集团提供
5	超级放牧者 Super herder	引自澳大利亚,北京百绿集团提供
6	九甜杂三 Jiutianzasan	吉林省吉林市农业科学院
7	吉甜 3 号 Jitian No. 3	吉林省吉林市农业科学院
8	吉甜 5 号 Jitian No. 5	吉林省吉林市农业科学院

表 2 供试品种的主要性状均值

Table 2 Characteristics of experimental varieties

品种 Varieties	株高 Plant height /cm	主茎粗 Main stem diameter/cm	单株鲜质量 Fresh weight of single plant/g	单株干质量 Dry weight of single plant/g	鲜干比 Fresh /Dry ratio	分蘖数 Tillers	绿叶数 No. of green leaf	鲜重产量 Fresh weight /kg · hm ⁻²	出苗率 Seeding rate /%
BJ0602	205.3	1.58	788.7	486.9	1.62	2.90	8.4	97862	83.05
辽甜 1 号 Liaotian No. 1	209.2	1.61	790.7	522.4	1.51	2.20	6.9	82416	70.11
辽甜 3 号 Liaotian No. 3	197.7	1.61	850.8	545.8	1.56	3.07	6.5	82188	57.84
大力士 Hunni green	226.2	1.47	868.8	592.6	1.47	2.90	9.1	107474	75.28
超级放牧者 Super herder	209.9	1.49	877.8	560.2	1.57	3.27	7.7	101613	76.39
九甜杂三 Jiutianzasan	244.7	1.49	943.3	583.5	1.62	2.63	7.6	109596	77.89
吉甜 3 号 Jitian No. 3	181.1	1.35	652.0	368.0	1.77	3.23	6.9	70124	61.61
吉甜 5 号 Jitian No. 5	196.9	1.76	788.0	556.6	1.40	2.80	10.1	98918	70.91

2 结果与分析

2.1 灰色系统的建立

根据灰色系统理论要求^[8],将 8 个参试甜高粱品种的 9 个性状视为一个整体,即灰色系统由于同一品种的不同性状的单位不同,为保证各性状因素具有等效性和同序性,需对原始数据进行无量纲化

处理,即所有指标数值被相应的 X_0 值除。

2.2 最优指标集确定

取所有参试品种每个指标的最大值构成参考数列 X_0 ,既株高 244.7 cm,主茎粗 1.76 cm,单株鲜质量 943.3 g,单株干质量 592.6 g,鲜干比 1.77,分蘖数 3.27 个,绿叶数 10.1 片,鲜重产量 109596 kg · hm⁻²,出苗

率 83.05%，构成最优指标集 $\{X_0(k)\} = (244.7, 1.76, 943.3, 592.6, 1.77, 3.27, 10.1, 109.596, 83.05)$ 。

2.3 求关联系数、关联度和权重

参考品种的各性状值构成参考数列 $X_0(k) = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\}$ ，参试品种的各性状值构成比较数列 $X_i(k) = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}$ ，其中 $k=1, 2, \dots, n$ ， n 是品种的性状数， $i=1, 2, \dots, m$ ， m 是品种个数。首先根据公式 $\Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$ 求出参考数列与比较数列的绝对差值。二级最小差 $\min_k |X_0(k) - X_i(k)| = 0$ ，二级最大差 $\max_k |X_0(k) - X_i(k)| = 0.3790$ ， ρ 为分辨系数，用于提高关联系数间的差异显著性，取值范围 $0 \sim 1$ ，在此取 $\rho = 0.5$ 。利用公式(1)计算各点上的关联系数 $\xi_i(k)$ (表 3)。根据模糊数学方法中的权重决策法，即由公式(2)、公式(3)计算各指标对应的权值，赋予各性状不同权重： $\omega_1 = 0.1055, \omega_2 = 0.1124, \omega_3 = 0.1114, \omega_4 = 0.1236, \omega_5 = 0.1140, \omega_6 = 0.1181, \omega_7 = 0.0913, \omega_8 = 0.1128, \omega_9 = 0.1108$ 。根据权重值的大小，可判断出每个指标在甜高粱品种综合评价中的作用大小。其权重顺序为：单株干质量 > 分蘖数 > 鲜干比 > 鲜重产量 > 主茎粗 > 单株鲜质量 > 出苗率 > 株高 > 绿叶数。根据权重可构造甜高粱综合

评价模型为： $Z_k = 0.1055\xi_1 + 0.1124\xi_2 + 0.1114\xi_3 + 0.1236\xi_4 + 0.1140\xi_5 + 0.1181\xi_6 + 0.0913\xi_7 + 0.1128\xi_8 + 0.1108\xi_9$ 。将权重系数及关联系数代入公式(4)，求得各参试品种的加权关联度，并进行关联度排序(表 4)。加权关联度值可真实的反应参试品种与最优指标集的差异大小，值越大说明综合性能越理想，反之则差异大。8 个甜高粱品种生产性能综合评价排在前三位的为：九甜杂三、大力士、超级放牧者。

3 讨论与小结

灰色关联分析根据各因素变化曲线几何形状的相似程度来判断因素之间的关联程度，所需样本容量较少，对试验数据类型没有特殊要求^[9]。本研究利用灰色系统理论对青海东部农业区引种的甜高粱品种主要生产性能指标进行了综合分析，结果表明权重较高的 3 个指标是单株干质量、分蘖数、鲜干比。杜周和等^[10-11]在紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 品种的引种中，在不同生态气候小区各指标的权重系数不一，相似生态气候地区有相似的指标权重顺序。本研究主要根据生产实践选择了部分指标进行分析评价，其他指标还有待进一步研究和验证，以期建立更为科学的评价模型。

表 3 各品种的关联系数值

Table 4 Related coefficients of different tested varieties

品种 Varieties	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
ξ_1	0.5407	0.6494	0.5362	0.5151	0.6911	0.6262	0.5296	0.6389	1.0000
ξ_2	0.5663	0.6898	0.5394	0.6153	0.5633	0.3668	0.3743	0.4331	0.5488
ξ_3	0.4966	0.6898	0.6589	0.7058	0.6151	0.7559	0.3471	0.4311	0.3843
ξ_4	0.7148	0.5349	0.7058	1.0000	0.5279	0.6262	0.6568	0.9071	0.6694
ξ_5	0.5713	0.5526	0.7319	0.7760	0.6264	1.0000	0.4437	0.7225	0.7026
ξ_6	1.0000	0.5526	1.0000	0.9248	0.6911	0.4920	0.4336	1.0000	0.7532
ξ_7	0.4217	0.4485	0.3803	0.3333	1.0000	0.9395	0.3743	0.3447	0.4233
ξ_8	0.4925	1.0000	0.5196	0.7574	0.4755	0.5687	1.0000	0.6605	0.5645

表 4 各参试品种的加权关联度及其排序

Table 5 Weighting association and the order of experimental varieties

品种 Varieties	加权关联度 Weighting association	排序 Order
BJ0602	0.6374	5
辽甜 1 号 Liaotian No. 1	0.5248	7
辽甜 3 号 Liaotian No. 3	0.5728	6
大力士 Hunni green	0.7083	2
超级放牧者 Super herder	0.6891	3
九甜杂三 Jiutianzasan	0.7661	1
吉甜 3 号 Jitian No. 3	0.5235	8
吉甜 5 号 Jitian No. 5	0.6656	4

根据参试品种综合评价性状指标的权重比较，构建出甜高粱综合评价模型，用此模型对参试品种进行综合评价，结果表明，在青海东部农业区引进的甜高粱品种中综合评价最好的为九甜杂三，其产草量最高，株高最高，生长速度最快，9 个指标中有 3 个指标在所有参试品种中位居榜首，最适宜在该地区推广；其次为大力士和超级放牧者，这与大田试验观察结果相一致。本研究结果表明，采用灰色系统理论对甜高粱品种进行综合评价，其结果较为合理可信，能够较全面地反应一个品种综合生产性能的

优劣。

参考文献

- [1] 庆善. 甜高粱研究进展[J]. 世界农业, 1998, 229(5): 21-23
- [2] Ketterings Q M, Godwin G, Cherney J H, *et al.* Potassium management for brown midrib sorghum × Sudangrass as replacement for corn silage in the north-eastern USA[J]. *Agronomy and Crop Science*, 2005, 191(1): 41-46
- [3] 曹文伯. 我国甜高粱种质资源鉴定及利用概况[J]. 植物遗传资源科学, 2001, 2(1): 58-62
- [4] 梁晖, 沈益新. 甜高粱用作青贮作物的潜力评价[J]. 草地学报, 2011, 19(5): 808-812
- [5] 李春喜, 董喜存, 李文建, 等. 甜高粱在青海高原种植的初步研究[J]. 草业科学, 2010, 27(9): 75-81
- [6] 伊利, 逯晓萍, 傅晓峰, 等. 高丹草杂交种灰色关联分析与评判[J]. 中国草地学报, 2006, 28(3): 21-25
- [7] 陈奥, 龙明秀, 张维, 等. 作物灰色育种理论在杂交黑麦草新品系筛选中的应用[J]. 草地学报, 2012, 20(1): 102-107
- [8] 张跃, 皱寿平. 模糊数学方法及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992
- [9] 邓聚龙. 灰色控制系统[M]. 武汉: 华中工学院出版社, 1985
- [10] 杜周和, 冯礼斌, 左艳香, 等. 川北地区紫花苜蓿品种筛选及栽培技术研究[J]. 草业科学, 2012, 29(3): 465-470
- [11] 慕平, 魏臻武, 李发弟. 用灰色关联系数法对苜蓿品种生产性能综合评价[J]. 草业科学, 2004, 21(3): 26-29
- [15] Kilica. Silage feed[M]. Izmir, Turkey: Bilgehan Press, 1986
- [16] Henderson A R, Anderson D H, Neilson D, *et al.* The effect of a high rate of application of formic acid during ensilage of ryegrass on silage dry matter intake of sheep and cattle [J]. *Animal Production*, 1989, 48(3): 663-664
- [17] McDonald P, Henderson A R, Herson S J E. The biochemistry of silage [M]. 2nd edition. Marlow: Chalcombe Publisher, 1991
- [18] Fairbairn R, Alli I, Baker B E. Proteolysis associated with the ensiling of chopped alfalfa [J]. *Journal of Dairy Science*, 1998, 71(1): 152-158
- [19] Castle M E, Watson J N. Silage and milk production: Studies with molasses and formic acid as additives for grass silage [J]. *Grass and Forage Science*, 1985, 40(1): 85-92
- [20] Ziaei N, Molaei S. Evaluation of nutrient digestibility of wet tomato pomace ensiled with wheat straw compared to alfalfa hay in Kermani sheep [J]. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2010, 9(4): 771-773
- [21] 郭金双, 赵广永, 冯仰廉, 等. 甲酸对大麦青贮品质及中酸性洗涤剂纤维瘤胃降解率的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2000, 30(6): 21-22
- [22] Bolsen K K, Ashbell G, Weinberg Z G. Silage fermentation and silage additives: Review [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 1996, 9(5): 483-493
- [23] Lima R, Lourenc O M, Díaz R F, *et al.* Effect of combined ensiling of sorghum and soybean with or without molasses and lactobacilli on silage quality and *in vitro* rumen fermentation [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2010, 155(2/4): 122-131
- [24] Repetto J L, Echarri V, Aguerrel M, *et al.* Use of fresh cheese whey as an additive for Lucerne silages: Effects on chemical composition, conservation quality and ruminal degradation of cell walls [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 170(3/4): 160-164
- [25] Bakkena A K, Randbyb Å T, Udénc P. Changes in fiber content and degradability during preservation of grass-clover crops [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 168(1/2): 122-130

(责任编辑 李美娟)

(上接 621 页)

(责任编辑 李美娟)