

## 小麦种间杂种优势研究:

### I. 普通小麦与斯卑尔脱小麦及密穗小麦种间杂种产量和品质优势

窦秉德\* 孙其信 倪中福 吴利民 孟凡荣 刘保申

(中国农业大学作物学院, 北京 100094)

**摘要** 以6个普通小麦为母本,5个斯卑尔脱小麦和5个密穗小麦为父本配制 $6 \times 10$ 种间NC II双列杂交组合,对其杂种 $F_1$ 的产量及品质性状进行了研究。结果发现:小麦种间杂种在产量上具有明显的杂种优势,其中斯卑尔脱小麦与普通小麦所配的30个种间杂交组合产量杂种优势平均为109.24%(43.14%~187.96%),单株穗数及千粒重平均优势较大且与产量优势的相关分别达极显著水平和显著水平;密穗小麦与普通小麦所配的30个种间杂种的杂种优势为77.19%(-2.18%~143.42%),单株穗数和主穗粒数优势较大且与产量优势的相关均达极显著水平。种间杂种的品质指标中籽粒硬度大多降低,但农大3226所配组合均具正向优势,密穗小麦所配种间杂种籽粒蛋白质含量及湿面筋含量低于普通小麦。但是种间杂种沉淀值的杂种优势比较普遍。认为,种间杂种的品质性状在一些组合中比普通小麦有所提高。

**关键词** 普通小麦; 斯卑尔脱小麦; 密穗小麦; 杂种优势; 产量; 品质

**中图分类号** S512.103.2

## Study on Heterosis of Interspecific Hybrid Wheat:

### I. The Yield and Quality Heterosis of Interspecific Hybrid Between Common Wheat, Spelt Wheat and Club Wheat

Dou Bingde Sun Qixin Ni Zhongfu Wu Limin Meng Fanrong Liu Baoshen

(College of Crop Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** A  $6 \times 10$  NC II diallel crosses were made by using 6 common wheat as female parents and 5 spelt wheats/club wheats as male parents, heterosis of interspecific  $F_1$  hybrids on yield and quality were studied. The results showed that the interspecific hybrid of wheat had significant heterosis, the yield heterosis of  $F_1$  hybrids between common wheat and spelt wheat ranged from 43.14% to 187.96% with an average of 109.24%, the average heterosis of spike number per plant and 1 000-grain-weight were high and obviously related to yield heterosis at 0.01 and 0.05 level, respectively; the average yield heterosis of  $F_1$  hybrids between common wheat and club wheat was 77.19% (ranged from -2.18% to 143.42%), the average heterosis of spike number per plant and spike grain number were high and both was also obviously related to yield heterosis at 0.01 level. In the quality test, the grain hardness heterosis over female parent was negative in most crosses but positive in crosses involved the variety Nongda 3226 as female parent, the level of protein content and wet gluten content were lower at 0.01 level than that of its female parent in the interspecific hybrid involved club wheat, heterosis in sedimentation value were observed in most interspecific hybrids. It is concluded that the quality could be improved in some interspecific hybrid.

**Key words** common wheat; spelt wheat; club wheat; heterosis; yield; quality

收稿日期: 2001-07-02

北京市自然科学基金重点资助项目(5991001), 国家 863 计划资助项目(2001AA241042)

\* 窦秉德, 博士生, 研究方向为小麦杂种优势利用。

杂种优势的发现及成功利用在全世界的农作物的增产中起了十分重要的作用<sup>[1]</sup>。小麦是我国适应性最广、能够充分利用晚秋和早春光温资源的不可替代的主要粮食作物,其种植面积和总产量居世界第一。发展杂交小麦对于缓解我国人口与资源的矛盾有着重要的现实意义。杂交小麦在美国、澳大利亚、南非等国已有种植<sup>[2,3]</sup>,我国的杂交小麦也开始种植<sup>[4]</sup>。小麦杂种优势利用研究从50年代开始,到现在已进入了多种胞质、多种途径利用的阶段,但与玉米、水稻等大面积种植的杂交种相比,杂交小麦应用进展缓慢,其限制因素一是大规模杂交制种技术尚不完善,二是杂交小麦优势相对偏低。目前杂交小麦的组配多限于同一生态区不同品种的杂交模式,其亲本大多具有较近的亲缘关系,导致杂交亲本之间种质基础狭窄,遗传差异较小。因此要进一步提高小麦杂种优势潜力,就必须采用新的策略,拓宽亲本的遗传基础,建立新的优势亲本群,选育理想亲本,以加速杂交小麦的生产应用<sup>[5,6]</sup>。斯卑尔脱小麦与普通小麦存在较大的遗传差异,且其杂交种育性大多数正常,可以用来扩大杂交小麦亲本的遗传基础,提高小麦的杂种优势幅度<sup>[7~9]</sup>,故利用这种较远缘的杂种优势——种间杂种优势——具有十分重要的意义。本试验对斯卑尔脱小麦及密穗小麦与普通小麦所配的2类种间杂交种的优势表现进行了研究。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

选用普通小麦(*Triticum aestivum* L.)6个优良品种(系)农大3226(代号3226,下同)、农大3429、农大3330、2410TD、衡水71-3、农大3159做母本,斯卑尔脱小麦(*T. spelta* L.)5个材料即Pi295062、Serlel、Hubel、Di4、美引斯-6(S-6)及密穗小麦(*T. compactum* Host.)5个材料即密C028、美密5(C5)、美密7(C7)、美密30(C30)、美密38(C38)分别做父本,组成6×10种间NCⅠ双列杂交组合,采用化学杂交剂处理母本,人工授粉。杂交种和亲本种植于中国农大科学园,每材料种植2行,行长2m,每行25株,共3次重复,2000年夏对6×10组合进行考种,并对F<sub>1</sub>植株所结籽粒进行品质分析。

### 1.2 考种和品质测定

考种项目:株高、穗长、可育小穗数、单株穗数、主穗粒数、千粒重、单株产量。

品质分析:蛋白质含量、硬度和湿面筋含量。

测定采用近红外法(NIR),沉淀值测定采用微量SDS法<sup>[10]</sup>。

### 1.3 杂种优势计算

$$\text{杂种优势 } HM = \frac{F_1 - MP}{MP} \times 100\%, \text{ 超亲优势 } MP_1 = \frac{F_1 - P_1}{P_1} \times 100\%$$

其中, $MP = \frac{P_1 + P_2}{2}$ 为母本值, $P_2$ 为父本值。由于斯卑尔脱小麦和密穗小麦比普通小麦晚熟10~15d,在北京地区种植不能正常成熟,籽粒饱满度差,故本文以下所指品质性状超亲优势均表示杂种超母本(即普通小麦)的优势。

## 2 结果与分析

### 2.1 普通小麦与斯卑尔脱小麦种间杂种的杂种优势

普通小麦与斯卑尔脱小麦所配制的30个杂交种在所考察的8个性状中均表现一定的杂

种优势,其中单株产量、单株穗数、千粒重的杂种优势较为突出,从表 1 可以看出,单株产量的杂种优势平均为 109.24%,其变化范围为 43.14%~187.96%,所有组合均具较大杂种优势,单株穗数的杂种优势平均为 28.11%(-1.57%~62.53%),仅 1 个组合为负优势;千粒重的杂种优势平均为 28.43%(-4.24%~58.73%),仅 2 个组合为负优势;主穗粒数的杂种优势平均值为 11.34%(-22.21%~35.42%),仅 3 个组合为负优势。从总体上看,普通小麦与斯卑尔脱小麦种间杂种在产量性状上具明显的杂种优势。

表 1 普通小麦与斯卑尔脱小麦种间杂种的杂种优势表现

1999—2000 年

组 合	株高	穗长	可育小穗	单株穗数	主穗粒数	千粒重	单穗产量	单株产量
3226/Pi295062	10.06	4.39	4.85	16.03	11.81	25.89	6.11	97.95
3226/Serlel	16.05	8.68	8.78	58.58	3.82	31.78	3.21	187.96
3226/Hubel	16.84	17.00	14.19	19.17	21.00	30.30	5.52	105.75
3226/Di4	7.52	-14.03	2.03	38.58	25.67	-4.24	2.28	87.87
3226/S-6	13.18	12.91	10.68	46.08	10.56	31.21	3.49	160.97
3429/Pi295062	10.81	0.11	0.79	18.32	5.35	32.30	4.45	81.47
3429/Serlel	13.86	3.72	5.44	-1.57	5.75	49.45	-33.50	52.44
3429/Hubel	12.84	13.79	11.87	24.25	35.42	24.73	3.75	91.06
3429/Di4	11.34	13.74	8.59	41.73	25.83	35.16	3.16	132.02
3429/S-6	10.07	9.23	1.06	39.52	5.03	42.45	3.11	123.06
3330/Pi295062	6.47	-4.04	-8.82	24.60	-22.21	30.17	3.66	89.94
3330/Serlel	16.52	6.18	0.91	43.87	-0.53	58.73	3.15	138.11
3330/Hubel	13.40	13.42	6.02	22.42	16.76	26.36	3.77	84.58
3330/Hi4	9.84	6.45	-2.42	27.70	1.92	38.28	4.01	111.20
3330/S-6	9.36	14.89	2.68	36.10	-4.71	45.29	2.89	104.25
2410/Pi295062	1.48	1.81	1.64	37.12	1.52	11.32	2.30	85.27
2410/Serlel	0.59	5.30	7.71	4.81	9.02	15.90	11.88	57.18
2410/Hubel	5.13	13.97	8.29	33.04	9.80	7.37	2.88	95.15
2410/Di4	1.62	14.00	6.54	30.75	15.23	-1.69	2.07	63.67
2410/S-6	-0.83	5.57	0.64	16.08	5.41	13.57	5.93	95.47
713/Pi295062	15.10	4.43	4.08	52.88	13.47	30.06	2.73	144.30
71-3/Serlel	2.29	-7.25	3.26	8.26	10.23	18.41	10.19	84.22
71-3/Hubel	18.48	10.54	8.6	61.53	14.47	18.43	2.34	144.10
71-3/Di4	18.16	11.02	2.91	62.53	10.96	25.69	2.65	165.82
713/S-6	-3.61	-3.76	0.97	5.71	10.38	13.18	7.55	43.14
3159/Pi295062	11.72	5.53	5.83	20.39	12.56	39.98	5.19	105.90
3159/Serlel	17.28	9.04	17.86	4.66	18.21	53.21	31.9	148.62
3159/Hubel	13.87	11.07	6.35	17.77	32.12	27.65	6.41	114.03
3159/Di4	11.58	8.88	2.77	3.49	19.55	24.92	36.4	126.90
3159/S-6	9.72	15.87	7.29	28.93	15.88	57.12	5.35	154.75
负值个数	2	4	2	1	3	2	1	0
最小值	-3.61	-14.03	-8.82	-1.57	-22.21	-4.24	-33.50	43.14
最大值	18.48	17.00	17.86	62.53	35.42	58.73	36.40	187.96
平均值	10.02	7.08	5.05	28.11	11.34	28.43	5.16	109.24

育性问题是能否利用种间杂种优势的前提条件之一,本试验所配种间杂种可育小穗数杂种优势的平均值为 5.05%(-8.82%~17.86%)、仅 2 个组合为负优势,93.4%的组合为正向优势。说明育性问题不是斯卑尔脱小麦与普通小麦所配种间杂种利用的限制因素。

## 2.2 普通小麦与密穗小麦种间杂种的杂种优势

普通小麦与密穗小麦 30 个种间杂交种在所考察的 8 个性状中,除穗长优势的平均值为负值外,都具有一定的正向优势(表 2,其组合同表 4 中密穗小麦所配组合),其中单株穗数和单株产量杂种优势明显,单株产量的杂种优势平均可达 77.19%(-2.18%~143.42%),单株穗数的杂种优势平均值为 37.93%(-10.43%~91.14%),千粒重的杂种优势平均值为 10.8%(-10.61%~41.45%),主穗粒数杂种优势平均值为 6.91%(-27.02%~40.09%),单株穗数、千粒重、主穗粒数的负优势组合数分别为 2 个、5 个和 5 个,但最终单株产量的杂种优势为负优势的组合仅有 1 个。表明普通小麦与密穗小麦种间杂种在产量上也具有明显的杂种优势。

表 2 普通小麦与密穗小麦种间杂种的杂种优势表现

1999--2000 年

组合	株高	穗长	可育小穗	单株穗数	主穗粒数	千粒重	单穗产量	单株产量
负值个数	16	23	10	2	5	5	1	1
最小值	-13.65	-29.13	-10.48	-10.43	27.02	-10.61	-12.70	-2.18
最大值	17.39	39.65	11.32	91.14	40.09	41.45	16.63	143.42
平均值	1.93	-11.32	2.09	37.93	6.91	10.80	2.06	77.19

同样,普通小麦与密穗小麦种间杂交种可育小穗数杂种优势的平均值为 2.09%(-10.48%~11.32%),20 个组合具正向优势,其组合数可达 66.7%,因此这类杂交种的育性也不是其种间杂种优势利用的限制因素。

## 2.3 小麦种间杂种各性状杂种优势与产量杂种优势的相关分析

为了探讨各性状杂种优势对于产量杂种优势贡献的大小,本文对杂种各性状优势与单株产量优势进行了相关分析,结果见表 3。

表 3 两类种间杂交种各性状优势与产量优势的相关系数

组合	株高	穗长	可育小穗	单株穗数	主穗粒数	千粒重	单穗产量	单株产量
普通小麦/斯卑尔脱小麦	0.68**	0.4*	0.28	0.65**	0.07	0.43*	0.26	1
普通小麦/密穗小麦	0.46**	-0.12	0.55**	0.77**	0.62**	0.04	0.11	1

注: \*\* 表示极显著相关, \* 表示显著相关

斯卑尔脱小麦与普通小麦所配杂种的产量构成因子中,单株穗数优势与产量优势的相关系数为 0.65,达极显著水平;千粒重优势与产量优势的相关系数是 0.43,达显著水平;主穗粒数优势与产量优势的相关不显著,其相关系数仅为 0.07。密穗小麦与普通小麦所配杂交种单株穗数优势与产量优势的相关系数为 0.77。达极显著水平;千粒重优势与产量优势的相关系数是 0.11,其相关不显著;可育小穗优势与产量优势的相关系数为 0.55,达极显著水平,主穗粒数优势与产量优势的相关系数为 0.62,达极显著水平,可能说明可育小穗数的多少通过影响穗粒数而作用于每株产量的大小。单株穗数及主穗粒数与产量的关系在密穗小麦与普通小麦种间杂种中较为密切,而在斯卑尔脱小麦与普通小麦种间杂种中单株穗数及千粒重与产量的关系较为密切。两类种间杂种穗长优势明显不同,且与产量优势的相关系数也不同,从  $F_1$  的穗部形态上说明了斯卑尔脱小麦和密穗小麦的遗传差异。两类杂种的株高优势与产量优势的相关均达极显著水平,可能说明株高优势对产量优势的形成有一定的作用。

## 2.4 小麦种间杂种的品质性状

对于小麦种间杂种的品质性状分析(表 4)发现:

表 4 小麦种间杂种籽粒的品质性状表现及超亲优势

1999—2000 年

组 合	蛋白质	硬度	湿面筋	沉淀值	组 合	蛋白值	硬度	湿面筋	沉淀值
3226/Pi295062	12.7(1.6)	52.4(74.7)	39.1(0)	23(-8)	3226/c028	11.9(-4.8)	32.7(9.0)	36.1(-7.7)	27(8.0)
3226/Seriel	13.2(5.6)	46.3(54.3)	40.7(4.1)	24.6(-1.6)	3226/C5	11.6(-7.2)	37.8(26.0)	35.1(-10.2)	24.8(-0.8)
3226/Hubel	12.2(-2.4)	32.2(7.3)	37.3(-4.6)	26.8(7.2)	3226/C7	11.3(-9.6)	41.8(39.3)	34(-13.1)	21.8(-12.8)
3226/Di4	12.1(-3.2)	40(33.3)	37.2(-4.9)	23.2(-7.2)	3226/C30	11.8(-5.6)	32.2(7.3)	35.8(-8.4)	25.8(3.2)
3226/S-6	12.7(1.6)	49.1(63.7)	39.4(0.8)	23.4(-6.4)	3226/C38	13(14.0)	56(86.7)	39.6(-1.3)	17.2(-31.2)
3429/Pi295062	12.9(4.9)	67.4(-29.7)	39.3(5.9)	17.6(8.6)	3429/c028	12.2(-0.8)	85.3(-10.9)	36.9(-0.5)	18.8(16.1)
3429/Seriel	11.9(-3.3)	73(-23.8)	35.4(-4.6)	17.8(9.9)	3429/C5	11.9(-3.3)	49.8(-48.0)	36(-3.0)	21.3(31.5)
3429/Hubel	11.5(-6.5)	61.8(-35.5)	34.3(-7.5)	19.2(18.8)	3429/C7	11.6(-5.7)	60.7(-36.7)	35(-5.7)	17(5.0)
3429/Di4	11.3(-8.1)	62.5(-34.8)	34.1(-8.1)	16.8(3.7)	3429/C30	11.9(-3.3)	67.6(-29.4)	36.3(-2.2)	19(17.3)
3429/S-6	11.8(-4.1)	64(-33.2)	35.7(-3.8)	19.2(18.5)	3429/C38	11.7(-4.9)	65.5(-31.6)	34.8(-6.2)	17.4(7.4)
3330/Pi295062	13.2(8.2)	85.2(-7.5)	41.4(12.8)	14.2(24.6)	3330/c028	12(-1.6)	81.9(-11.1)	36.7(0)	15.6(36.8)
3330/Seriel	13.9(13.9)	84.4(-8.4)	43.4(18.3)	16.8(43.4)	3330/C5	11.9(-2.5)	63.4(-31.2)	35.4(-3.5)	16.3(43.0)
3330/Hubel	12.2(0)	59.2(-35.7)	36.7(0)	16.2(42.1)	3330/C7	11.8(-3.3)	76.4(-17.2)	36.2(-1.4)	12.7(11.4)
3330/Di4	12(-1.6)	84(-8.8)	36.7(0)	13.4(17.5)	3330/C30	11.8(-3.3)	56.5(-38.7)	36.4(-0.8)	12.5(9.7)
3330/S-6	14.5(18.9)	88.3(-4.1)	45.7(24.5)	16(40.4)	3330/C38	12.8(4.9)	64(-30.5)	39(-6.27)	15.7(37.9)
2410/Pi295062	13.8(-0.7)	79.5(-27.1)	42.6(-2.3)	18.7(28.1)	2410/c028	11.7(-15.8)	63.9(-41.4)	35.1(-19.5)	20.5(40.4)
2410/Seriel	13.7(-1.4)	77.6(-28.8)	43.1(-1.2)	18.3(25.3)	2410/C5	11.8(-15.1)	70.1(-35.7)	35.8(-17.9)	20.7(41.8)
2410/Hubel	13(-6.5)	67.2(-38.4)	40.8(-6.4)	19.5(33.6)	2410/C7	12.3(-11.5)	64.7(-40.6)	37.6(-13.8)	15.5(6.2)
2410/Di4	12.8(-7.9)	61.1(-44)	39.8(-8.7)	18.7(28.1)	2410/C30	12.1(-13.0)	67.8(-37.8)	36.6(-16.1)	17.3(18.5)
2410/S-6	12.6(-9.4)	102.8(-5.7)	38.9(-10.8)	21.7(48.6)	2410/C38	12.3(-1.5)	67.6(-37.9)	37.4(-4.4)	17.7(21.2)
71-3/Pi295062	13.7(7.0)	75.7(-26.9)	41.8(6.9)	19.1(-2.6)	71-3/c028	12.4(-3.1)	92.5(-10.7)	38.1(-2.6)	20.5(4.6)
71-3/Seriel	12.9(0.8)	65.6(-36.7)	40.1(2.6)	19.9(1.5)	71-3/C5	11.5(-10.1)	67.1(-35.2)	34.8(-1)	16.3(-16.8)
71-3/Hubel	12.6(-1.6)	47.7(-54)	38.3(-2.1)	16.3(-16.8)	71-3/C7	11.5(-10.2)	72.5(-30.0)	34.3(-12.3)	17.7(-9.7)
71-3/Di4	12.9(0.8)	72(-30.5)	39(0.3)	15.7(-19.9)	71-3/C30	11.5(-10.2)	62.1(-40.1)	35.2(-10.0)	20.7(5.6)
71-3/S-6	14.8(15.5)	63(-39.2)	46.9(20.0)	18.5(-5.6)	71-3/C38	10.9(-4.8)	60.4(-41.7)	32.1(-17.9)	17.3(-11.7)
3159/Pi295062	13.3(11.8)	81.6(0.5)	40.8(11.8)	19.3(1.6)	3159/c028	12.3(3.4)	59.2(-29.1)	36.6(-0.3)	18.9(-0.5)
3159/Seriel	12.3(3.4)	69.4(-14.5)	37.3(2.2)	18.9(-0.5)	3159/C5	11.6(-2.5)	62.1(-23.5)	34.9(-4.4)	19.5(-2.6)
3159/Hubel	11.8(-0.8)	64.7(-20.3)	35.4(-3.0)	18.7(-1.6)	3159/C7	11.6(-2.5)	62.9(-22.5)	35.3(-3.3)	15.4(-19.0)
3159/Di4	11.9(0)	70.6(-13.1)	36.1(-1.1)	16.7(-12.1)	3159/C30	11.8(-0.8)	57.4(29.3)	34.9(-4.4)	16.2(-14.7)
3159/S-6	13.4(12.6)	74.7(-8.0)	41.8(14.5)	18.7(-1.6)	3159/C38	11.8(-0.8)	65.4(-19.5)	35.3(-3.3)	13.4(-29.5)
杂种平均值	12.8(1.6)	67.4* (-12.5)	39.3(1.9)	18.9(10.7)	杂种平均值	11.9** (-4.5)	62.3* (-19.7)	35.9** (-7.0)	18.4(7.2)
母本平均值	12.6	85.3	38.7	17.6	母本平均值	12.6	85.3	38.7	17.6
超亲组合个数	13	6	12	18	超亲组合个数	3	5	1	19
超亲优势平均	7.6	37.2	9.6	22.5	超亲优势平均	4.1	33.7	0.3	19.9

注:超亲优势指杂种超母本普通小麦的优势。表中括号外为品质性状测定值,括号内为超亲优势值。

\*\*表示极显著差异,\*表示显著差异。

斯卑尔脱小麦与普通小麦所配杂种的籽粒蛋白质含量平均值为 12.8%,大于母本平均值 12.6%,但其差异不显著,其中 13 个组合具正向超亲优势(0.8%~15.6%),其正向优势平均值为 7.6%;而密穗小麦与普通小麦所配杂种的籽粒蛋白质含量平均值为 11.9%,小于母本籽粒蛋白质含量平均值 12.6%,其差异极显著,仅有 3 个组合具正向超亲优势(3.4%~14%),其正向优势组合平均值为 4.1%,种间杂交种的籽粒蛋白质含量具有比亲本或高或低 2 个不同方向的表现,说明可根据具体育种目标来选择,如可选育低蛋白含量的饼干小麦杂交种或高蛋白含量的面包小麦杂交种等。

普通小麦与斯卑尔脱小麦及普通小麦与密穗小麦所配组合籽粒硬度的平均值分别为67.4和62.2,比母本的平均值85.3低,其差异显著。农大3266组配的10个组合的硬度均具有正向超亲优势(3.3%~86.7%),其平均值为37.2%,其余50个杂种中除3159/Pi295062具微弱(0.5%)的超亲优势外,其它组合都表现负优势,表明2类种间杂交种籽粒硬度大多是降低的,但又是受特殊种质即母本农大3226的遗传影响。

普通小麦与斯卑尔脱小麦所配30个种间杂种的湿面筋平均值39.3%,大于母本平均值38.7%,但差异不显著,12个组合具超亲优势,超亲平均值为9.6%,且集中分布在Pi295062、Serlel、美引斯-6所配的组合中。而普通小麦与密穗小麦所配的30个杂种湿面筋含量平均值35.9%、低于母本平均值38.7%,差异极显著,此类组合中除农大3159/密C028具0.27%的超亲优势外,其余均不超亲。说明在斯卑尔脱小麦所配种间杂种中较易选到湿面筋含量超亲的组合,而密穗小麦所配的种间杂种中较易选到湿面筋含量为负优势的组合。

斯卑尔脱小麦及密穗小麦与普通小麦所配组合的沉淀值平均值分别为18.9和18.4,大于母本沉淀值17.6,差异不显著,在以上60个组合中,具有超亲优势(HP)的组合为37个,其中斯卑尔脱小麦所配的组合中18个,密穗小麦所配的组合中19个,表明沉淀值的超亲优势在种间杂种中的表现较普遍。

### 3 讨 论

显著提高小麦杂种的优势幅度是目前成功开发商业化杂交种的紧迫任务之一,Winzeler等<sup>[11]</sup>报道了6个普通小麦与斯卑尔脱小麦杂交组合较好的优势表现,孙其信等<sup>[5,6]</sup>报道了14个普通小麦与斯卑尔脱小麦种间杂交种的单株产量优势平均为69.4%,并提出了利用种间杂种优势、建立新的杂种优势群的思路。本试验中30个普通小麦与斯卑尔脱小麦种间杂种单株产量的杂种优势平均值为109.2%,再次显示这类种间杂种具有十分突出的优势表现(普通小麦品种间单株产量优势的均值为10.50%,变异范围为-1.93~34.73%)<sup>[12]</sup>。斯卑尔脱小麦所配种间杂种的单株穗数及千粒重优势较大且与单株产量的优势相关极显著和显著,Schmid<sup>[13]</sup>也发现了普通小麦与斯卑尔脱小麦杂交种有较突出的千粒重优势,说明杂种的单株穗数和千粒重优势对于单株产量优势的形成起着重要作用。本试验中30个普通小麦与密穗小麦所配种间杂交种的单株产量优势平均值为77.2%,单株穗数优势及千粒重优势也较突出,单株穗数优势与产量优势极显著相关,主穗粒数优势与产量优势的相关极显著,说明密穗小麦与普通小麦所配杂种的单株穗数优势和主穗粒数优势在其单株产量优势的形成中起着重要作用,这和前述普通小麦与斯卑尔脱小麦种间杂种有所不同。虽然不同类型种间杂交种产量优势形成中的对其贡献的主要性状不同,但两类种间杂种产量的突出表现均为杂种优势的利用展现了较为广阔的前景。

本试验中2类种间杂种的株高优势与产量优势的相关极显著,Schmid<sup>[14]</sup>也发现普通小麦与斯卑尔脱小麦杂种有较大的株高优势,可能因为株高优势较大,生物产量也较大,在其他性状(如较大的可结实小穗数优势等性状)的协调下,种间杂交种可获得较高的籽粒产量优势。杂种的株高平均值为82.67 cm,60%的杂种株高在90 cm以下,且杂种F<sub>1</sub>偏早遗传<sup>[6]</sup>。表明亲本在株高和生育期上的差异不是种间杂种小麦成功利用的限制因素,可通过选择加以解决。

值得注意的是,2类种间杂种的可育小穗数分析中,斯卑尔脱小麦所配的种间杂种93.4%

的组合具正向优势、密穗小麦所配的种间杂种 66.7% 具正向优势, 并且穗粒数也表现出一定的杂种优势, 说明种间杂交小麦的育性大多数可达正常, 进一步表明可以考虑用种间杂交的模式拓展小麦的遗传基础<sup>[7]</sup>, 构建各性状及产量的杂种优势群, 为杂交种的生产选育亲本, 这一点与 Winzeler<sup>[11]</sup>的观点一致。

杂交种的籽粒品质是倍受关注的性状, 在品质性状中, 蛋白质含量在小麦营养品质和加工品质中起着重要作用, 本试验中蛋白质含量在较多斯卑尔脱小麦所配的种间杂种籽粒中得到提高, 其湿面筋含量在较多组合中比普通小麦也有所提高, 虽然差异不显著, 同时发现蛋白质含量与湿面筋含量的相关系数为 0.99。密穗小麦所配种间杂种籽粒蛋白质含量比母本普通小麦降低, 湿面筋含量也多为负优势, 蛋白质含量及湿面筋含量与普通小麦此项指标的差异达极显著水平, 且发现其蛋白质含量与湿面筋含量的相关系数为 0.97, 说明可以根据一种性状对另一性状进行间接选择。小麦籽粒硬度是与磨粉品质相关的一个重要指标, 种间杂交种的籽粒硬度大多是降低的且差异显著, 但普通小麦中农大 3226 所配组合均具正向优势, 农大 3226 是影响硬度优势的特殊种质, 值得注意利用。沉淀值是反映面筋数量和质量的综合指标, 沉淀值的超亲杂种优势在种间杂种中表现较普遍, 这一点与刘广田<sup>[10]</sup>报道的品种间杂种的沉淀值表现类似, 但种间杂种沉淀值的杂种优势与李振桥<sup>[15]</sup>报道的品种间杂种优势相比其平均值较低。

总之, 以上试验结果的分析表明, 直接或间接地利用种间杂交这种较远缘的杂交模式, 不但可使杂种的产量得到提高, 而且其品质也会有所改善。

### 参 考 文 献

- 1 Duvick D N. Heterosis; Feeding people and protecting natural resources. The genetics and exploitation of heterosis in crops. proceeding of an international symposium; CIMMYT, Mexico City, Mexico, 17~22, August 1999, 19~29 American Society of Agronomy, Madison, USA
- 2 Jordaan J P. 杂种小麦——进展与挑战: 提高小麦产量潜力. 何中虎译. 北京: 中国科学技术出版社, 1999, 78~91
- 3 Peterson C J. Yield and stability factor associated with hybrid wheat. *Euphytica*, 1998, 737: 116~120
- 4 张爱民, 黄铁城. 杂种优势利用途径与研究进展. *作物杂志*, 1997, (5): 16~20
- 5 孙其信, 黄铁城, 倪中福. 小麦杂种优势群的研究: I. 利用 RAPD 标记研究小麦品种间遗传差异. *农业生物技术学报*, 1996, 4(2): 103~110
- 6 孙其信, 倪中福, 刘志勇, 等. 普通小麦与斯卑尔脱种间杂种优势的初步研究. *中国农业大学学报*, 1998, 3(1): 10
- 7 倪中福, 孙其信, 刘志勇. 小麦杂种优势群的研究: II. 普通小麦、西藏半野生小麦和斯卑尔脱小麦 RAPD 分子标记遗传差异研究. *农业生物技术学报*, 1997, 5(2): 103~111
- 8 崔国惠, 倪中福, 刘志勇, 等. 小麦杂种优势群的研究: III. 普通小麦与斯卑尔脱小麦微卫星分子标记遗传差异研究. *农业生物技术学报*, 1999, 7(4): 333~338
- 9 Siedler H, Winzeler H. Genetic diversity in European wheat and spelt wheat material based on RFLP data. *Theor Appl Genet*, 1994, 88(8): 994~1003
- 10 刘广田, 刘恩忠, 李岩. 小麦籽粒蛋白质、赖氨酸含量、SDS 沉淀值在杂种一代中的遗传表现. *北京农业大学学报*, 1986, 12(3): 243~249
- 11 Winzeler H, Schmid J E, Winzeler M. Analysis of yield potential and yield components of F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> hybrids of crosses between wheat and spelt. *Euphytica*, 1993, 24(3): 211~218
- 12 吴利民, 倪中福, 孙其信, 等. 小麦杂种及亲本苗期叶片家族基因差异表达及其与杂种优势关系的初步研究. *遗传学报*, 2001, 18(3): 256~266
- 13 Schmid J E, Winzeler H. Genetic study of crosses between common wheat and spelt. *J Genetics and Breeding*, 1990, 44(2): 75~80
- 14 Schmid J E, Winzeler H, Rimle R, et al. Studies on the progeny from wheat × spelt crosses. *Bericht uber die Arbeitstagung*, 1992: 35~43
- 15 李振桥, 张胜爱, 杨海川. 小麦品质性状沉降值在 F<sub>1</sub> 代的杂种优势及配合力表现. *国外农学—麦类作物*, 1996, (6): 7~9