

## 华北平原夏玉米氮利用效率的遗传参数估计

黎亮<sup>1,2</sup> C. Friedrich H. Longin<sup>3</sup> 孙文涛<sup>1</sup> Albrecht E. Melchinger<sup>3</sup> 陈绍江<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业大学 国家玉米改良中心, 北京 100094; 2. 北京市作物遗传改良重点实验室, 北京 100094;  
3. 霍恩海姆大学 植物育种与种子科学及群体遗传学研究所, 德国 斯图加特 70593)

**摘要** 为研究玉米品种氮利用效率相关性状的遗传参数,本试验选择 20 个具不同氮利用效率的单交种在华北平原的 2 个地点同期进行试验,氮肥处理设高氮(施氮,折合纯氮 225 kg/hm<sup>2</sup>)和低氮(不施氮,其地块经过连续 2 年耕种使氮素耗竭)2 个水平。试验结果表明,供试品种在低氮水平下的平均产量比高氮降低了 22.6%,从 8.45 t/hm<sup>2</sup> 降低到 6.45 t/hm<sup>2</sup>,穗粒数减少幅度较大为 17.12%;而千粒重、出籽率、干物质含量、株穗率、籽粒含油率、籽粒蛋白质和淀粉含量在 2 个氮水平下的平均表现相近。2 个试验点的联合方差分析表明,以上大部分籽粒性状的遗传方差在 2 个氮水平下均达到显著水平;所有性状的基因型 × 氮的互作方差都不显著。在 2 种氮水平下,籽粒淀粉含量与籽粒含油率及籽粒蛋白质含量间都表现出显著负相关,籽粒含油率与蛋白质含量表现出较弱的正相关。高氮和低氮水平下的产量表型相关系数为 0.759,表明可以在高氮水平进行氮高效品种的筛选。

**关键词** 玉米;杂交种;产量;氮利用效率;遗传参数;籽粒品质

中图分类号 S 330.25; S 513

文章编号 1007-4333(2007)06-0050-07

文献标识码 A

## Estimation of quantitative genetic parameters for improving nitrogen use efficiency in North China summer maize

Li Liang<sup>1,2</sup>, C. Friedrich H. Longin<sup>3</sup>, Sun Wentao<sup>1</sup>,  
Albrecht E. Melchinger<sup>3</sup>, Chen Shaojiang<sup>1,2</sup>

(1. National Maize Improvement Center of China, China Agricultural University, Beijing 100094, China;  
2. Beijing Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Beijing 100094, China; 3. Institute of Plant Breeding,  
Seed Science and Population Genetics, University of Hohenheim, Stuttgart 70593, Germany)

**Abstract** To estimate the quantitative genetic parameters of nitrogen use efficiency, twenty maize single-cross hybrids with varying nitrogen use efficiency were tested at two locations in the North China Plain. At both locations, the hybrids were grown under high (HN, 225 kg/hm<sup>2</sup> N) and low (LN) N levels. And no N fertilization on the LN field have lasted two years. For LN compared to HN, average grain yield was reduced from 8.45 to 6.45 t/hm<sup>2</sup>, which was mainly due to a reduced number of kernels per ear by 17.12%. Average values of thousand kernel weight, grain dry matter content, grain content, number of ears per plant, grain oil content, grain protein content and grain starch content were similar at both nitrogen levels. In the combined analyses across locations, genotypic variances were significant for most traits at both nitrogen levels. But the genotype × nitrogen variance interactions were not significant for all traits. Under both nitrogen levels, grain starch content and oil content showed close negative correlations, whereas grain oil content and grain protein content showed an intermediate positive correlation. The phenotypic correlation for grain yield between HN and LN levels was 0.759. This indicated that selection for variety with high nitrogen use efficiency could be conducted under HN condition.

**Key words** maize; hybrid; yield; nitrogen use efficiency; genetic parameters; grain quality

我国玉米生产中氮肥施用量持续增加,氮利用效率(NUE)总体低下,导致环境污染严重,造成农民

收稿日期: 2007-04-30

基金项目: 教育部中德教育研究项目资助

作者简介: 黎亮, 博士研究生, E-mail: liliang88@126.com; 陈绍江, 教授, 博士生导师, 通讯作者, 主要从事玉米遗传育种研究,  
E-mail: shaoj@cau.edu.cn

经济损失。目前的 NUE 平均在 33% 以下<sup>[1]</sup>, 因此提高 NUE 非常迫切, 其中通过遗传改良选育氮高效品种能减少氮肥施用量, 具有显著的经济效益和生态效益, 已渐成为新的育种方向。国内外对玉米种质进行了大量研究<sup>[27]</sup>, 其结果表明在 NUE 方面存在很大遗传差异, 同时也显示了氮高效育种的可能性。

由于玉米育种周期一般需要 6~10 年且需要大量投入, 因此, 通过遗传改良选育氮高效利用品种显得非常重要。在我国, 玉米品种的鉴定一般在肥水充足的条件下进行, 以便选育高氮 (HN) 条件下产量高的品种。在氮高效育种中, 选育 HN 条件下氮高效的品种与低氮 (LN) 条件下氮高效的品种所需的育种策略是否一致尚无定论。为了选择合适的育种策略, 有必要对相关性状的遗传参数进行分析。

到目前, 利用国内玉米种质进行评价并估计遗传参数鲜有报道。本试验旨在研究玉米氮利用效率相关性状的遗传参数, 以便为氮高效育种的选择提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与试验设计

选择 20 个适合于华北平原种植的夏玉米单交种, 其中包括高油品种和生产上的主栽普通品种。试验于 2005 年夏季和 2006 年夏季在中国农业大学河北吴桥和曲周实验站进行, 前者位于河北沧州吴桥县境内, 后者位于河北省邯郸市东北部的曲周县境内, 2 实验站地处黄淮海夏玉米种植区, 土壤为冲积型盐化潮土, 在黄淮海平原具有很好的代表性。

供试材料分别在每个试验点的 HN 和 LN 地块中进行鉴定, 其土壤无机氮含量见表 1。其中施氮

表 1 吴桥和曲周试验站供试土壤无机氮含量

Table 1  $N_{min}$  content in experiment soil in Wuqiao and Quzhou  $kg/hm^2$

土层深度/ cm	吴桥		曲周	
	高氮地	低氮地	高氮地	低氮地
0~20	83.01	45.59	64.58	48.90
20~40	30.59	19.77	43.48	32.45
40~60	32.66	19.29	49.45	20.53

处理在 HN 地块进行, 施氮 (折合纯氮)  $225 kg/hm^2$ ; 不施氮处理在 LN 地块上进行。除氮肥外 2 地块其他施肥处理和田间管理措施相同, 夏玉米后种植冬小麦, 施肥处理和夏玉米相同。完全随机区组设计,

3 个重复。试验小区长 5 m, 宽 2.4 m。每小区 4 行, 行距 60 cm, 株距 25 cm, 种植密度  $6 \times 10^4$  株/ $hm^2$ 。

### 1.2 性状测定

为防止花粉直感的影响, 散粉时在每小区边行随机选取 5 穗进行自交, 用于品质性状的测定。成熟后取中间 2 行收获测产。每小区田间收获称质量为鲜重, 从中挑选具有代表性的 10 穗进行脱粒, 分别称其籽粒质量和穗总质量, 二者比值为出籽率。将脱粒后的籽粒称 200 g 放入烘箱烘至恒重 (95 °C 下烘 48 h); 脱粒后 1 000 粒籽粒的质量为干粒湿重, 烘干后的质量为干粒重; 穗粒数 = 10 穗籽粒鲜重 / 干粒湿重  $\times 1 000$ ; 产量的计算换算为  $hm^2$  产量, 鲜籽粒含水率折合为 15.5%, 其计算公式为: 产量 = 鲜重  $\times$  出籽率  $\times$  干鲜物质质量比  $\times (1 + 15.5\%)$ 。每小区取具有代表性的 5 穗测定穗长、穗粗、穗行数, 测定方法与常规方法相同, 计算时采用小区测定的平均值。以上测定项目均在收获后 2 d 内进行。株高与穗位的测定同常规方法。

将每小区自交穗风干后分穗脱粒。采用 VECTOR/22N 近红外反射光谱仪 (德国 BRUKER 公司产) 测定籽粒含油率、蛋白质和淀粉含量, 结果以干基 (质量分数, %) 表示。

### 1.3 统计分析

由于 2005 年 HN 和 LN 地块的产量差异不显著 (结果未示), 因此只采用 2006 年的数据进行统计分析。数据统计分析采用 FLABSTAT<sup>[8]</sup> 软件进行, 其中缺区数据采用 Henderson<sup>[9]</sup> 方法 1 矫正平均数后再进行方差组分的估计。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮水平下各品种的产量变化

同一施氮水平下, 不同品种间的产量差异反映出 NUE 的差异。由表 2 看出, 在 LN 水平下, 各品种的产量均有较大幅度的降低, 其中降低幅度最大的是 ND615, 为 30.34%, 降低幅度最小的是 ND696, 为 14.38%。根据刘建安<sup>[5]</sup> 等的划分标准, 依据不同品种对氮肥的响应程度将参试品种分为 3 种类型, 可以看出双高效型 (在低氮和高氮水平下都表现很好的品种) 和双低效型 (在高氮和低氮水平下都表现较差的品种) 品种占了大多数, 没有筛选到高氮高效型 (在高氮下表现很好而在低氮下表现很差的品种) 品种。其中双高效型品种包括 ND169A、ND169B、ND696、ND236、ND62 和 ZD958; 低氮高效型品种包括

表2 高氮和低氮水平下不同品种玉米产量的平均表现(2006年)

Table 2 Effects of maize genotypes on yield under high nitrogen (HN) and low nitrogen (LN) levels in 2006

玉米品种	高氮 (HN)		低氮 (LN)		产量差异/%	玉米品种	高氮 (HN)		低氮 (LN)		产量差异/%
	产量/(t/hm <sup>2</sup> )	排名	产量/(t/hm <sup>2</sup> )	排名			产量/(t/hm <sup>2</sup> )	排名	产量/(t/hm <sup>2</sup> )	排名	
ND169A	9.84	2	6.93	5	29.57	ND6521	8.42	9	6.98	4	17.10
ND169B	9.16	3	6.82	7	25.55	ND6528	8.20	12	6.11	15	25.49
ND696	9.11	4	7.80	1	14.38	ND685	7.57	20	5.86	17	22.59
ND168	8.14	13	6.10	16	25.06	ND615	7.58	19	5.28	20	30.34
ND5580	8.44	8	6.64	10	21.33	ND236	9.88	1	7.46	2	24.49
ND648	7.99	15	6.63	11	17.02	ND62	9.08	5	7.38	3	18.72
ND673	8.07	14	6.68	8	17.22	LD9002	8.26	11	6.64	9	19.61
ND689	7.84	17	6.57	12	16.20	LD981	8.57	7	6.57	13	23.34
ND5598	8.27	10	5.81	18	29.75	ND108	7.71	18	6.20	14	19.58
ND669B	7.87	16	5.52	19	29.86	ZD958	8.91	6	6.87	6	22.90

注:产量差异 = ((高氮产量-低氮产量)/高氮产量) × 100%;下同。

ND5580、ND648、ND673、ND689、ND6521、LD9002 和 LD981;双低效型品种有 ND168、ND5598、ND669B、ND6528、ND685 和 ND108。

## 2.2 低氮对各性状的影响

由表3可见, LN水平下吴桥的产量为6.73 t/hm<sup>2</sup>,比HN水平降低了24.47%;曲周实验点LN水

平下的产量降低了20.30%,下降幅度略低于吴桥。这和土壤中无机氮量的变化趋势比较吻合(表1),可以看出,产量的变化主要是由于土壤含氮量的变化引起的。

随着施氮水平的降低,不同性状的变化情况也不尽相同(表3)。不同杂交种的平均产量在2种施

表3 2试验点高氮和低氮水平下玉米各性状的表现(2006年)

Table 3 Different performances of different traits under high (HN) and low nitrogen (LN) levels across two locations in 2006

性状	吴桥站			曲周站			平均差异/%
	高氮 (HN)	低氮 (LN)	差异/%	高氮 (HN)	低氮 (LN)	差异/%	
鲜重/kg	16.51	12.64	23.44	14.49	11.59	20.01	21.81
出籽率/%	74.95	73.97	1.31	73.05	72.87	0.25	0.78
干物质质量分数/%	62.32	62.14	0.29	65.27	65.03	0.37	0.34
产量/(t/hm <sup>2</sup> )	8.91	6.73	24.47	7.98	6.36	20.30	22.60
千粒重/g	265.41	247.48	6.76	278.13	268.97	3.29	4.99
穗粒数	437.65	347.30	20.64	376.48	327.46	13.02	17.12
株高/cm	265.42	247.88	6.61	243.61	232.00	4.77	5.72
穗位高/cm	110.61	101.29	8.43	107.99	102.67	4.93	6.70
株穗率/%	0.99	0.98	1.01	0.95	0.94	1.05	1.03
穗长/cm	16.81	16.15	3.93	17.84	16.68	6.50	5.20
穗粗/cm	4.86	4.68	3.70	4.93	4.73	4.06	3.88
穗行数	14.69	14.19	3.40	13.99	13.50	3.5	3.42
籽粒含油率/%	4.61	4.80	-4.12	5.78	5.77	0.17	-1.93
籽粒蛋白质质量分数/%	11.15	10.27	7.89	10.67	9.98	6.47	7.24
籽粒淀粉质量分数/%	69.10	69.85	-1.09	67.73	68.66	-1.37	-1.24

氮水平下存在显著差异,其中HN水平下的产量为8.45 t/hm<sup>2</sup>,LN水平下的产量为6.54 t/hm<sup>2</sup>,减产22.6%。从产量相关性状的分析表明, LN水平下穗

粒数的降低(17.12%)引起鲜重的降低(21.81%),是产量降低的重要因素;而千粒重只降低了4.99%。在HN和LN水平下出籽率和干物质含量

的变化很小,分别只降低了0.78%和0.34%。

LN水平下不仅穗粒数显著减少,穗长、穗粗、穗行数也有所降低,下降幅度分别为5.20%、3.88%和3.42%;而株穗率下降幅度很小,为1.03%。LN水平下株高降低14.57 cm,穗位高降低7.32 cm,穗位高降低幅度为6.7%,略高于株高(5.72%)。

籽粒品质性状受氮肥水平的影响相对较小, LN水平下籽粒含油率和淀粉含量上升0.18和1.68个百分点,分别提高1.93%和1.24%,但均未达到显著水平;籽粒蛋白含量下降0.79个百分点,下降幅度为7.24%。

### 2.3 遗传方差及遗传力分析

2个试验点的联合方差分析表明,大部分性状的遗传方差在2种氮水平下都达到显著水平,这表明不同品种在2种氮水平下都具有显著的遗传差异性。产量在LN水平下的遗传方差不显著,而在HN水平下达到极显著水平(表4)。在LN水平下鲜重、产量、穗长各性状的遗传方差比HN水平下要小,其中产量的遗传方差在HN水平下为0.37,约为LN水平的2倍,干物质含量的变化趋势则相反;其余性状的遗传方差在2种施氮水平下相差不多。所有性状的基因型 $\times$ 氮的互作方差都不显著(结果未示),其

表4 2试验点高氮和低氮水平下玉米各性状的方差组分及遗传力分析(2006年)

Table 4 Variance components and heritabilities of different traits under two nitrogen levels across two locations in 2006

性状	高氮(HN)			低氮(LN)		
	$V_G$	$V_e$	$h^2$ (CI) / %	$V_G$	$V_e$	$h^2$ (CI) / %
鲜重/kg	0.90**	2.05	85.83(64.31~94.33)	0.09	2.76	11.93(-127.12~66.92)
出籽率/%	6.81**	0.87	95.31(88.40~98.04)	5.68**	4.15	81.49(53.07~92.73)
干物质质量分数/%	3.70**	1.40	92.21(80.54~96.82)	17.65**	0.46	85.86(61.03~95.61)
产量/(t/hm <sup>2</sup> )	0.37**	0.73	79.39(48.00~91.81)	0.17	1.02	28.44(-85.37~73.44)
千粒重/g	375.92**	492.57	75.53(38.09~90.34)	622.88**	428.91	87.23(67.82~94.90)
穗粒数	766.24*	1814.93	48.95(-28.65~79.63)	921.70*	1967.67	61.94(2.16~85.59)
株高/cm	281.69**	124.99	83.28(57.71~93.39)	293.71**	192.72	85.34(62.74~94.28)
穗位高/cm	94.49**	34.77	90.62(76.27~96.29)	78.61**	53.30	93.14(82.73~97.25)
株穗率/%	0.00**	0.00	72.18(29.63~89.00)	0.00	0.01	19.66(-106.65~69.62)
穗长/cm	0.81**	1.27	68.70(20.79~87.64)	0.16	1.15	16.94(-120.23~71.10)
穗粗/cm	0.02*	0.05	54.37(-16.05~82.22)	0.00	0.06	18.40(-123.67~74.23)
穗行数	0.93**	0.76	80.51(50.90~92.21)	0.71**	0.68	74.68(33.14~91.08)
籽粒含油率/%	1.54	0.10	98.89(97.19~99.56)	1.71**	0.09	97.53(93.76~99.02)
籽粒蛋白质质量分数/%	0.12	0.23	44.88(-40.20~78.08)	0.13	0.27	43.10(-44.87~77.88)
籽粒淀粉质量分数/%	2.18**	0.80	90.88(77.11~96.32)	2.73**	0.67	90.30(76.29~95.82)

注: \*为差异间达显著水平( $P < 0.05$ ), \*\*为差异间达极显著水平( $P < 0.01$ );下同。 $V_G$ 为遗传方差, $V_e$ 为误差, $h^2$ 为遗传力,CI为遗传力的置信区间。

中籽粒品质几乎没有互作方差。

从表4可以看出,各性状在2种氮水平下的遗传力变化趋势存在差异。HN下遗传力较高的性状有出籽率、干物质含量、穗位高、籽粒含油率、籽粒淀粉含量,遗传力较低的性状有穗粗、穗粒数;LN水平下遗传力较高的性状有穗位高、籽粒含油率、籽粒淀粉含量,遗传力较低的性状有鲜重、株穗率、穗长。大部分性状在HN水平下的遗传力要高于LN水平下的遗传力,其中产量在HN水平下的遗传力为79.39%,而在LN下的遗传力仅有28.44%。与产量遗传力变化规律类似的性状有鲜重、株穗率、穗长、

穗粗,这主要是由于LN水平下的遗传方差很小造成的;千粒重、穗粒数在LN水平下的遗传力要高于HN。籽粒品质性状在2种氮水平下的遗传力变化不大,HN水平下的遗传力略高于LN的遗传力,其中籽粒含油率、淀粉含量的遗传力很高,籽粒蛋白含量的遗传力很低。

### 2.4 性状间的表型相关性分析

产量与各性状间的相关性存在明显差异(表5)。在HN水平下,除穗粗、穗行数、籽粒含油率、籽粒蛋白含量与产量呈负相关外,其他性状都与产量呈正相关,其中鲜重、出籽率与产量极显著正相关

表5 玉米不同性状在高氮(HN)和低氮(LN)水平下的表型相关<sup>①</sup>  
 Table 5 Phenotypic correlations between different traits under high nitrogen(HN) and low nitrogen(LN) conditions

	鲜重	出籽率	干物质	产量	千粒重	穗粒数	株高	穗位高	株穗率	穗长	穗粗	穗行数	籽粒含油率	籽粒蛋白	籽粒淀粉	
鲜重																
出籽率	0.01															
干物质	-0.20	0.60**														
产量	0.76**	0.61**	0.42													
千粒重	0.39	0.08	0.05	0.37												
穗粒数	0.19	0.38	0.30	0.40	-0.66**											
株高	0.11	-0.20	-0.33	-0.10	-0.40	0.38										
穗位高	0.30	-0.01	-0.41	0.10	-0.38	0.46*	0.88**									
株穗率	-0.30	-0.05	0.19	-0.21	-0.29	0.01	-0.38	-0.33								
穗长	0.21	-0.52**	-0.50*	-0.23	-0.17	0.06	0.59**	0.41	-0.46*							
穗粗	0.05	-0.26	-0.28	-0.17	0.01	-0.07	0.16	0.25	-0.20	-0.06						
穗行数	-0.07	-0.18	-0.14	-0.18	-0.66**	0.45*	0.09	0.28	0.26	0.02	0.47*					
籽粒含油率	-0.13	-0.37	-0.56*	-0.45*	-0.37	0.03	0.65**	0.55*	-0.15	0.50*	0.04	0.12				
籽粒蛋白质	-0.19	-0.60**	-0.64**	-0.62**	-0.21	-0.18	0.41	0.20	-0.19	0.55*	0.25	0.13	0.46*			
籽粒淀粉	0.12	0.66**	0.71**	0.60**	0.37	0.06	-0.61**	-0.45*	0.16	-0.65**	-0.19	-0.27	-0.84**	-0.81**		

注:①本表右上角为各性状高氮水平下的表型相关;左下角为各性状低氮水平下的表型相关。

(相关系数分别为 0.68、0.67), 穗粒数与产量显著正相关( $r=0.54$ )。在 LN 水平下, 鲜重、出籽率、籽粒淀粉含量与产量极显著正相关, 籽粒含油率与产量显著负相关( $r=-0.45$ ), 籽粒蛋白质含量与产量极显著负相关( $r=-0.62$ ), 但是穗粒数与产量并不显著相关( $r=0.40$ )。在 2 种氮水平下, 出籽率、干物质含量、千粒重、穗位高和籽粒淀粉含量都与产量表现出正相关, 穗粗、籽粒含油率、籽粒蛋白含量都与产量表现出负相关。

籽粒品质性状间, 在 2 种 N 水平下含油率和蛋白质含量都表现出正相关, 与淀粉含量表现出负相关, 不同 N 水平间性状的相关性变化不大。籽粒品质性状与其他性状也表现出很高的相关性, 在 HN 水平下含油率与千粒重、株穗率呈显著负相关, 而在 LN 水平下含油率与干物质含量呈显著负相关; 蛋白含量与株高、穗长呈显著正相关, 与出籽率、干物质含量呈极显著负相关。

### 3 讨论

#### 3.1 低氮(LN)水平下各性状的平均表现

由于 2005 年开始 LN 处理, 土壤中有大量剩余 N 素, HN 和 LN 水平下各性状差异不显著(结果未示)。LN 地块经过连续 2 年的氮肥消耗后与 HN 地块相比表现出显著减产, 因此只对 2006 年的数据进行分析。土壤全氮测定表明, HN 和 LN 地块的含氮量存在显著差异(表 1), 由此可以看出, 要想进行玉米种质 NUE 的评价, 试验地需要连续多季不施 N 以保证 HN 和 LN 地块的肥力差异。2006 年在 LN 水平下各品种的平均产量为  $6.54 \text{ t/hm}^2$ , 比 HN 水平下降低了 22.6%。其中产量的降低主要是由于穗粒数的减少(17.12%), 而出籽率、干物质含量、千粒重只分别下降了 0.78%、0.34%、4.99%, 这和 Bertin<sup>[3]</sup> 等人的研究结果比较吻合。有研究表明, 穗粒数的减少主要是由于双受精后胚珠的死亡, 因为在氮胁迫条件下光合产物供应不足, 而“库”的需求不断增大从而引起穗粒数的减少<sup>[10,11]</sup>。曾有实验利用  $F_2_3$  家系材料在 LN 水平下株穗率降低约 30%<sup>[12]</sup>, 本试验中 LN 水平下株穗率降低只有 1.03%, 这可能与本试验所用的材料全是杂交种有关, 因为杂交种比家系具有更强的生活力, 因此更容易成穗, 株穗率受氮水平的影响可能小一些。另外, 本研究还得出, 籽粒品质性状受 N 肥水平的影响很小。

#### 3.2 遗传方差与遗传力分析

在同样的 N 肥水平下, 不同基因型的产量差异显示出 NUE 的差异。前人的研究表明, 随着氮肥水平的变化遗传方差的变化趋势不尽相同, 随着氮肥水平的降低遗传方差增大<sup>[12]</sup>, 而不同的年份遗传方差的变化趋势不一样<sup>[3]</sup>。本研究中, 在 HN 水平下产量性状具有显著的遗传方差, 而在 LN 水平下的遗传方差不显著, 且 HN 水平下的遗传方差比 LN 水平下要高, 而穗粒数在 HN 水平下的遗传方差比 LN 水平下要低(表 4), 这与 Blum<sup>[13]</sup> 等的研究结果类似。这可能是由于在不同的 N 水平下基因表达不同, 遗传方差的变化也导致了遗传力的变化。本试验结果表明 LN 水平下产量的广义遗传力下降 64%, 下降幅度较前人的研究结果要大<sup>[3,13,14]</sup>。也有研究结果认为 HN 和 LN 水平下的遗传力变化不大或者 LN 水平下遗传力提高。可见前人对于遗传力的结论尚不一致, 这可能与研究所用的材料有很大关系。

#### 3.3 氮高效育种策略的选择

本研究结果表明基因型  $\times$  氮的互作方差不显著, 这和各品种的在两种氮水平下的表现一致(表 4)。在 HN 水平下表现优良的品种往往在 LN 水平下也表现较好, 没有筛选到高氮高效型品种。刘建安等从 35 个玉米品种中也只筛选出 2 个高氮高效型品种<sup>[5]</sup>。为了获得 LN 水平下氮高效的品种, 在 LN 水平下进行选择是非常必要的<sup>[4]</sup>, 在 LN 水平下进行直接选择效率更高些<sup>[15]</sup>, 随着 LN 水平下产量的降低这种选择效果的优越性更明显。当 LN 水平下产量降低 43% 以上时, LN 水平下进行直接选择的效率显著提高<sup>[14]</sup>。本实验结果表明 HN 和 LN 水平下的表型相关系数为 0.759, 这与 Presterl<sup>[15]</sup> 等的结果类似。根据 Harrer<sup>[16]</sup> 等人的观点, 当 HN 和 LN 水平下产量的表型相关系数大于 0.65 时, 可以在 HN 水平下选择 LN 高效品种。由于国内目前玉米育种以产量为首要目标, 且一般是在水肥充足的条件下进行的, 所选品种在水肥充足的环境中有助于遗传潜力的发挥, 因此, 可以考虑分阶段进行氮高效育种, 即在 HN 条件下筛选高产组合, 然后进一步将其置于 LN 条件下进行氮高效筛选。同时在筛选过程中应注意借助于一些便于测量且 LN 水平下遗传力较高及与产量相关性高的次级性状如叶片衰老度、吐丝散粉间隔期等进行辅助选择, 则可以加快选择进程<sup>[14]</sup>。

本试验在田间管理及数据采集过程中得到了实验站工作人员的帮助;在土壤养分的测定过程中得到了中国农业大学资源与环境学院孙沁平博士的帮助;在数据分析计算过程中得到德国霍恩海姆大学的 Utz 教授的指导。谨表谢意。

### 参 考 文 献

- [1] Raun W R, Johnson G V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production[J]. *Agron J*, 1999, 91: 357 - 363
- [2] Gallais A, Coque M. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: a synthesis[J]. *Maydica*, 2005, 50: 531 - 547
- [3] Bertin P, Gallais A. Genetic variation for nitrogen use efficiency in a set of recombinant maize inbred lines. . Agrophysiological results[J]. *Maydica*, 2000, 45: 53 - 66
- [4] Lafitte H R, Edmeades G O. Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize. . Selection criterion [J]. *Field Crops Research*, 1994, 39: 1 - 14
- [5] 刘建安, 米国华, 张福锁. 不同基因型玉米 N 效率差异的比较研究[J]. *农业生物技术学报*, 1999, 7(3): 248 - 254
- [6] 陈范骏, 米国华, 张福锁, 等. 华北区部分主栽玉米杂交种的氮效率分析[J]. *玉米科学*, 2003, 11(2): 78 - 82
- [7] 徐祥玉, 张敏敏, 翟丙年, 等. 夏玉米氮效率基因型差异研究[J]. *植物营养与肥料学报* 2006, 12(4): 495 - 499
- [8] Utz H F. Institute of Plant Breeding, Seed Science, and Population Genetics. University of Hohenheim [CP/DK]. 1993[2006 - 11]. <http://www.uni-hohenheim.de/~ipspwww/soft.html>
- [9] Henderson C R. Estimation of variance and covariance components[J]. *Biometrics*, 1953, 9: 226 - 252
- [10] Lemcoff J H, Loomis R S. Nitrogen influences in YIELD determination in maize[J]. *Crop Sci*, 1986, 26: 1817 - 1022
- [11] Uhart S A, Andrade. Nitrogen deficiency in maize. . Carborr nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield[J]. *Crop Sci*, 1995, 35: 1384 - 1389
- [12] Agrama H A S, Zakaria A G, Said F B, et al. Identification of quantitative trait loci for nitrogen use efficiency in maize [J]. *Mol Breed*, 1999, 5: 187 - 195
- [13] Blum A. Plant breeding for stress environments[M]. Boca Raton: CRC Press, 1988
- [14] Banziger M, Betran F J, Lafitte H R. Efficiency of high-nitrogen selection environments for improving maize for low-nitrogen target environments [J]. *Crop Sci*, 1997, 37(4): 1103 - 1109
- [15] Presterl T, Seitz G, Landbeck M, et al. Improving nitrogen use efficiency in European maize: estimation of quantitative genetic parameters[J]. *Crop Sci*, 2003, 43: 1259 - 1265
- [16] Harter S, Utz H F. A model study on breeding low-input varieties using maize as an example[M]//Proceedings of the 1990 Conference of the Plant Breeders Workshop of the Austrian Plant Breeders Society. Austria: State Institute for Alpine Agriculture, 1990: 9 - 19