

# 饲草高粱杂交种产量稳定性分析

王艳秋<sup>1</sup>, 邹剑秋<sup>1</sup>, 黄瑞冬<sup>2</sup>, 张志鹏<sup>1</sup>

(1. 辽宁省农业科学院 高粱研究所, 辽宁 沈阳 110161; 2. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110161)

**摘要:**利用一年多点方差分析模型、多年多点品种试验统计模型、Eberhart-Russell 模型, 对 2004—2005 年 2 年国家高粱区域试验( 饲草组) 高粱杂交种产量进行稳定性和适应性分析, 结果表明, 这三种模型分析方法的结果基本一致, 得出参试品种晋草 3 号是稳定性最好, 产量最高的品种, 晋草 2 号是稳定性较好, 产量较高的品种, 可以在全国种植饲草地区推广种植。辽草 2 号和皖草 2 号需要在特定的环境下推广种植, 有一定的局限性。

**关键词:**饲草高粱; 产量; 稳定性; 统计分析模型

中图分类号: S514. 035. 1 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091( 2008) 增刊- 0156- 06

## Analysis on Yield Stability of Forage Sorghum Hybrid

WANG Yan- qiu<sup>1</sup>, ZOU Jian- qiu<sup>1</sup>, HUANG Rui- dong<sup>2</sup>, ZHANG Zhi- peng<sup>1</sup>

( 1. Sorghum Research Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China;

2. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** Three statistical analysis models( ANOVA model for one year and multi- sites, variety test statistical model of multi- years and multi- sites, Eberhart-Russell model) were applied in this study to analyze the yield stability and adaptability of forage sorghum hybrids that participated in the national sorghum regional test( 2004—2005) . Results suggested that the analysis results from the above three models are coherent; Jincao No. 3 is the hybrid with highest stability and yield, Jincao No. 2 is the second one, and these two hybrids are suitable to all forage planting regions in the country; Liaocao No. 2 and Wancao No. 2 need to be planted in certain regions according to their limited adaptabilities.

**Key words:** Forage sorghum; Yield; Stability; Statistical analysis model

饲草高粱一般是指原产于非洲北部的禾本科高粱属[ *Sorghum bicolor* ( L. ) Moench] 苏丹草而言<sup>[1]</sup>。本研究的饲草高粱则是指以苏丹草及其近缘系为父本, 以常规不育系为母本育成的杂交种。饲草高粱属高光效 C<sub>4</sub> 作物, 再生能力强, 生物产量高。在我国北方, 一年可刈割 2~ 3 次, 在南方可刈割 4~ 5 次。一般产鲜茎叶 90~ 120 t/hm<sup>2</sup>; 随着刈割次数的增加, 最高可达 225 t/hm<sup>2</sup> 以上。饲草高粱杂交种是利用远缘杂交的种间杂种第一代, 所以产量的杂种优势十分显著<sup>[2]</sup>。

饲草高粱杂交种不仅具有强大的茎叶杂种优势和再生能力, 而且抗逆性强、耐瘠薄、适应性广, 鲜草品质好, 适口性佳, 是牛、羊、猪、鹅等家畜及家禽、鱼等的理想青饲、青贮作物<sup>[3]</sup>。随着我国人民生活水平的不断提高, 畜牧业的蓬勃发展, 对饲草的需求量

迅猛增加, 具有超强鲜草生产能力的饲草高粱必将发挥巨大的作用<sup>[4]</sup>。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料来源

试验材料为 2004—2005 年由辽宁省农业科学院高粱研究所( 国家高粱改良中心) 主持的全国高粱品种区域试验饲草组的参试组合。分别为辽草 2 号、晋草 2 号、晋草 3 号、皖草 2 号、甜健宝和 F8386, 其中辽草 2 号、晋草 2 号、晋草 3 号、皖草 2 号为连续 2 年参加试验。

### 1.2 试验地点

饲草高粱组试验地点分布在全国的 14 个省市自治区的 15 个试验点( 表 1)。

收稿日期: 2008- 07- 11

基金项目: 全国农业技术推广服务中心

作者简介: 王艳秋( 1973- ), 女, 辽宁葫芦岛人, 助理研究员, 硕士, 主要从事高粱遗传育种研究。

表 1 2004– 2005 年全国高粱品种区域试验承试单位  
Tab.1 Test sites of national sorghum regional test 2004– 2005

序号 No.	承试单位 Unit name	序号 No.	承试单位 Unit name
1	辽宁省农科院高粱所(沈阳)	2	山西省农科院高粱所(榆次)
3	吉林省农科院作物所(公主岭)	4	黑龙江省农科院作物育种所(哈尔滨)
5	安徽科技学院(凤阳)	6	北京市农林科学院玉米研究中心(北京)
7	德农种业赤峰分公司(赤峰)	8	甘肃省平凉市农科所(平凉)
9	辽宁省朝阳市农业高新技术所(朝阳)	10	湖南省农科院高粱开发中心(长沙)
11	宁夏同心县种子分公司(同心)	12	内蒙古通辽市农科院(通辽)
13	河南省农科院粮作所(郑州)	14	陕西省宝鸡市农科所(宝鸡)
15	新疆华西种业(昌吉)		

1.3 试验设计

田间试验设计采用随机区组设计, 3 次重复, 行长 5 m, 小区面积不少于 15 m<sup>2</sup>。收获时, 去掉两侧边行, 收中间数行计产。

1.4 田间管理

试验地的选择具有一定代表性, 田间管理与生产田水平相当, 各试点均于当地最佳播种期播种, 以各供种单位提供的适宜密度播种, 栽培管理相当于当地一般水平。饲草高粱生物学产量高, 对土壤养分消耗大, 特别是氮肥的消耗量更大, 因此要保证肥料供应, 一般施 300 kg/hm<sup>2</sup> 磷酸二铵、375 kg/hm<sup>2</sup> 尿素, 分作种肥和追肥。

1.5 收获时期

饲草高粱长到 100 cm 高时即可刈割。作鱼类饲草在株高 80~ 100 cm 为好; 作牛羊饲草时, 株高从 100 cm 到抽穗期均可刈割; 作青贮高粱时, 一般应在挑旗期刈割, 此时植株刚过快速生长期, 产量很高, 蛋白质含量也较高。刈割次数因当地无霜期而异。本研究每次刈割时期, 以对照皖草 2 号抽穗期为准, 割后留茬高度 15~ 20 cm。

1.6 试验方法

数据分析采用 Excel 和唐启义, 冯明光<sup>[5]</sup>DPS 数据处理系统的统计方法。

2 结果与分析

2.1 饲草高粱品种产量的联合方差分析

作物品种的区域试验需要研究的主要效应有:

①品种效应, 即品种的产量或品质的效应值, 因区域试验中供试品种产量是一定的, 故品种效应值是固定型效应。②地区效应, 即地区之间土壤类型、耕作制度、生产水平和管理方法等可以预见的环境差异对品种的影响效应, 一般地区效应也是固定型效应。③年际效应, 即不同年份的温度、降雨量、日照时数等难以预测的随机性环境差异对品种的影响, 为随机型效应。④品种与地区的互作效应, 即研究品种对于可预知的环境差异是否具有特殊的适应性, 一般也是固定型效应。⑤品种与年际的互作效应, 即研究品种对于不可预知的环境差异是否具有特殊的适应性, 为随机型效应。⑥品种、地点、年际的互作效应, 即研究品种与地点的互作效应是否随难以预知的环境变化而改变, 为随机型效应<sup>[6-8]</sup>。为了弄清各试验地点不同饲草高粱品种产量差异以及差异的具体来源, 对各试验点不同高粱品种的产量进行了联合方差分析。即分别对 2004 年一年多点(图 1、表 2) 和 2005 年一年多点(图 2、表 3) 以及 2004– 2005 年多年多点(表 4) 试验进行方差分析。

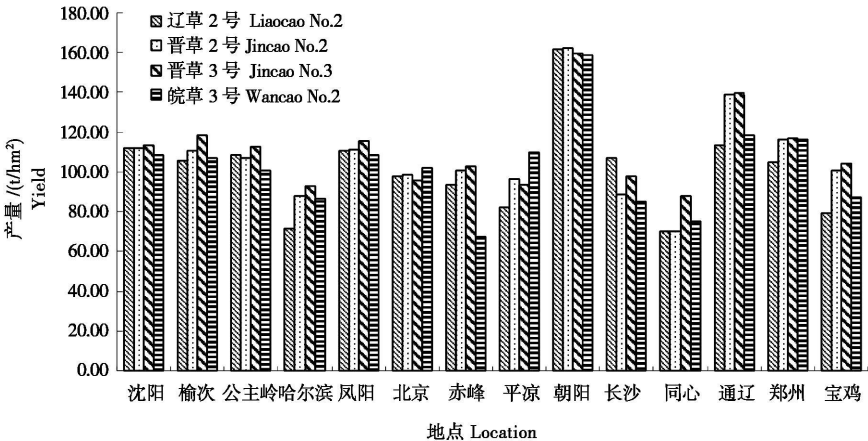


图 1 2004 年各杂交种在不同地区产量表现趋势图

Fig.1 Yield trend of sorghum hybrids tested in different regions in 2004

表 2 2004 年多点方差分析  
Tab. 2 The ANOVA of 2004 in different sites

变异来源 Variation sources	DF	SS	MS	F
地点内区组 Block	28	3 359. 58	119. 99	1. 37
地点 Location	13	67 603. 82	5 200. 29	59. 59 <sup>**</sup>
品种 Variety	3	2 466. 72	822. 24	9. 42 <sup>**</sup>
品种×地点 Variety×Location	39	7 310. 12	187. 44	3. 75 <sup>**</sup>
试验误差 Error	84	7 330. 70	87. 27	
总变异 Total	167	88 070. 95		

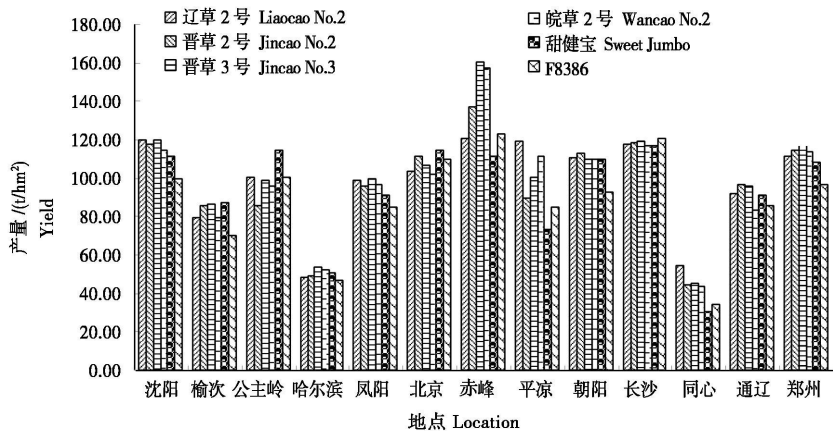


图 2 2005 年各杂交种在不同地区产量表现趋势图  
Fig. 2 Yield trend of sorghum hybrids tested in different regions in 2005

表 3 2005 年多点方差分析  
Tab. 3 The ANOVA of 2005 in different sites

变异来源 Variation sources	DF	SS	MS	F
地点内区组 Block	26	7 742. 46	297. 79	1. 76
地点 Location	12	147 195. 05	12 266. 25	163. 09 <sup>**</sup>
品种 Variety	5	4 470. 04	894. 01	11. 89 <sup>**</sup>
品种×地点 Variety×Location	60	14 317. 14	238. 62	3. 17 <sup>**</sup>
试验误差 Error	130	9 777. 72	75. 21	
总变异 Total variation	233	183 502. 41		

表 4 2004–2005 年饲草高粱品种产量的联合方差分析  
Tab. 4 The ANOVA of forage sorghum yield in 2004–2005

变异来源 Variation sources	DF	SS	MS	F
点内年内区组间 Block	52	7 372. 15	141. 77	
年份间 Year	1	4 235. 91	4 235. 91	48. 43 <sup>**</sup>
地点间 Location	12	112 008. 86	9 334. 07	1. 93 <sup>*</sup>
品种间 Variety	3	1 931. 53	643. 84	3. 74 <sup>**</sup>
地点×年份 Location×Year	12	58 135. 03	4 844. 59	55. 39 <sup>**</sup>
品种×年份 Variety×Year	3	515. 89	171. 96	1. 97 <sup>*</sup>
地点×品种 Location×Variety	36	5 884. 92	163. 47	4. 13 <sup>**</sup>
地点×品种×年份 Location×Variety×Year	36	7 186. 20	199. 62	2. 28 <sup>*</sup>
误差 Error	156	13 644. 46	87. 46	
总变异 Total variation	311	210 914. 94		

从表 2、表 3 的一年多点方差分析结果可见,地点和品种间的产量差异达到了极显著水平,品种×地点交互作用的 F 测验值达到了极显著水平,说明不同的饲草高粱杂交种在不同地区的表现有较大差异。因此对品种的稳定性分析很有必要。从图 1、2 可以看出,各参试杂交种在不同地区产量表现不同,在各试点的产量有一定变幅,产量表现不稳定。其

中宁夏同心试点 2 年的产量均较低,2004 年赤峰试点的皖草 2 号产量偏低,2005 年产量偏高,受环境的影响较大,产量表现不稳定,说明因当年的气候条件等自然因素和栽培管理等措施影响了皖草 2 号的产量表现;2004 年辽草 2 号在哈尔滨、平凉、郑州试点产量最低,2005 年在平凉试点产量最高,在哈尔滨与对照皖草 2 号持平,说明辽草 2 号也是受环境

影响较大, 产量表现不稳定, 需要在特定的环境下推广种植; 2005 年甜健宝和 F8386 的产量较低。本试验综合 2004, 2005 年产量的稳定性及产量表现可以看出, 晋草 3 号是稳定性最好, 产量最高的品种, 晋草 2 号是稳定性较好, 产量较高的品种, 可以在全国种植饲草地区推广。辽草 2 号和皖草 2 号需要在特定的环境下推广种植, 有一定的局限性。

由表 4 可得, 不同高粱品种的产量差异达到了极显著; 不同年份间的产量差异也达到极显著, 地点的产量差异达显著水平; 品种与年份间的产量互作差异达显著水平; 地点与品种间的互作达到了极显著水平; 地点与年份间的产量互作差异达到了极显著水平; 不同品种、不同地点、不同年份的产量互作差异显著。可见, 各试验点饲草高粱杂交种的产量差异并不仅仅受遗传差异影响, 环境差异的影响也较大, 是一个比较复杂的相互作用过程。

2.2 饲草高粱品种间产量差异比较

2.2.1 饲草高粱品种间产量的新复极差测验 品种间的产量表现存在较大差异。从表 5 可以看出, 产量由高到低依次为: 晋草 3 号、晋草 2 号、皖草 2 号、辽草 2 号。产量最高的晋草 3 号与其他品种的产量差异都达到了极显著水平; 其他品种的产量与对照皖草 2 号的差异均未达显著水平。

2.2.2 各试验点间的产量差异比较 从表 6 可以看出, 各试验点间的产量表现从高到低顺序为: 朝阳高新技术研究所、德农种业赤峰分公司、河南省农科院、辽宁省农科院、通辽市农科院、湖南省农科院、安徽科技学院、北京农林科学院、吉林省农科院、平凉市农科所、山西省农科院、黑龙江省农科院、宁夏同心县种子分公司, 试点间产量差异较大, 极差为 74.27

t/hm<sup>2</sup>。而且各试点小区平均产量在年际间表现不一致(图 3), 其中黑龙江省农科院、朝阳高新技术研究所、宁夏同心县种子分公司和通辽市农科院 2004 年小区平均产量明显高于 2005 年; 其他试点 2 年小区产量基本持平。各试点在年际间产量差异显著的为德农种业赤峰分公司和朝阳高新技术研究所, 说明不同年份间各品种的产量差异受品种本身的遗传特性和环境共同作用的结果。

表 5 2004- 2005 年各试验品种产量差异显著性测验

Tab. 5 Significance of difference test of sorghum yield in 2004- 2005			
处理 Treatments	产量均值 (t/hm <sup>2</sup> ) Average yield	5% 显著水平 Significance at 5% level	1% 极显著水平 Significance at 1% level
晋草 3 号 Jincao No. 3	106. 81	a	A
晋草 2 号 Jincao No. 2	102. 28	b	B
皖草 2 号 Wancao No. 2	100. 85	b	B
辽草 2 号 Liaocao No. 2	100. 62	b	B

表 6 2004- 2005 年各试点间产量显著性测验

Tab. 6 Significance test of different test sites in 2004- 2005			
处理 Treatments	产量均值 (t/hm <sup>2</sup> ) Average yield	5% 显著水平 Significance at 5% level	1% 极显著水平 Significance at 1% level
朝阳 Chaoyang	135. 58	A	A
赤峰 Chifeng	117. 51	B	B
郑州 Zhengzhou	115. 99	B	B
沈阳 Shenyang	114. 84	bc	B
通辽 Tongliao	109. 88	cd	BC
长沙 Changsha	106. 37	de	CD
凤阳 Fengyang	104. 79	de	CDE
北京 Beijing	102. 17	ef	CDE
公主岭 Gongzhuling	101. 17	ef	DE
平凉 Pingliang	100. 37	ef	DE
榆次 Yuci	96. 49	f	E
哈尔滨 Haerbin	67. 86	g	F
同心 Tongxin	61. 31	h	F

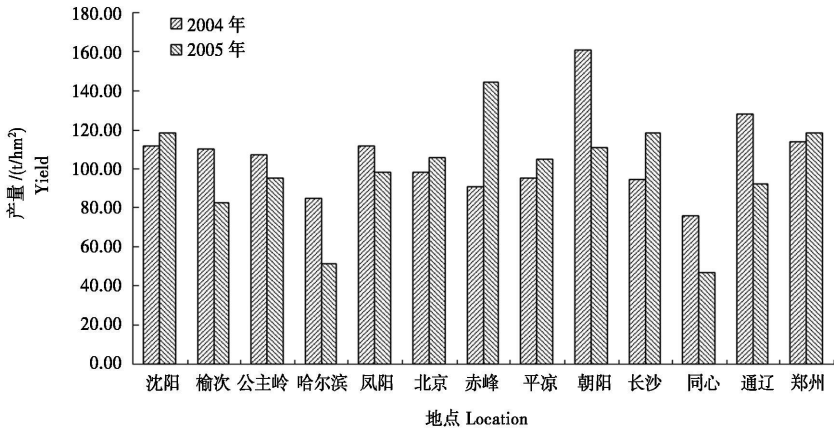


图 3 各试验地点间不同年份产量比较

Fig. 3 Yield comparison of different test sites in different year

2.2.3 品种×年份平均产量差异比较 从图 4 看, 整体上 2004 年各品种的平均产量高于 2005 年, 这

可能是因为 2004 年温光条件更适合高粱的生长, 其中晋草 2 号 2 年的产量差异显著, 晋草 3 号连续 2

年的产量均最高,说明晋草 3 号丰产性好,对年份间的差异表现不敏感,稳定性好。

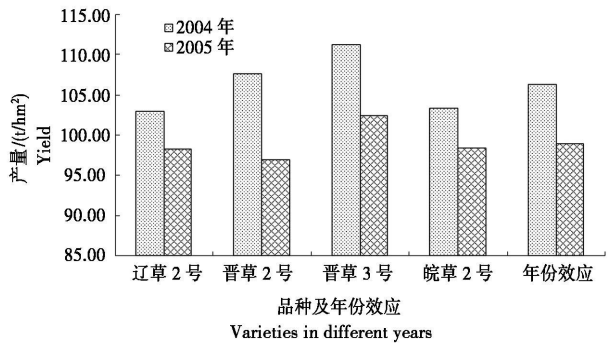


图 4 不同品种不同年份平均产量差异比较

Fig. 4 Yield comparison of different varieties in different years

综合以上一年多点和多年多点的方差分析结果可以看出,品种×地点交互作用的 F 测验,2 年都达到了极显著水平,说明不同的饲草高粱杂交种在不同地区的表现有较大差异。因此,对品种的稳定性进行评价很有必要。从图 1, 2 的趋势也可以看出,各参试杂交种在不同的地区产量表现不同,其中以宁夏同心产量最低,辽宁朝阳和甘肃平凉表现最好。以上结果说明各品种本身的遗传差异与环境适应性共同决定品种的产量。

2.3 饲草高粱产量稳定性的线性回归分析

在实际育种和品种推广工作中,往往要知道一个品种在不同的环境条件下的表现趋势。因此,Finlay 和 Wilkinson 提出利用回归系数评价品种的稳定性,该方法采用每一地区所有品种的平均产量作为该地区的产量指数,然后计算每一品种的平均产量回归于地区产量指数的回归系数  $b_i$ 。评价标准为:稳定性参数  $b_i$  值越小,表明品种产量受环境改变产生的变化幅度小,品种稳定性好; $b_i$  值越大,表明品种产量因环境的改变会产生较大幅度的变化,品种稳定性差<sup>[9]</sup>。Eberhart 和 Russell 提出的两个参数,即回归系数  $b_i$  和回归离差  $S^2d_i$ ,用来测定品种的稳定性和适应性。回归离差方差( $S^2d_i$ )是用来衡量回归系数( $b_i$ )准确程度的, $S^2d_i$  值越大,表明品种受不可预测的环境变异的影响越大,由回归系数  $b_i$  估测品种稳定性的准确度越低;反之  $S^2d_i$  值越小,则品种受不可预测的环境变异的影响越小,由回归系数  $b_i$  估测稳定性的准确度就越高<sup>[10]</sup>。Eberhart 和 Russell 对这一观点进行了发展,一个具有广泛适应性的品种,在各种不同环境下都能高产,因此,要求  $b_i=1, S^2d_i=0$ 。实际上这种情况是不多见的<sup>[11]</sup>。

从表 7 可以看出,晋草 3 号  $b_i$  值和  $S^2d_i$  值最小,稳定性最好,晋草 2 号  $b_i$  值较小, $S^2d_i$  值也较小,稳定性较好,结合其产量表现,晋草 3 号是稳定性最

好,产量最高的品种。辽草 2 号和皖草 2 号对环境反应敏感,适宜在一定的区域范围内进行推广种植。

表 7 2004 年 4 个杂交种的平均产量、变异系数、 $b_i$  和  $S^2d_i$

Tab. 7 The average yield, CV,  $b_i$  and  $S^2d_i$  of 4 sorghum hybrids in 2004

品 种 Variety	平均产量 /( t/hm <sup>2</sup> ) Average yield	变异系数 / % CV	$b_i$	$S^2d_i$
辽草 2 号 Liaocao No. 2	101. 31	22. 74	1. 04	35. 90
晋草 2 号 Jincao No. 2	107. 19	20. 94	1. 02	- 2. 26
晋草 3 号 Jincao No. 3	110. 76	17. 70	0. 91	- 3. 78
皖草 2 号 Wancao No. 2	102. 22	21. 93	0. 99	51. 08

从表 8 可以看出,晋草 3 号的  $b_i$  值最小, $S^2d_i$  值也最小,说明晋草 3 号在不同环境条件下稳定性好。甜健宝和皖草 2 号的  $b_i$  值大, $S^2d_i$  值也大,说明它们对环境条件变化反应较大,对环境反应敏感,适宜在一定的区域范围内推广种植。

表 8 2005 年 6 个杂交种的平均产量、变异系数、 $b_i$  和  $S^2d_i$

Tab. 8 The average yield, CV,  $b_i$  and  $S^2d_i$  of 6 sorghum hybrids in 2005

品 种 Variety	平均产量 /( t/hm <sup>2</sup> ) Average yield	变异系数 / % CV	$b_i$	$S^2d_i$
辽草 2 号 Liaocao No. 2	98. 25	24. 57	0. 96	44. 56
晋草 2 号 Jincao No. 2	96. 88	27. 66	1. 01	26. 28
晋草 3 号 Jincao No. 3	102. 36	29. 51	0. 87	20. 33
皖草 2 号 Wancao No. 2	98. 33	29. 93	1. 09	44. 83
甜健宝 Sweet Jumbo	93. 06	29. 10	1. 12	107. 73
F8386	88. 61	29. 31	0. 94	31. 19

3 结论与讨论

3.1 统计分析模型选择

本试验利用一年多点方差分析模型、多年多点品种试验统计模型、Eberhart-Russell 模型,通过对 2004- 2005 年饲草高粱杂交种产量稳定性和适应性分析,研究表明这三种模型分析方法的结果基本一致。

有效的分析方法也要依赖于原始数据的正确性,因此在区试过程中应严格控制试验因素外的其他人为因素,使其他因素对各处理的影响尽量做到一致,以便获得精确的试验结果,保证统计分析方法的有效性<sup>[12]</sup>。

3.2 试验品种鉴定

分析结果表明,地点和品种间的产量差异达到了极显著水平,品种×地点交互作用的 F 测验值达到了极显著水平,不同高粱品种的产量差异达到了极显著;不同年份间的产量差异也达到极显著;品种与年份间的产量互作差异达显著水平;地点与品种间的互作达到了极显著水平;地点与年份间的产量互作差异达到了极显著水平;不同品种、不同地点、不同年份的产量互作差异显著。说明不同的饲草高

梁杂交种在不同地区的表现有较大差异。

综合 2004、2005 年产量的稳定性及产量表现可以得出, 晋草 3 号是稳定性最好, 产量最高的品种, 晋草 2 号是稳定性较好, 产量较高的品种, 可以在全国种植饲草地区推广种植。辽草 2 号和皖草 2 号需要在特定的环境下推广种植, 有一定的局限性。

### 3.3 对育种工作的指导作用

本试验采用不同品种在不同地点、不同年份的产量及产量性状表现, 其结果反映出不同基因型在不同环境下的特殊表现。所以在饲草高粱育种中很有必要在不同环境下加强选择。

综合本试验对 2004– 2005 年饲草区试品种产量情况和地点选择情况的分析, 针对我国目前饲草高粱状况, 我们应该从育种和栽培角度来解决高粱的生产问题。从育种角度来看, 综合考虑各种影响饲草高粱产量的因素, 如株高、分蘖、再生性、茎叶比等, 以便育成高产、优质的饲草高粱品种。由于不同品种的适应性不同, 推广范围也必然存在差异, 因此, 在育种上要努力拓宽种质资源, 积极引进利用多种类型的优质资源, 从而扩大饲草高粱适应性和育种水平。从栽培角度来看, 不同基因型在不同环境下具有不同的表现, 因此, 要在不同地区选择不同品种进行推广。由于影响饲草高粱产量和品质的因素很多, 且相互之间存在互作, 因此, 在品种推广的同时, 要有相应的高产、优质配套技术, 如刈割株高、刈

割次数、栽培密度等。

### 参考文献:

[1] 卢庆善. 高粱学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.

[2] 卢庆善, 孙 毅. 杂交高粱遗传改良[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.

[3] 詹秋文, 林 平, 李 军, 等. 高粱– 苏丹草杂交种研究与利用前景[J]. 草业学报, 2001, 10(2): 56– 58.

[4] 詹秋文, 钱章强. 高粱– 苏丹草杂交种的选育和利用[J]. 种子, 1996, 6(86): 12– 14.

[5] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[6] 翟婉萱. 农业试验统计-BASIC 程序[M]. 辽宁农业科学技术出版社, 1987.

[7] 张德全, 胡秉明. 农业试验统计模型和 BASIC 程序[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1984: 282– 302.

[8] 樊龙江. 作物区域试验点分辨力估算方法的比较[J]. 生物数学学报, 2000, 15(2): 175– 179.

[9] Finlay, Wilkinson. The analysis of adaptation in a plant breeding programme, Aust[J]. Agric Res, 1963, 14(6): 742– 754.

[10] Eberhart S A, Ressel W A. Stability parameters for comparing varieties[J]. Crop Sci, 1966(6): 36– 40.

[11] 陆昌华, 刘 燕. 遗传型品种稳定性分析及其在区试中的应用[J]. 江苏农业科学, 1983(10): 22– 27.

[12] 张群远, 孔繁玲, 葛知男, 等. 作物品种区域试验的试验精确度和品种比较精确度[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 266– 271.