

# 春谷杂种蛋白质含量的遗传分析\*

古世禄 刘 厦 刘子坚

(山西省农业科学院作物遗传研究所, 太原 030031)

**摘 要** 对春谷15个杂交组合后代蛋白质含量的遗传特点进行了研究。结果表明,  $F_1$  呈倾母遗传, 遗传表现比较复杂,  $F_2$  变异广泛, 分布多数为单峰曲线, 也有双峰曲线, 并非所有组合都是正态分离,  $g_1$  为正值, 呈正向倾斜。遗传以加性效应为主, 也有显性作用。 $h^2_D$  一般为46.16%~55.79%,  $\Delta G$  为1.07%~1.83%,  $\Delta G'$  为7.97%~14.07%。超亲现象普遍, 有的组合超高含量株率较高, 早期世代选择效果较好。 $F_2$  与中亲值和母本均呈极显著的正相关。

**关键词** 谷子 蛋白质含量 遗传分析

农作物子粒蛋白质含量的遗传特点, 在小麦、水稻、大豆等作物上研究较多[1~4, 8, 9]。我国谷子在世界上面积、产量最大, 且蛋白质、氨基酸平衡, 营养价值较高[7], 但对蛋白质的遗传研究甚少。查近40年来国内外文献, 国外无一报道, 国内仅有一个杂交组合[5]和一个单因素方差分析结果[6]。本研究旨在通过对不同类型杂交组合后代蛋白质含量变异的分析, 探讨谷子子粒蛋白质含量的遗传特点, 为进一步改良谷子营养品质提供理论依据。

## 材料和方法

选用16个子粒蛋白质含量和农艺性状不同的品种(系)作为亲本, 经过2~3年套袋自交纯化, 1986~1987年配制杂交组合15个, 1988年同时种植 $F_1$ 和亲本。亲本为3行区,  $F_1$ 视种子量播种6~8行, 行长3m, 行距33cm, 顺序排列。成熟时收获全部真杂种, 单株脱粒。1989年种植 $F_2$ 和亲本, 采用随机区组设计, 重复3次, 3行区, 行长3m, 行距33cm。另外种植2个组合的 $F_3$ 系统共72个姊妹系。成熟时去边行和两头, 从中间行连续取样, 每个重复 $F_2$ 取30株,  $F_3$ 取25株, 亲本取10株。考种后单株脱粒, 以对角线取样法取样, 送本院农产品综合利用研究所标准半微量凯氏法测定蛋白质含量。 $F_1$ 、 $F_2$ 以单株为样品,  $F_3$ 为混合样品。

对获得的资料, 以PC-1500型微机联接长城286型机进行统计, 估算了表型和遗传变异系数、广义和狭义遗传力、绝对和相对遗传进度及中亲和相对优势等有关遗传参数。

广义遗传力 1986年组合按双亲杂交遗传设计,  $h^2_R(\%) = \frac{V_{F_2} - \frac{1}{2}(V_{P_1} + V_{P_2})}{V_{F_2}} \times 100$ 。

1990-11-13收稿。

\* 本课题为国家“七五”农业科技项目。参加研究工作的还有范植尧、秦艳、狄俊娥、李凌雨、郭志利等同志。

1987年组合按单因素随机区组(含次级样本)方差分析法[10],  $h_B^2(\%) = \frac{\delta_g^2}{\delta_g^2 + \delta_e^2 + \delta^2} \times 100$ ,

$\delta_g^2$ 为遗传方差,  $\delta_e^2$ 为小区间方差,  $\delta^2$ 为抽样方差。

狭义遗传力 按亲子回归法,  $h_N^2(\%) = \frac{W_{F_3}/F_2}{V_{F_2}} \times 100$ ,  $W_{F_3}/F_2$ 为 $F_2$ 与 $F_3$ 的协方差,  $V_{F_2}$ 为 $F_2$ 方差。

$F_2$ 正态检验, 利用卡方检验, 按G.W.Snedecor等公式进行偏度和峰度检验[11]:  $g_1$  (偏度) =  $X_3/(X_2\sqrt{X_2})$ ;  $g_2$  (峰度) =  $X_4/X_2^2$ 。式中,  $X_2$ 为样品均方,  $X_3$ 为样品离均差立方的平均数,  $X_4$ 为样品离均差4次方的平均数。

$g_1$ 为0时, 表示曲线左右对称;  $g_1$ 为正值时, 表示曲线顶峰向左偏移;  $g_1$ 为负值时, 表示曲线顶峰向右偏移。 $g_2$ 为0时, 表示样品不脱离正态;  $g_2$ 为正值时, 表示曲线为高狭峰;  $g_2$ 为负值时, 表示曲线为平坦峰。原始数据为百分数, 已经反正弦转换( $\sin^{-1}\sqrt{x}$ )。

## 结果与分析

### 一、 $F_1$ 蛋白质含量的遗传表现

表1指出, 谷子 $F_1$ 蛋白质含量, 绝大多数组合(占76.9%)介于双亲之间, 且高于中亲值。中亲优势(RH%)和相对优势(hp)均较弱。多数组合 $F_1$ 蛋白质含量倾向于高含量亲本, 其中少数组合(占23.1%) $F_1$ 蛋白质含量出现超高亲现象, 高亲优势为4.8~14.1%, 但也有少数组合 $F_1$ 蛋白质含量低于中亲值, 倾向低亲或出现超低亲现象, 呈负优势。以上结果说明, 谷子蛋白质含量在 $F_1$ 表现是比较复杂的。

表1 谷子不同杂交组合 $F_1$ 蛋白质含量的遗传表现

类型	杂交组合名称	蛋白质含量(%)				优势表现	
		♀	♂	MP	$F_1$	RH%	hp
高×低	大青谷×长24	13.55	10.39	11.97	13.42	12.11	0.91
	代州黄×新农761	14.47	10.37	12.42	13.28	6.92	0.42
	商水黑谷×新农761	13.97	10.37	12.17	11.11	-8.71	-0.59
	7452×新农761	12.99	10.37	11.68	12.81	9.67	0.86
	商水黑谷×8029-22	13.97	10.95	12.46	12.93	3.77	0.31
低×高	$F_618-32-3-1 \times$ 洒谷	10.60	16.72	13.66	12.14	-11.13	-0.50
	$F_618-32-3-1 \times$ 双黑谷	10.60	15.19	12.90	13.61	5.50	0.31
	$F_618-32-3-1 \times$ 商水黑谷	10.60	13.97	12.29	12.39	0.81	0.06
	舌根白×双黑谷	9.55	15.19	12.37	13.00	5.09	0.22
高×高	7452×玻璃透	12.99	12.27	12.63	13.62	7.84	2.75
	大青谷×玻璃透	13.55	12.27	12.91	15.23	17.97	3.63
低×低	舌根白×8029-22	9.55	10.95	10.25	11.61	13.27	1.94
	$F_618-32-3-1 \times 8029-22$	10.60	10.95	10.78	10.13	-6.03	-3.71

以高含量品种作母本, 低含量品种作父本时, 有80%的组合 $F_1$ 蛋白质含量明显地接近于

母本。以低含量品种作母本, 高含量品种作父本时, 有75%的组合 $F_1$ 蛋白质含量低于或接近中亲值。这表明, 谷子蛋白质含量在 $F_1$ 呈倾母遗传。

## 二、 $F_2$ 蛋白质含量的遗传变异

### 1. $F_2$ 蛋白质含量的分布与检验

表2 谷子 $F_2$ 子粒蛋白质含量及其分布

类 型	杂交组合名称	蛋白质含量(%)		蛋 白 质 分 布 频 率 (%)												
		( $\bar{x} \pm S$ )	CV(%)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	≥17			
高×高	7452×玻璃透	14.16±1.46	10.31				2.2	21.1	31.1	22.2	10.0	7.8	5.5			
	代州黄×玻璃透	13.43±1.03	7.67				3.3	30.0	46.7	13.3	6.7					
	黄沙谷×克育1号	15.96±1.77	11.16					5.0	15.0	5.0	15.0	35.0	25.0			
高×低	7452×新农761	12.72±1.20	9.43			7.8	20.0	31.1	26.7	11.1	2.2	1.1				
	代州黄×新农761	12.68±1.42	11.20		3.3	10.0	15.6	35.6	16.7	13.3	4.4	1.1				
	商水黑谷×新农761	12.71±1.01	7.82			4.4	15.6	47.8	20.0	7.8	4.4					
	边区1号×豫谷1号	13.00±1.59	12.23		1.9	1.9	23.1	32.7	17.3	7.7	7.7	5.8	1.9			
	大青谷×长24	13.09±1.71	13.06		1.1	5.6	18.9	30.0	20.0	13.3	33.3	5.6	2.2			
	商水黑谷×8029-22	13.58±0.95	7.00			1.1	3.3	24.4	42.2	18.9	10.0					
低×低	舌根白×8029-22	11.44±1.22	10.66	2.2	4.4	35.6	28.9	17.8	8.9	2.2						
	F <sub>6</sub> 18-32-3-1×8029-22	10.49±1.11	10.58	6.7	30.0	32.2	23.3	4.4	3.3							
低×高	F <sub>6</sub> 18-32-3-1×商水黑谷	11.75±1.01	8.60		4.4	21.1	33.3	28.9	10.0	2.2						
	F <sub>6</sub> 18-32-3-1×酒谷	12.68±1.77	13.96	2.2	1.1	7.8	34.4	18.9	13.3	12.1	4.4	4.4	1.1			
	F <sub>6</sub> 18-32-3-1×双黑谷	12.06±1.46	12.11		3.3	20.0	28.9	25.6	15.6	2.2	2.2	2.2				
	舌根白×双黑谷	14.64±1.56	10.66				2.2	14.4	22.2	18.9	20.0	15.6	6.7			

谷子 $F_2$ 蛋白质含量分离十分明显, 变异范围较广。遗传变异系数8.75%, 表型变异系数在7.00%~13.96%之间, 平均为10.43%。同时变异呈连续性变异, 如表2所示, 各组合分布频率曲线, 一般呈单峰曲线。正态检验表明, 12个组合只有F<sub>6</sub>18-32-3-1×酒谷组合的卡方值达到极显著差异水平, 不符合正态分布, 其他组合完全符合正态分布或接近正态分布(表3)。这表明谷子子粒蛋白质含量是受微效多基因控制的, 属于数量性状遗传, 并以加性效应为主。但组合间也有差异, 例如, 黄沙谷×克育1号、大青谷×长24、舌根白×双黑谷等, 不仅分离幅度较大, 而且呈双峰曲线(表2), 这可能是由于显性作用所致。在大豆蛋白质方面也有类似的情况[4, 8]。

偏度检验表明, 除F<sub>6</sub>18-32-3-1×商水黑谷外, 绝大多数组合的 $g_1$ 值均为正值, 说明曲线顶峰左移, 表现为正向偏斜, 与国际水稻研究所在水稻方面的研究结果一致[2]。这就说明, 分布在大于平均数一侧有拖尾现象, 有可能分离出蛋白质含量较高的类型。特别是7452×玻璃透、F<sub>6</sub>18-32-3-1×双黑谷、大青谷×长24等组合,  $g_1$ 值均达到0.6以上。

峰度检验表明,  $F_2$ 蛋白质含量分布曲线的 $g_2$ 值, 12个组合有5个组合为正值, 且绝对值较大, 表明曲线为狭高峰, 而为负值的组合, 绝对值较小, 表明曲线的高峰状较低, 这可能

是谷子F<sub>2</sub>蛋白质含量分离谱较广的原因。

表3 谷子蛋白质含量的正态检验

组合名称	偏度检验		峰度检验		X <sup>2</sup>
	g <sub>1</sub>	t	g <sub>2</sub>	t	
大青谷×长24	0.6287	2.4750*	0.6085	1.2099	5.6590
代州黄×新农761	0.0799	0.3134	0.3121	0.2627	7.2619
商水黑谷×新农761	0.4332	1.7054	-0.2580	0.5130	10.9215*
7452×新农761	0.3056	1.2069	-0.0340	0.0680	9.4940
商水黑谷×8029-22	0.0876	0.3450	-0.0068	0.0136	7.8700
F <sub>6</sub> 18-32-3-1×酒谷	0.3821	1.5041	0.6899	1.3718	14.5830**
F <sub>6</sub> 18-32-3-1×双黑谷	0.6534	2.5720*	0.8882	1.7660	2.3193
F <sub>6</sub> 18-32-3-1×商水黑谷	-0.0558	0.2197	-0.2756	0.5479	3.2285
舌根白×双黑谷	0.0575	0.2262	-0.7729	1.5455	13.5138*
7452×玻璃透	0.8694	3.4222**	0.8176	0.3730	14.0788*
舌根白×8029-22	0.3615	1.4232	-0.1960	0.3897	13.6690*
F <sub>6</sub> 18-32-3-1×8029-22	0.4179	1.6450	-0.1051	0.2090	2.4026

注: \*表示达显著水平, \*\*表示达极显著水平。

## 2. F<sub>2</sub>蛋白质含量的超高亲遗传

图和表4资料表明, 谷子F<sub>2</sub>蛋白质含量超亲现象很普遍, 绝大多数组合均出现超高亲植株, 超高亲率平均为21.6%。但组合间差异很大。代州黄×玻璃透和F<sub>6</sub>18-32-3-1×商水

表4 谷子F<sub>2</sub>蛋白质含量的超高亲遗传情况

组合名称	超亲率(%)			超高含量株率(%)			
	超中亲	超高亲	合计	≥16	≥18	≥20	合计
黄沙谷×克育1号	15.0	40.0	55.0	45.0*	5.0	10.0	60.0
代州黄×玻璃透	10.0	0	10.0	0	0	0	0
7452×玻璃透	15.6	13.3	28.9	12.2	1.1	0	13.3
边区1号×豫谷1号	46.2	3.3	49.5	7.7	0	0	7.7
代州黄×新农761	38.9	11.1	50.0	1.1	0	0	1.1
7452×新农761	40.0	28.9	68.9	1.1	0	0	1.1
商水黑谷×新农761	37.3	8.9	46.7	0	0	0	0
大青谷×长24	31.1	23.3	54.4	5.6	2.2	0	7.8
F <sub>6</sub> 18-32-3-1×商水黑谷	11.1	0	11.1	0	0	0	0
商水黑谷×8029-22	73.3	17.8	91.1	0	0	0	0
F <sub>6</sub> 18-32-3-1×双黑谷	23.4	3.3	26.7	2.2	0	0	2.2
F <sub>6</sub> 18-32-3-1×酒谷	30.0	6.7	36.7	4.4	1.1	0	5.5
舌根白×双黑谷	14.5	54.4	68.9	21.2	1.1	0	22.3
F <sub>6</sub> 18-32-3-1×8029-22	17.6	35.7	53.3	0	0	0	0
舌根白×8029-22	16.7	34.4	51.1	0	0	0	0

\*由于高亲含量为16.14%, 故≥16%栏中包括有5%未超高亲植株。

黑谷两个组合未出现超高亲；边区1号×豫谷1号和 $F_2$ 18-32-3-1×双黑谷等超高率较低，仅3.3%；舌根白×双黑谷和黄沙谷×克育1号，超高亲率很高，分别为54.4%和40%；特别是黄沙谷×克育1号组合还分离出蛋白质含量 $\geq 18\%$ ~20%的个体，而且比例较高，达到15%。从表4还可以看出蛋白质超高含量个体的分离，组合间相差几倍到几十倍。

曲线图不仅反映了谷子 $F_2$ 蛋白质含量超高亲分离，也表明有少数组合还出现了超低亲分离。从亲本和 $F_2$ 蛋白质含量分布频率来看，母本含量高的组合容易分离出超高含量的个体。据15个组合的统计，在出现了超高含量个体的10个组合中，有60%的组合是母本含量大于父本，在未出现超高含量个体的5个组合中，有80%的组合是父本含量高于母本。

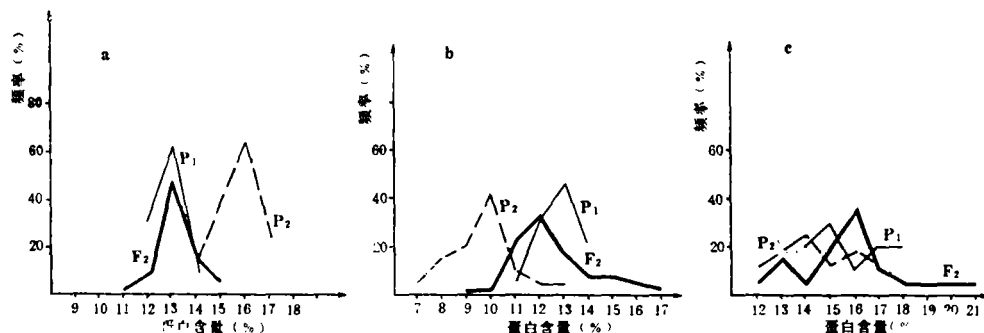


图 谷子 $F_2$ 和亲本蛋白质含量的分布

$P_1$ 为母本  $P_2$ 为父本

a. 代州黄×玻璃透 b. 边区1号×豫谷1号 c. 黄沙谷×克育1号

Seber和Lamber<sup>[12]</sup>研究证明，在选择的情况下，大豆 $F_2$ 蛋白质含量与高代蛋白质含量呈显著、极显著的正相关。由于谷子 $F_2$ 蛋白质含量有广泛的遗传变异，同时普遍存在着超亲遗传现象，在 $F_2$ 进行选择是可行的。

### 三、谷子蛋白质含量的遗传力和遗传进度

遗传力是一个群体内由遗传原因引起的变异占表型变异的比列，是选择的一个参考指标。遗传进度是在一定的选择强度下，杂种后代某一性状平均数比原来群体平均数提高的数值，是选择效果的一个重要参数。

表5 谷子杂种蛋白质含量的广义遗传力和遗传进度

年 份	组 合	遗传力 $h_B^2$ (%)		遗传进度	
		范 围	平 均	$\Delta G$	$\Delta G'$
1986	边区一号×豫谷1号	42.4 ~ 69.18	55.79	1.83	14.07
	黄沙谷×克育1号	—	26.70	0.97	5.99
	代州黄×玻璃透	14.79~83.21	49.00	1.07	7.97
1987	12个组合	35.07~57.25	46.16	1.55	12.22

注：选择强度为5%。

表5列出了不同组合 $F_2$ 广义遗传力和遗传进度的估算结果。可以看出,谷子蛋白质含量的广义遗传力,除黄沙谷×克育1号由于群体较小,生育期较短等因素影响 $h_B^2$ 较低外,一般都在46.16%~55.79%,这与刘为红的结果基本一致[5]。遗传进度 $\Delta G$ 一般在1.07%~1.83%,相对遗传进度 $\Delta G'$ 一般为7.97%~14.07%,即在5%的选择强度下,下一代群体蛋白质含量可比上一代增加1.07%~1.83%,可比亲代提高7.97%~14.07%。

性状遗传力与配合力密切相关,且遗传力方差中只有累加方差才是上下代可以固定遗传的变异量,因此有必要深入研究蛋白质含量的配合力和狭义遗传力,即累加方差占表型方差的比例。谷子蛋白质含量的狭义遗传力,我们根据1986年选配的组合,采用亲子回归法估算,边区1号×豫谷1号的 $h_N^2$ 为11.36%±0.04%,黄沙谷×克育1号的 $h_N^2$ 为7.16%±1.11%。由于组合较少,尚需进一步研究。

## 讨 论

### 一、亲本与 $F_2$ 蛋白质含量的关系

作物亲本蛋白质含量对 $F_2$ 有明显的影响[1, 3, 4, 7, 8],我们的试验也证明了这一点。例如,低×高组合中,父本同是双黑谷,母本舌根白(11.65%)比 $F_0$ 18-32-3-1的蛋白质含量高1.78%, $F_2$ 蛋白质含量相对提高21.4%。母本同是 $F_0$ 18-32-3-1,用低含量的8029-22作父本, $F_2$ 蛋白质含量为10.49%,而用高含量的商水黑谷和酒谷作父本, $F_2$ 蛋白质含量则相对提高12.0%和20.9%。相关分析表明, $F_2$ 蛋白质含量与亲本中亲值高度相关, $r=0.8419^{**}$ ,与母本含量也高度相关, $r=0.6676^{**}$ 。表明母本的作用更大一些,例如,高×低的6个组合中,有5个组合 $F_2$ 蛋白质含量大于中亲值,一个组合与中亲值持平,而低×高的4个组合中,就有3个组合 $F_2$ 蛋白质含量小于中亲值。因此,正确选配亲本是谷子品质育种中一个十分重要的关键。

### 二、关于亲本的选配

通过对谷子蛋白质含量遗传特点及其与亲本关系的分析,我们认为,高蛋白育种,对亲本选配的原则应该是:第一,选配双亲蛋白质含量都高的组合,这样的组合,不仅群体蛋白质平均含量较高,而且出现超高含量株率也高。例如,黄沙谷×克育1号,7452×玻璃透等(表2,表4)。第二,选配高×低组合。可利用母本效应提高后代群体的蛋白质含量。第三,通过超亲优势来达到理想目的。这样的组合,双亲虽然并不特别优良,但出现大量的超高含量个体。例如,舌根白×双黑谷,双亲蛋白质含量分别为11.65%和15.6%,而后代中≥16%以上的超高含量株率则高达22.3%;大青谷×长24,双亲蛋白质含量分别为14.1%和11.01%,而后代中≥16%以上的超高含量个体占7.8%,从而部分地弥补了亲本的不足。有的组合出现超高含量个体可能与亲本配合力有关,尚需进一步分析研究。第四,既要蛋白质含量较高,又要农艺性状较好。例如,酒谷、双黑谷等蛋白质含量虽然很高,但农艺性状较差,产量很低,不宜直接用作亲本,可作为高蛋白基因源培育一些中间材料加以利用。而大青谷、商水黑谷、7452、代州黄等,蛋白质含量较高,农艺性状也好,可作为高产优质亲本应用。长24,新农761、8029-22等农艺性状较好,但蛋白质含量较低,配置组合时,要选用

一个蛋白质含量较高、农艺性状又好的材料作为母本，通过重组，选择超亲的优良单株。象  $F_2$  18-32-3-1 等蛋白质含量又低，农艺性状又差，不宜用作亲本。

### 参 考 文 献

- 1 朱睦元等。小麦品种间子粒蛋白质、赖氨酸和色氨酸含量的杂种优势及配合力分析。作物学报, 1984, 10 (4): 237~244
- 2 闵绍楮。稻米品质鉴定与改良。国外农学—水稻, 1981 (3): 113~123
- 3 陈恒鹤。大豆蛋白质、脂肪含量及其他农艺性状遗传规律的轮配分析。中国农业科学, 1987, 20 (1): 32~38
- 4 胡明祥等。大豆杂种后代子粒蛋白质含量遗传研究。中国农业科学, 1984, 17 (6): 40~44
- 5 刘为红。谷子杂种二代子粒蛋白质含量的研究。山西农业科学, 1981, (11): 17~18
- 6 李荫梅等。夏谷品质性状与主要农艺性状的相关和选育研究。见: 粟论文集, 1987, 91~101
- 7 古世祿等。中国谷子蛋白质氨基酸组成的研究。华北农学报, 1989, 4 (1): 8~15
- 8 彭玉华等。大豆不同组合  $F_2$  蛋白质含量的遗传变异分析。东北农学院学报, 1988, 19 (4): 348~352
- 9 刘显华。大豆杂种二代子粒蛋白质、脂肪及其组分的配合力与遗传分析。作物学报, 1988, 14 (4): 303~309
- 10 张全德等。农业试验统计模型和BASIC程序。杭州: 浙江科技出版社, 1985, 89~109
- 11 Snedecor G W (杨纪珂等译)。应用于农学和生物学实验的数理统计方法。北京: 科学出版社, 1963, 222~225
- 12 Seber N A, Lambert J W. Effect of stratification on percent protein in two soybean populations. Crop Sci, 1984, (24): 225~228

## The Genetic Analysis on Protein Content in Spring Foxtail Millet Hybrids

Gu Shilu    Liu Sha    Liu Zijian

(Crop Genetics Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan)

**Abstract** The hereditary characters of seed protein content in fifteen cross combinations of spring foxtail millet (*Setaria italica* Beauv. ) were studied. The results showed that  $F_1$  had a higher hybrid vigor with a matroclinal inheritance. Types with non-dominance, complete positive or complete negative dominance were not found in these combinations, but the types with partially positive dominance amounted to 53.8% of the total while the types with superparental heterosis consisted of 23.1%.  $F$  progenies varied greatly and had single-peak distribution curves or double-peak distribution curves. Normal distribution tests revealed that  $F$  had a normal distribution with a small deviation for  $g_1 > 0$ . Nevertheless, not all of the mating groups exhibited normal segregation. Additive effects were found predominant in inheritance while dominant effects also existed. Generally,  $h^2_b$  of the protein content was about 46.16–55.79%,  $\Delta G$  was about 1.07–1.83%.  $\Delta G'$  was about 7.97–14.07%. In these combinations, superparent phenomena were widespread, and a great number of high protein individuals were found. Therefore, an early generation selection might lead to a good result. As  $F$  was highly significantly correlated with MP and the female parent, four principles for parent selection were suggested.

**Key words:** Foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.); Protein content; Genetic analysis