科 学 通 报
第 42 卷 第 17 期 Chinese Science Bulletin 1997 年 9 月

【研究简报】

小麦旗叶水分利用效率比较研究

张正斌 山 仑
(中国科学院、水利部水土保持研究所，黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室，杨陵 712100)

关键词 小麦 旗叶 水分利用效率

在世界小麦生产中，旱地小麦面积占有多数，水地小麦也在不断发展. 无论水旱地小麦育种，都是在一定水分条件下，选育高水分利用效率类型的品种，以获得高产高效. 叶片水分利用效率(WUE=光合速率/蒸腾速率)的改良，是提高大田水分利用效率的生理基础. 关于小麦水分利用效率进化的研究还不多见[1~3].

1 实验方法

选用 44 个具有代表性的小麦近缘种和现代栽培品种及新品系，1995.10～1996.6 进行灌溉密植和干旱稀植大田实验. 四行区，行距 0.25 m，行长 2 m，密植株距 0.025 m，稀植株距 0.05 m. 干旱处理，播前 0～2 m 土层含水量平均 12%；全生育期未灌溉，同期降水比常年少 36%，属干旱年份. 灌溉处理冬灌和春灌两次. 在抽穗至开花期，用英国 ADC 公司生产的 LCA-3 型便携式光合仪，在 10，14，16 时对旗叶光合、蒸腾速率进行测定，随机取样重复 3～4 次.

2 结果与讨论

在灌溉条件下，在 W_{10}，W_{14}，W_{16}和 $\overline{W}$ 16 组测定值中，不同染色体倍数 WUE 平均值大小顺序为：$6n$(AABBDD，AAAAGG)＞$4n$(AABB，AAGG)＞$2n$(AA，DD)(见表 1).

在旱地条件下，在 W_{10}，W_{14}，W_{16}和 $\overline{W}$ 16 组测定值中，不同染色体倍数 WUE 平均值大小顺序为：$4n$(AABB，AAGG)≥$6n$(AABBDD，AAAAGG，AABBRR)＞$2n$(AA，DD，RR)(见表 2、3).

在旱地条件下，小黑麦的 WUE，就 $\overline{W}$ 来讲，AABBDDRR＞AABBRR＞RR(法国黑麦)＞RR(贵州黑麦). 但在每天 3 次的 W_{10}，W_{14}，W_{16}测定中的排序却不尽相同(见表 2).

在 A，G 染色体组的 WUE 中，无论灌溉和旱地条件下，在 W_{10}，W_{14}，W_{16}和 $\overline{W}$ 16 组测定值中，均是 AAAAGG＞AAGG 和 AA，但 AAGG 却有时＜AA(见表 1～3).

由以上结果可以看出，在小麦进化中，随着染色体倍数由 $2n\rightarrow4n\rightarrow6n$ 的递增，小麦旗叶水分利用效率有进一步提高的趋势. 但各类基因型并非完全按以上次序排列，有个别组还有例外. 这与测定时环境不尽一致，以及随机取样误差有关.

(ⅰ)二倍体 WUE. 在 AA 染色体组的 WUE 中，有 7/12 组是栽培一粒小麦≥野生一粒小麦(见表 1～3). 在 RR 染色体组的 WUE 中，在旱地条件下，均是法国黑麦＞贵州黑麦(见表 2). 在 AA，DD，RR 染色体组的 WUE 之间，在灌溉条件下，均是 AA＞DD(见表 1). 在旱地条件下，4/8 组是 AA＞DD，其他组是 AA(野生一粒或栽培一粒)＞DD(见表 2、3)，在旱地条件下，W_{14}和 W_{16}的排序均是 AA＞DD＞RR(见表 2).

表 1　灌溉条件下 $2n\sim6n$ 小麦的 WUE($\mu mol\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}/mmol\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$)(1996-05-20)

名称	染色体	W_{10}	名称	染色体	W_{14}	名称	染色体	W_{16}	名称	染色体	$\overline{W}$
瓦维洛夫	AABBDD	3.50	莫迦小麦	AABBDD	2.02	野生二粒	AABB	2.36	瓦维洛夫	AABBDD	2.33
普通小麦	AABBDD	3.27	瓦维洛夫	AABBDD	1.96	茹可夫斯基	AAAAGG	2.19	茹可夫斯基	AAAAGG	2.25
茹可夫斯基	AAAAGG	3.14	密穗小麦	AABBDD	1.75	密穗小麦	AABBDD	1.54	野生二粒	AABB	2.15
圆锥小麦	AABB	2.66	野生二粒	AABB	1.61	圆锥小麦	AABB	1.53	莫迦小麦	AABBDD	1.98
硬粒小麦	AABB	2.61	印度圆粒	AABBDD	1.58	瓦维洛夫	AABBDD	1.53	普通小麦	AABBDD	1.95
野生一粒	AA	2.54	圆锥小麦	AABB	1.52	莫迦小麦	AABBDD	1.45	圆锥小麦	AABB	1.90
斯卑尔脱	AABBDD	2.51	普通小麦	AABBDD	1.50	东方小麦	AABB	1.44	密穗小麦	AABBDD	1.86
栽培一粒	AA	2.47	茹可夫斯基	AAAAGG	1.43	栽培一粒	AA	1.43	印度圆粒	AABBDD	1.81
野生二粒	AABB	2.47	东方小麦	AABB	1.38	提莫菲维	AAGG	1.42	野生一粒	AA	1.74
栽培二粒	AABB	2.47	斯卑尔脱	AABBDD	1.38	野生一粒	AA	1.41	栽培一粒	AA	1.74
莫迦小麦	AABBDD	2.47	波斯小麦	AABB	1.33	印度圆粒	AABBDD	1.40	栽培二粒	AABB	1.72
印度圆粒	AABBDD	2.44	栽培一粒	AA	1.32	栽培二粒	AABB	1.38	东方小麦	AABB	1.69
密穗小麦	AABBDD	2.30	栽培二粒	AABB	1.32	波斯小麦	AABB	1.19	斯卑尔脱	AABBDD	1.68
东方小麦	AABB	2.26	野生一粒	AA	1.28	斯卑尔脱	AABBDD	1.14	提莫菲维	AAGG	1.52
波斯小麦	AABB	1.94	提莫菲维	AAGG	1.22	方穗山羊草	DD	1.10	硬粒小麦	AABB	1.50
提莫菲维	AAGG	1.92	方穗山羊草	DD	1.04	普通小麦	AABBDD	1.09	波斯小麦	AABB	1.49
方穗山羊草	DD	1.78	硬粒小麦	AABB	0.86	硬粒小麦	AABB	1.10	方穗山羊草	DD	1.31
$6n$ AABBDD, AAAAGG		2.81			1.66			1.48			1.98
$4n$ AABB, AAGG		2.33			1.32			1.48			1.71
$2n$ AA, DD		2.26			1.21			1.31			1.60

表2 旱地条件下 $2n\sim8n$ 小麦的 WUE($\mu mol\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}/mmol\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$) (1996-05-11)

名称	染色体	W_{10}	名称	染色体	W_{14}	名称	染色体	W_{16}	名称	染色体	$\overline{W}$
斯卑尔脱	AABBDD	4.53	野生一粒	AA	2.47	圆锥小麦	AABB	2.56	斯卑尔脱	AABBDD	2.98
方穗山羊草	DD	4.23	圆锥小麦	AABB	2.23	八倍体小黑麦	AABBDDRR	2.54	野生一粒	AA	2.76
茹可夫斯基	AAAAGG	3.64	东方小麦	AABB	2.19	栽培二粒	AABB	2.45	圆锥小麦	AABB	2.75
东方小麦	AABB	3.61	栽培一粒	AA	2.05	斯卑尔脱	AABBDD	2.38	茹可夫斯基	AAAAGG	2.62
野生二粒	AABB	3.55	斯卑尔脱	AABBDD	2.03	野生一粒	AA	2.33	栽培二粒	AABB	2.61
栽培二粒	AABB	3.53	茹可夫斯基	AAAAGG	1.90	茹可夫斯基	AAAAGG	2.33	东方小麦	AABB	2.50
小佛手	AABBDD	3.53	栽培二粒	AABB	1.86	小佛手	AABBDD	2.29	野生二粒	AABB	2.48
圆锥小麦	AABB	3.48	密穗小麦	AABBDD	1.82	野生二粒	AABB	2.09	方穗山羊草	DD	2.38
野生一粒	AA	3.47	小佛手	AABBDD	1.81	栽培一粒	AA	1.97	栽培一粒	AA	2.32
提莫菲维	AAGG	3.43	野生二粒	AABB	1.79	印度圆粒	AABBDD	1.93	印度圆粒	AABBDD	2.26
普通小麦	AABBDD	3.41	硬粒小麦	AABB	1.79	密穗小麦	AABBDD	1.91	硬粒小麦	AABB	2.25
莫迦小麦	AABBDD	3.34	印度圆粒	AABBDD	1.77	东方小麦	AABB	1.71	密穗小麦	AABBDD	2.21
硬粒小麦	AABB	3.29	提莫菲维	AAGG	1.69	硬粒小麦	AABB	1.68	八倍体小黑麦	AABBDDRR	2.16
瓦维洛夫	AABBDD	3.27	波斯小麦	AABB	1.68	波斯小麦	AABB	1.67	瓦维洛夫	AABBDD	2.15
法国黑麦	RR	3.11	六倍体小黑麦	AABBRR	1.67	瓦维洛夫	AABBDD	1.63	莫迦小麦	AABBDD	2.14
波斯小麦	AABB	2.97	莫迦小麦	AABBDD	1.61	小偃蓝粒	AABBDD/E	1.50	提莫菲维	AAGG	2.14
栽培一粒	AA	2.95	瓦维洛夫	AABBDD	1.56	方穗山羊草	DD	1.49	波斯小麦	AABB	2.10
小偃蓝粒	AABBDD/E	2.95	小偃蓝粒	AABBDD/E	1.54	莫迦小麦	AABBDD	1.48	小佛手	AABBDD	2.04
密穗小麦	AABBDD	2.90	八倍体小黑麦	AABBDDRR	1.51	提莫菲维	AAGG	1.31	普通小麦	AABBDD	1.94
印度圆粒	AABBDD	2.88	方穗山羊草	DD	1.42	法国黑麦	RR	1.31	六倍体小黑麦	AABBRR	1.70
八倍体小黑麦	AABBDDRR	2.47	普通小麦	AABBDD	1.40	普通小麦	AABBDD	1.03	法国黑麦	RR	1.60
六倍体小黑麦	AABBRR	1.81	贵州黑麦	RR	1.08	六倍体小黑麦	AABBRR	1.01	小偃蓝粒	AABBDD/E	1.19
贵州黑麦	RR	1.48	法国黑麦	RR	0.97	贵州黑麦	RR	0.58	贵州黑麦	RR	1.06
$6n$ AABBDD, AAAAGG, AABBRR		3.23			1.71			1.75			2.12
$4n$ AABB, AAGG		3.46			1.89			1.92			2.40
$2n$ AA, DD, RR		3.05			1.60			1.53			2.02

表 3　旱地条件下野生种和现代品种 WUE ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}/mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) (1996-05-18)

名称	染色体	W_{10}	名称	染色体	W_{14}	名称	染色体	W_{16}	名称	染色体	$\overline{W}$
斯卑尔脱	AABBDD	3.09	栽培二粒	AABB	1.90	栽培一粒	AA	2.20	栽培一粒	AA	2.16
栽培二粒	AABB	3.03	小偃 6 号*	AABBDD	1.77	斯卑尔脱	AABBDD	2.00	栽培二粒	AABB	2.15
栽培一粒	AA	3.00	陕合 6 号	AABBDD	1.66	晋麦 33	AABBDD	1.67	陕合 6 号	AABBDD	1.96
密穗小麦	AABBDD	2.78	栽培一粒	AA	1.61	圆锥小麦	AAB	1.56	斯卑尔脱	AABBDD	1.95
东方小麦	AABB	2.64	临旱 88-3	AABBDD	1.45	栽培二粒	AABB	1.53	小偃 6 号*	AABBDD	1.75
陕合 6 号	AABBDD	2.63	碧蚂 1 号*	AABBDD	1.41	硬粒小麦	AABB	1.50	圆锥小麦	AABB	1.74
圆锥小麦	AABB	2.60	方穗山羊草	DD	1.38	东方小麦	AABB	1.48	陕 7859*	AABBDD	1.70
碧蚂 1 号*	AABBDD	2.57	长武 131	AABBDD	1.38	密穗小麦	AABBDD	1.48	晋麦 33	AABBDD	1.65
陕 7859*	AABBDD	2.55	京农 79-13	AABBDD	1.22	陕 229	AABBDD	1.46	临旱 88-3	AABBDD	1.62
硬粒小麦	AABB	2.47	圆锥小麦	AABB	1.20	陕合 6 号	AABBDD	1.45	东方小麦	AABB	1.61
野生二粒	AABB	2.41	野生二粒	AABB	1.17	陕 7859*	AABBDD	1.45	密穗小麦	AABBDD	1.61
临旱 88-3	AABBDD	2.34	陕 7859*	AABBDD	1.14	小偃 6 号*	AABBDD	1.40	碧蚂 1 号*	AABBDD	1.61
晋麦 33	AABBDD	2.20	斯卑尔脱	AABBDD	1.09	临旱 88-3	AABBDD	1.36	野生二粒	AABB	1.59
小偃 6 号*	AABBDD	2.11	晋麦 33	AABBDD	0.96	野生二粒	AABB	1.35	硬粒小麦	AABB	1.58
京农 79-13	AABBDD	2.10	东方小麦	AABB	0.95	京农 79-13	AABBDD	1.34	京农 79-13	AABBDD	1.53
茹可夫斯基	AAAAGG	1.98	密穗小麦	AABBDD	0.95	方穗山羊草	DD	1.27	长武 131	AABBDD	1.40
长武 131	AABBDD	1.94	陕 229	AABBDD	0.92	碧蚂 1 号*	AABBDD	0.99	方穗山羊草	DD	1.37
波斯小麦	AABB	1.90	硬粒小麦	AABB	0.90	长武 131	AABBDD	0.97	茹可夫斯基	AAAAGG	1.25
野生一粒	AA	1.89	茹可夫斯基	AAAAGG	0.90	茹可夫斯基	AAAAGG	0.88	陕 229	AABBDD	1.15
陕 229	AABBDD	1.88	泰山 1 号*	AABBDD	0.82	野生一粒	AA	0.56	野生一粒	AA	0.90
泰山 1 号*	AABBDD	1.51	波斯小麦	AABB	0.48	泰山 1 号*	AABBDD	0.39	泰山 1 号*	AABBDD	0.86
方穗山羊草	DD	1.45	野生一粒	AA	0.22	波斯小麦	AABB	0.36	波斯小麦	AABB	0.80
6*n* AABBDD, AAAAGG		2.28			1.09			1.30			1.54
4*n* AABB, AAGG		2.51			1.10			1.30			1.58
2*n* AA, DD, RR		2.11			1.07			1.34			1.48

* 为水地品种

(ⅱ)四倍体 WUE. 在灌溉和旱地条件下,很明显是大多数 AABB 基因型的 WUE 高于 AAGG 基因型的 WUE(见表1、表2). 在四倍体小麦中圆锥小麦、栽培二粒、野生二粒、东方小麦 WUE 较高,硬粒小麦居中;提莫菲维、波斯小麦 WUE 较低(见表1~3). 就二粒小麦来讲,在灌溉条件下,是野生二粒≥栽培二粒(见表1). 在旱地条件下,有7/8组是栽培二粒小麦>野生二粒小麦(见表2、3).

由以上结果可以看出:在二倍体和四倍体水平上,随着由野生种到栽培种的驯化,水分利用效率有提高的趋势.

(ⅲ)六倍体 WUE. 在灌溉条件下,瓦维洛夫、茹可夫斯基小麦 WUE 较高;莫迦小麦、普通小麦、印度圆粒、密穗小麦居中;斯卑尔脱小麦 WUE 较低(见表1). 在旱地条件下,斯卑尔脱小麦 WUE 较高,印度圆粒、密穗小麦居中;瓦维洛夫、莫迦小麦、普通小麦 WUE 较低(见表2、3). 这说明在旱地条件下,更加原始的低产型六倍体小麦种 WUE 较高;在灌溉条件下,曾经大面积种植的高产型六倍体小麦种的 WUE 较高.

在旱地条件下的 W_{10}排序中,可明显看出,水地品种陕7859、小偃6号、丰产3号 WUE 较高,多数旱地品种 WUE 较低;在 W_{14}和 W_{16}的排序中,旱地品种晋麦33、临旱88-3、陕合6号的 WUE 较高(见表4). 由此可说明在10时,干旱胁迫较轻时,高产型水地品种 WUE 较高,在14和16时,干旱胁迫严重时,则低产型旱地品种 WUE 较高(见表3、4).

水旱地品种都有高低 WUE 类型之分. 就 $\overline{W}$ 来讲,水地品种陕7859、小偃6号 WUE 较高,丰产3号、陕160、西农85WUE 居中;碧蚂1号 WUE 较低. 旱地品种中,晋麦33、陕合5号 WUE 较高,长武131、京农79-13、中安83-001、宁冬1号居中;陕229、济宁84437、旱选10号 WUE 较低(见表3、4)

表4 旱地条件下现代品种 WUE($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}/mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)(1996-05-08)

名称	W_{10}	名称	W_{14}	名称	W_{16}	名称	$\overline{W}$
陕7859*	4.77	晋麦33	2.55	晋麦33	3.08	陕7859*	3.20
小偃6号*	3.95	临旱88-3	2.42	中安83-001	2.33	晋麦33	2.73
丰产3号*	3.73	宁冬1号	2.39	小偃6号*	2.20	小偃6号*	2.68
泰山1号*	3.68	陕合6号	2.29	陕160*	2.11	泰山1号*	2.49
京农79-13	3.04	陕7859*	2.23	陕7859*	2.08	丰产3号*	2.46
长武131	3.02	陕160*	2.13	京农79-13	2.06	宁冬1号	2.39
西农87(27)	2.98	陕229	2.10	长武131	2.00	京农79-13	2.37
陕229	2.95	中安83-001	2.09	西农85*	1.91	陕160*	2.31
宁冬1号	2.93	丰产3号*	2.04	宁冬1号	1.85	长武131	2.28
西农85*	2.86	京农79-13	2.02	泰山1号*	1.84	中安83-001	2.27
旱选10号	2.75	西农85*	1.99	西农87(27)	1.82	西农87(27)	2.25
陕160*	2.70	西农87(27)	1.96	碧蚂1号*	1.78	西农85*	2.25
济宁84437	2.63	泰山1号*	1.95	临旱88-3	1.76	陕合6号	2.19
陕合6号	2.57	小偃6号*	1.91	旱选10号	1.74	陕229	2.10
晋麦33	2.57	济宁84437	1.89	陕合6号	1.71	旱选10号	2.10
碧蚂1号*	2.55	旱选10号	1.82	丰产3号*	1.60	碧蚂1号*	2.04
中安83-001	2.41	长武131	1.82	陕229	1.26	临旱88-3	2.03
临旱88-3	1.93	碧蚂1号*	1.79	济宁84437	1.26	济宁8443?	1.92

* 为水地品种

从表3中的 $\overline{W}$ 排序来看,现代品种陕合6号(>斯卑尔脱小麦)、小偃6号(>圆锥小麦)、陕7859、晋麦33和临旱88-3的 WUE 均大于六倍体种密穗小麦和茹可夫斯基小麦,还大于个别二倍体和四倍体小麦. 从表4中 $\overline{W}$ 排序来看,多数大面积推广水地品种WUE 较高,旱地品种 WUE 较低.

由以上结果可以看出:随着由野生种到栽培品种的驯化,由旱地低产型到水地高产型的进

科 学 通 报
第 42 卷 第 17 期 Chinese Science Bulletin 1997 年 9 月

【研究简报】

蜂王一雌多雄交配对蜜峰群体行为影响的研究

欧阳燕① 吴黎明② 金 锋① 石 巍② 白琴华① 刘先蜀②*
(①中国科学院遗传研究所，北京 100101；②中国农业科学院蜜蜂研究所，北京 100093. * 联系人)

关键词 中华蜜蜂(*Apis cerana* F.) DNA 指纹 一雌多雄 行为

在蜜蜂群体中，由于蜂王一雌多雄的交配方式，在蜂群中出现了超同胞(super-sisters，由同父同母生育的子代)和半同胞(half-sisters，由同母异父生育的子代)关系，于是也就出现了多个“小家庭”，而各个“小家庭”的母亲即为该群蜂的蜂王，其父亲则分别为与该蜂群中蜂王交配的雄蜂. 蜂群中的工蜂在各种社会分工机制中起着各自不同的作用. 多年以来，有很多研究者都曾对蜜蜂这种一雌多雄的交配方式所产生的工蜂个体间以及群内的遗传类型多样性感兴趣. 早期的研究仅限于工蜂体色的变化，80 年代，Micheal[1)]等人曾利用凝胶电泳技术，分别对蜂群中担任采蜜、采粉、清扫，警卫等工作的各组工蜂的同工酶进行过分析，发现上述各组工蜂之间在同功酶上有着明显的差异，但无法将群内各“小家庭”的成员进行识别. 近几年来，Fondrk[1]和 Moritz 等人[2]利用 DNA 指纹技术，已能准确地对西蜂(*Apis mellifera* L.)蜂群中各“小家庭”成员进识别. 还有研究表明，同一个“小家庭”的工蜂在行为上趋于同一性，不同“小家庭”的工蜂在行为上有较大的差异. 但对中华蜜蜂却未见有以上类似研究的报道. 因此，我们通过对中华蜜蜂群内各“小家庭”成员间在行为上相互关系的观察，并利用寡聚核苷酸 DNA 指纹技术对“小家庭”成员遗传背景进行分析，探明蜂王一雌多雄交配对中华蜜蜂群体行为的影响以及对蜂群的生存和发展意义.

1 材料和方法

(1)实验材料. 本研究材料是来自北京市房山县蒲洼乡自然交配的中华蜜峰，在此蜂群

化，小麦旗叶 WUE 有递增的趋势.

致谢 本工作为国家“攀登”计划、国家自然科学基金(批准号：39470430)和陕西省自然科学基金(批准号：96SM28)资助项目.

参 考 文 献

1 Farquar G D, Richard R A. Isotopic composition of plant carbon correlates with water use efficiency of wheat gentypies. Aust J Plant Physiol, 1984, 11: 539～552
2 Richards R A. 受旱小麦叶面积的发育变化及其对水分利用、产量及收获指数的影响. 国外农学——麦类作物，1989，2：20～25
3 张福锁. 环境胁迫与植物育种. 北京：农业出版社，1993. 120～140

(1997-02-10 收稿，1997-05-04 收修改稿)

---

1) Micheal D B, Page R E. The genetics of social evolution. 1991 15～19, 26～80