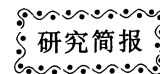


DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.02296



我国水稻常用保持系穗期耐旱性测评及育性分析

陶龙兴 符冠富 宋建 乐明凯 王熹*

中国水稻研究所水稻生物学国家重点实验室, 浙江杭州 310006

摘要: 以负压式土壤湿度计和取土烘干法双重监控盆栽试验的土壤水势变化, 观测我国 15 个常用水稻保持系的穗期耐旱性和育性特征。结果表明, K22-B、金 23-B 及 II-32-B 等保持系为穗期干旱胁迫钝感材料, 而珍汕 97-B、中 9-B 及协青早-B 等为穗期干旱胁迫敏感材料; 参试保持系在开花期(花粉粒充实期到小穗灌浆初期)比孕穗期(花粉母细胞减数分裂期到花粉粒充实期, 15 d)对干旱胁迫更敏感; 保持系孕穗期干旱胁迫主要伤害颖花育性, 其胁迫指数与空壳率正相关($r = 0.6988^{**}$), 开花期干旱胁迫不仅伤害颖花育性并影响小穗充实, 其胁迫指数与空壳率正相关($r = 0.7660^{**}$), 也与秕谷率正相关($r = 0.5230$); 穗期耐旱性与其正常生育条件下的穗部结实性状不具直接相关性。

关键词: 水稻保持系; 干旱胁迫; 胁迫指数; 开花期

Evaluation of Drought Tolerance and Fertility Traits for Rice Maintainer Lines Extensively Used in China

TAO Long-Xing, FU Guan-Fu, SONG Jian, LE Ming-Kai, and WANG Xi*

National Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China

Abstract: By monitoring soil moisture using both soil moisture meter and soil sampling method, we evaluated the drought tolerance of maintainer lines at panicle stage. Results showed that: (1) the maintainer lines K22-B, Jin 23-B, and II-32-B were drought-insensitive at panicle stage, while Zhenshan 97-B, Zhong 9-B, and Xieqingzao-B were drought-sensitive; (2) the tested maintainer lines were more sensitive to drought stress at flowering stage (from pollen filling stage to spikelets filling stage) than at booting stage (from meiosis stage of pollen mother cell to pollen filling stage); (3) drought stress at booting stage mainly injured the spikelet fertility and there was a positive correlation between stress index and percentage of unfilled grains ($r = 0.6988^{**}$), and drought stress at flowering stage injured both the fertility and plumpness of spikelets, the percentage of unfilled grains and the percentage of non-fully filled grains exhibited a positive correlation with stress index ($r = 0.7660^{**}$ and $r = 0.5230$ respectively); (4) there was no correlation between drought tolerance at panicle stage and grain setting characteristics under normal condition.

Keywords: Rice maintainer line; Drought stress; Stress index; Flowering stage

我国水情脆弱, 人均淡水年占有量不及世界平均水平的 1/5。作为一个农业用水大国, 我国农业用水量约占可用淡水资源的 80%, 其中稻作年耗水量又占农业用水量的 68%^[1], 亦即我国每年稻作耗水量占年淡水资源的 1/2。过去几十年的实践表明, 我国稻作生产仍然处于“吨水斤粮”低生产效率状态, 水资源高消耗已不堪重负, 发展稻作节水是我国干旱缺水“三北”稻区的权宜技术和重要目标^[2]。在维护粮食安全前提下, 革新稻作技术, 节制灌溉用水, 维护生态安全, 也已成为我国经济社会持续发展的战略一环^[3]。在当前水资源紧缺条件下, 发展稻作节水技术和革新水稻灌溉制度是当务之急。一些重要的技术

诸如“水稻节水旱作”^[2]、水稻覆膜栽培^[4-5]、水稻“麦作式”湿种技术等非充分灌溉(适度亏缺灌溉)技术方面的研究逐渐成为我国稻作技术栽培研究的前沿课题^[6-7], 其核心是选育耐旱水稻品种(组合)。近几十年来, 关于水稻品种(组合)不同生育期耐旱性及对土壤环境的响应研究^[8-9], 以及水稻水植和旱植的比较研究等^[11]已有诸多报道, 但对穗期耐旱性和育性特征研究比较少见, 而穗期是水稻对土壤水分状态最敏感的时期, 品种/组合的抗旱性与穗期的抗旱性高度相关。本文取材于我国常用不育系的相应保持系, 在人工设置的干旱胁迫条件下比较研究它们的穗期耐旱性, 为选育耐旱性杂交组合提供相关素材。

本研究由农业部农业结构调整重大技术研究专项(06-03-01B), 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(NYHYZX07-001), 浙江省重点项目(2008C22073, 2009C32048), 浙江省三农五方项目(SN200806)和国家自然科学基金项目(30871473)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 王熹, E-mail: wangxi359@sina.com

第一作者联系方式: E-mail: lxtao@mail.hz.zj.cn

Received(收稿日期): 2009-05-19; Accepted(接受日期): 2009-08-26.

1 材料与方 法

1.1 供试材料

中国水稻研究所育成的 II-32-B、中优-B、优 1-B、中 9-B、四川内江农业科学研究所育成的内香 85-B、内香 II-B、以及 902-B(IR69902, IRRI)、K22-B (四川省农业科学院育成)、菲改-B (四川省内江杂交水稻科技开发中心育成)、博白-B (广西博白县农业科学研究所育成)、珍汕 97-B (浙江省温州市农业科学院育成)、协青早-B (安徽省广德县农业科学研究所育成)、金 23-B (湖南省常德市农业科学研究所育成)、V20-B (湖南省贺家山原种场育成)等 14 个保持系。

1.2 盆栽试验环境条件及干旱胁迫监测

盆栽试验在四边通风的露天网室盆栽场水泥槽进行,网室的顶部用透明尼龙薄膜覆盖以防干旱处理期间雨水的干扰,水泥槽排灌方便。选生育期 60~80 d 的保持系,分期播种力求始穗期一致(± 2 d),直播前用浸种灵(10%二硫氰基甲烷乳油,泰州梅兰农化有限责任公司生产)浸种 48 h,清洗后在 30℃ 条件下催芽,芽谷播种,每盆 20~25 粒,分次间苗至每盆 3 株。盆栽用土为稻田壤黏土,经晒干粉碎过筛后每盆定量装 15 kg,按土肥=1 000:1 施入市售豆饼肥作基肥,为防止稻株徒长倒伏,全生育期不再施肥,手工除草并按需防病治虫。

试验所用塑料盆高 40 cm、上端直径 30 cm,在靠盆底部的侧面开直径 2 cm 的小孔并配橡皮塞,用于干旱处理时排水及堵渗。将塑料盆放在水泥槽的土中,令土没过塑料盆排水小孔 5 cm 左右,以求盆内土壤含水量基本一致。从图 1 可知,随排水干旱进程,土壤水势与土壤持水量呈线性变化。土壤饱和持水量为 50.2%(水土比),届时水势为 0 kPa;随排渗水及土壤棵间蒸发与稻株蒸腾,土壤持水量渐降,土壤水势渐增,至排水 15 d 后(干旱处理结束),土壤持水量下降至 1.5%,相应的水势为 -47 kPa;排(渗)水后 5~6 d,各参试保持系清晨叶尖停止吐水,相继出现剑叶卷叶,继而萎蔫及叶尖枯黄,进而全株各叶片失绿黄枯,这时的土壤持水量为 13%,土壤水势为 -18.5 kPa,此与前人研究水稻发生干旱胁迫时的水势及土壤萎蔫系数相仿^[8-9]。总之,干旱处理系渐进过程,前 5~6 d 仅为水分渐进亏缺,5~6 d 后进入干旱胁迫状态,且伤害日渐加深。

1.3 干旱处理的时期

张瑞珍等^[16]研究了开花期水分胁迫对水稻生长发育及产量的影响,认为水分胁迫在不同生育阶段的产量效应差异显著,其效应由弱到强依次为无效分蘖期、灌浆成熟期、有效分蘖期、拔节孕穗期、开花灌浆期。

本文穗期干旱处理系指孕穗期至开花灌浆初期,孕穗期处理始于抽穗前 12~14 d,涵盖主茎与分蘖约于花粉母细胞减数分裂期、花粉粒形成期、花粉粒充实期。开花结实期处理指主茎破口之日至此 15 d,涵盖分蘖的花粉粒充实末期、开花期及灌浆初期。前一期简称孕穗期干旱

处理,第二期简称开花期干旱处理。

处理时期为孕穗期(期间平均温度 36.7℃,相对湿度 64%),开花期(期间平均温度 34.6℃,相对湿度 66%),穗期(期间平均温度 35.7℃,相对湿度 65%)。干旱处理时拔出塑料盆排水小孔的橡皮塞,使其迅速排水,自然干旱,塑料盆中的水势变化如图 1。

1.4 土壤水分测定与干旱胁迫指数计量

1.4.1 土壤水势测定 将中国科学院南京土壤研究所研制的负压式土层湿度计(张力计)埋于盆栽土层 15 cm 处,逐日记录土壤水势,单位-kPa^[9-10]。

1.4.2 土壤持水量测定 与土壤水势记载同步进行,取 15 cm 深土壤,以 105℃ 烘 24 h 称重,计算水土比,单位为%^[7]。

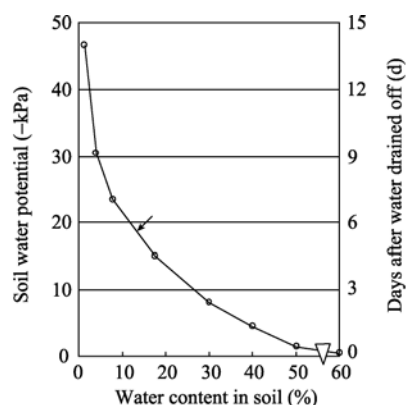
1.4.3 结实性状 将单穗以粒重分实粒、秕粒、空粒,在 40℃ 条件下烘 24 h 后分别称重^[12-13]。

1.4.4 干旱胁迫指数 未经排水干旱处理的“水育”稻株为对照(A),经排(渗)水干旱处理的盆栽稻株为干旱处理(B),[(A 结实率-B 结实率)/A 结实率]为干旱胁迫指数^[14],采用 DPS 统计软件分析数据。

2 结果与分析

2.1 孕穗期干旱对保持系稻株结实的伤害

从表 1 可以看出:(1)孕穗期干旱处理对多数参试保持系稻株的每穗总粒数无明显影响($P>0.05$),其中 K22-B、优 1-B、菲改-B 及内香 85-B 减少明显($P<0.05$);(2)约 80%参试保持系稻株因孕穗期干旱千粒重下降明显($P<0.05$),但其中 II-32-B、902-B 与中 9-B 未下降($P>0.05$);(3)结实率似为干旱胁迫最为敏感的性状,所有参试保持系稻株均因孕穗期干旱结实率下降,其中受干旱伤害最明显的为协青早-B、博白-B、珍汕-B 等,其结实率下降 70%以上,影响较小的保持系是 K22-B、金 23-B 及 II-32-B,它们的结实率下降 10%~20%左右;(4)以干



▽ 土壤饱和持水量 → 稻株剑叶萎蔫开始
▽ Saturation point of water holding → Wilting point for flag leaf

图 1 保持系稻株干旱处理期间土壤持水量及土壤水势
Fig. 1 Water potential and water-holding capacity in soil during drought treatment on rice B-line

表 1 孕穗期干旱对保持系结实的影响
Table 1 Effects of drought treatment during booting stage on grain setting rate

保持系 Maintainer	处理 Treatment	每穗总粒数 Grain numbers per ear	结实率 Grain setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	胁迫指数 Stress index
K22	水育 Water	113.2±11.2 a	53.3±4.1 a	23.78±0.31 a	0.124 a
	干旱 Drought	86.4±9.2 b	46.7±3.2 b	21.40±0.11 b	
金 23 Jin 23	水育 Water	60.0±5.3 a	66.5±3.2 a	23.98±0.22 a	0.131 a
	干旱 Drought	59.9±2.3 a	57.8±4.0 b	20.60±0.12 b	
II-32	水育 Water	121.4±7.1 a	62.5±3.2 a	24.65±0.08 a	0.283 b
	干旱 Drought	123.5±6.7 a	44.8±2.1 b	23.34±0.11 a	
优 I You I	水育 Water	75.5±6.0 a	77.9±4.0 a	19.07±0.56 a	0.317 c
	干旱 Drought	65.7±5.0 b	53.1±2.2 b	10.87±0.55 b	
菲改 Feigai	水育 Water	70.6±5.2 a	65.6±3.2 a	21.72±1.10 a	0.369 cd
	干旱 Drought	65.7±5.8 b	41.4±3.2 b	15.93±0.61 b	
内香 85 Neixiang 85	水育 Water	85.7±10.2 a	68.5±4.0 a	25.20±0.06 a	0.468 d
	干旱 Drought	75.8±9.0 b	35.2±1.0 b	22.99±1.12 b	
V20	水育 Water	72.8±5.0 a	78.1±2.2 a	23.58±0.10 a	0.476 d
	干旱 Drought	72.6±6.1 a	40.9±3.0 b	18.60±0.07 b	
902	水育 Water	100.1±9.1 a	55.9±2.9 a	21.61±0.81 a	0.517 de
	干旱 Drought	96.6±10.0 a	27.0±1.0 b	21.24±0.81 a	
内香 II Neixiang II	水育 Water	104.1±11.2 a	44.9±3.0 a	30.02±0.72 a	0.590 e
	干旱 Drought	108.3±8.2 a	18.4±0.6 b	20.91±0.81 b	
中 9 Zhong 9	水育 Water	93.2±7.5 a	73.6±6.0 a	19.07±1.00 a	0.603 f
	干旱 Drought	95.5±6.2 a	29.2±1.4 b	18.81±0.25 a	
中浙 Zhongzhe	水育 Water	89.0±8.0 a	49.7±2.1 a	17.51±0.66 a	0.717 g
	干旱 Drought	91.3±8.5 a	14.1±1.0 b	11.44±0.24 b	
珍汕 97 Zhenshan 97	水育 Water	75.0±6.1 a	61.3±3.1 a	26.99±0.40 a	0.718 g
	干旱 Drought	79.7±6.5 a	7.3±1.6 b	20.54±2.12 b	
博白 Bobai	水育 Water	68.1±4.2 a	77.4±5.1 a	19.34±1.32 a	0.736 g
	干旱 Drought	69.9±5.3 a	20.4±1.6 b	12.95±0.09 b	
协青早 Xieqingzao	水育 Water	59.3±4.2 a	72.9±5.4 a	23.42±0.12 a	0.772 gh
	干旱 Drought	58.6±4.0 a	10.6±4.5 b	20.87±0.72 b	

同一性状数据后跟不同字母者表示其差异达 0.05 显著水平。
Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level.

旱胁迫指数似可将参试材料分为 4 级, 第一级为“钝感”, 如 K22-B、金 23-B 及 II-32-B, 干旱胁迫指数在 0.1~0.3 ; 第二级为“耐旱”, 如优 I-B、菲改-B、内香 85-B 及 V20-B, 干旱胁迫指数在 0.3~0.5 ; 第三级为“不耐旱”, 如 902-B、内香 2-B 及中 9-B, 干旱胁迫指数在 0.5~0.6 ; 第四级为“敏感”, 如中浙、珍汕 97-B、博白-B 及协青早-B, 干旱胁迫指数>0.6。

2.2 开花期干旱对保持系稻株结实的伤害

从表 2 可以看出: (1) 开花期干旱胁迫对参试保持系稻株的每穗总粒数无明显影响($P>0.05$), 在参试材料中仅有内香 85-B 稻株下降 10% ($P<0.05$); (2) 所有参试保持系稻株都因开花期干旱胁迫千粒重显著下降($P<0.05$), 其中 K22-B 与内香 85-B 下降最多, 达 30%; (3) 结实率是稻株对开花期干旱胁迫最敏感的参数, 所有参试保持系的结实率都因开花期干旱胁迫而明显下降($P<0.05$), 下降幅度为 45%~75%; (4) 以干旱胁迫指数对参试保持系的耐旱性人为分级也可以分为 4 级, 第一级“钝感”, 结实率下

降不超过 50%者, 如优 I-B、K22-B 与金 23-B, 第二级“较耐旱”, 结实率下降不超过 60%者, 第三级“不耐旱”, 结实率下降不超过 70%者, 第四级“敏感”, 结实率下降超过 70%者, 如珍汕 97-B 与中 9-B。

2.3 穗期干旱胁迫对保持系稻株结实的伤害

穗期干旱胁迫系指抽穗前 14 d 至破口后 15 d 计 29 d 的干旱胁迫过程, 经历花粉母细胞减数分裂期、花粉粒形成期、花粉粒充实期、始穗期、开花期及灌浆初期。保持系稻株经受的伤害远远超过分别于孕穗期与开花期的干旱胁迫伤害, 从表 3 可以看出: (1) 穗期重度干旱胁迫使多数参试保持系的每穗总粒数明显减少($P<0.05$), 尤以 K22-B 与 II-32-B 减少尤烈, 分别下降约 45%与 50%; 但博白-B、协青早-B、中浙-B 与珍汕-B 则未减少每穗总粒数($P>0.05$); (2) 无一例外, 所有参试保持系稻株的千粒重均因穗期重度干旱胁迫明显下降($P<0.05$), 其中 K22-B、金 23-B 与 II-32-B 下降幅度达 25%~30%; (3) 所

表 2 开花结实初期干旱胁迫对保持系结实的伤害
Table 2 Effects of drought treatment during flowering to filling stage on grain setting characteristics

保持系 Maintainer	处理 Treatment	每穗总粒数 Grain numbers per ear	结实率 Grain setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	胁迫指数 Stress index
优 I You I	水育 Water	75.5±6.0 a	77.9±4.0 a	19.07±0.56 a	0.462 a
	干旱 Drought	76.5±4.2 a	41.8±3.2 b	11.87±0.56 b	
K22	水育 Water	113.2±11.2 a	53.3±4.1 a	23.78±0.31 a	0.492 a
	干旱 Drought	111.2±7.1 a	27.1±3.2 b	17.00±0.25 b	
金 23 Jin 23	水育 Water	60.0±5.3 a	60.5±5.2 a	23.98±0.22 a	0.512 a
	干旱 Drought	64.6±1.7 a	32.5±4.2 b	16.22±0.18 b	
博白 Bobai	水育 Water	68.1±4.2 a	77.4±5.1 a	19.34±1.30 a	0.517 ab
	干旱 Drought	69.9±2.2 a	37.4±2.3 b	12.95±0.70 b	
V20	水育 Water	72.8±5.0 a	78.1±2.2 a	23.58±0.10 a	0.547 b
	干旱 Drought	79.5±1.3 a	35.8±3.0 b	18.60±0.71 b	
内香 85 Neixiang 85	水育 Water	85.7±1.2 a	68.5±4.0 a	25.20±0.06 a	0.550 b
	干旱 Drought	75.7±1.2 b	30.8±1.9 b	17.24±0.31 b	
协青早 Xieqingzao	水育 Water	59.3±4.2 a	72.9±5.4 a	23.42±0.12 a	0.564 b
	干旱 Drought	58.0±3.2 a	31.7±4.1 b	20.51±1.00 b	
II-32	水育 Water	121.4±7.6 a	62.5±3.2 a	24.65±0.08 a	0.571 bc
	干旱 Drought	112.5±5.4 a	26.8±1.2 b	15.23±0.22 b	
中浙 Zhongzhe	水育 Water	89.0±8.0 a	49.7±2.1 a	17.51±0.15 a	0.572 bc
	干旱 Drought	86.2±3.1 a	21.3±1.2 b	11.44±0.23 b	
菲改 Feigai	水育 Water	70.0±5.2 a	65.6±3.2 a	21.72±0.18 a	0.605 c
	干旱 Drought	68.3±3.1 a	25.7±2.0 b	15.92±0.21 b	
902	水育 Water	100.1±9.1 a	55.9±2.9 a	21.61±0.81 a	0.621 c
	干旱 Drought	95.3±2.2 a	21.2±1.4 b	19.60±0.22 b	
内香 2 Neixiang 2	水育 Water	104.1±11.2 a	49.9±3.0 a	30.02±0.72 a	0.642 cd
	干旱 Drought	108.2±7.0 a	16.0±1.1 b	20.91±0.25 b	
珍汕 97 Zhenshan 97	水育 Water	75.0±6.5 a	61.3±3.1 a	26.99±0.40 a	0.721 d
	干旱 Drought	71.5±3.1 a	17.0±1.1 b	20.64±0.42 b	
中 9 Zhong 9	水育 Water	93.2±7.5 a	73.6±6.0 a	19.07±1.00 a	0.743 d
	干旱 Drought	91.4±3.5 a	18.9±1.2 b	13.92±0.62 b	

同一性状数据后跟不同字母者表示其差异达 0.05 显著水平。
Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level.

有参试保持系稻株因穗期重度干旱胁迫，结实率明显下降($P<0.05$)，下降最甚者为中浙-B、中 9-B 与珍汕-B；(4) 以干旱胁迫指数将参试材料分级，第一级“钝感”有 K22-B、金 23-B；第二级“较耐旱”有 II-32-B、优 I-B 与 V20-B；第三级为“不耐旱”；第四级为“敏感”，有协青早-B、中浙-B、中 9-B 及珍汕-97B；(5) 902-B 当属极不耐旱材料。

2.4 保持系穗期耐旱性测评主要结果

将每期干旱处理的保持系粗略分为钝感、较耐旱、不耐旱与敏感 4 级，基本可见各参试保持系的穗期耐旱水平，为便于有意应用者取材参考，综合主要结果如表 4。可较清楚看出，在参试所有保持系中 K22-B 与金 23-B 穗期耐旱性最佳，次为 II-32-B(在开花期干旱胁迫耐旱性排名第 8，表 2)，比较不耐旱的保持系则为珍汕 97-B 与中 9-B。

2.5 保持系穗期干旱胁迫伤害与结实性状的关系

首先，从图 2 分析各参试保持系干旱胁迫指数与原

初(水育)条件下结实三性状的关系，孕穗期干旱胁迫指数与每穗总粒数的相关性系数 $r = 0.3385$ ，与结实率 $r = -0.2512$ ，与千粒重 $r = 0.2285$ ，表明各参试保持系的原初穗部结实性状各参数与孕穗期干旱胁迫伤害无明显相关($P>0.05$)。

开花期干旱胁迫指数与保持系原初结实性状无明显相关性($P>0.05$)，与每穗总粒数的相关系数 $r = 0.0400$ ，与结实率的相关系数 $r = 0.0831$ ，与千粒重的相关系数 $r = 0.0866$ 。

从图 3 可以看出：(1) 孕穗期干旱胁迫下，各参试保持系稻株干旱胁迫指数与结实率呈显著负相关($r = -0.8963^{**}$)，与空壳率呈显著正相关($r = 0.6988^{**}$)，与秕谷率相关性不显著($r = 0.3367$)；(2) 开花期干旱胁迫处理，各参试保持系稻株干旱胁迫指数与结实率呈明显负相关($r = -0.9307^{**}$)，与秕谷率及空壳率均呈正相关，它们的相关系数分别为 $r = 0.5230$ 与 $r = 0.7660^{**}$ 。

表 3 穗期干旱对保持系结实的伤害
Table 3 Effects of drought treatment during booting to filling stage on grain setting characteristics

保持系 Maintainer	处理 Treatment	每穗总粒数 Grain numbers per ear	结实率 Grain setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	胁迫指数 Stress index
K22	水育 Water	113.2±11.3 a	53.3±4.7 a	23.78±0.33 a	0.532
	干旱 Drought	62.9±7.2 b	24.9±2.1 b	17.33±0.21 b	
金 23 Jin 23	水育 Water	60.9±5.2 a	66.5±3.2 a	23.98±0.22 a	0.535
	干旱 Drought	54.0±1.2 b	36.9±1.6 b	17.05±0.11 b	
II-32	水育 Water	121.4±7.1 a	62.5±3.2 a	24.65±0.08 a	0.551
	干旱 Drought	58.8±6.0 b	28.2±2.3 b	18.49±0.25 b	
优 I You I	水育 Water	75.5±6.0 a	77.9±4.0 a	19.07±0.56 a	0.587
	干旱 Drought	62.8±3.2 b	32.2±2.9 b	17.23±0.24 b	
V20	水育 Water	72.8±5.0 a	78.1±2.2 a	23.58±0.10 a	0.594
	干旱 Drought	65.2±1.3 b	31.7±1.8 b	20.55±0.65 b	
内香 85 Neixiang 85	水育 Water	85.3±10.2 a	68.5±4.0 a	25.20±0.06 a	0.600
	干旱 Drought	63.2±10.0 b	27.4±2.1 b	23.18±1.14 b	
博白 Bobai	水育 Water	68.9±4.2 a	77.4±5.1 a	19.39±1.30 a	0.643
	干旱 Drought	68.8±1.5 a	27.6±2.3 b	12.71±0.06 b	
菲改 Feigai	水育 Water	70.2±5.2 a	65.6±3.2 a	25.33±1.00 a	0.647
	干旱 Drought	48.6±2.3 b	23.2±1.4 b	17.97±0.72 b	
内香 II Neixiang II	水育 Water	104.1±6.2 a	49.9±3.0 a	30.02±0.72 a	0.685
	干旱 Drought	45.2±3.6 b	14.1±1.0 b	28.56±0.90 b	
协青早 Xieqingzao	水育 Water	59.3±4.2 a	72.9±5.4 a	23.43±0.12 a	0.761
	干旱 Drought	61.3±4.2 a	27.3±6.1 b	19.25±0.20 b	
中浙 Zhongzhe	水育 Water	89.6±5.0 a	49.7±2.1 a	17.56±0.65 a	0.715
	干旱 Drought	90.0±3.6 a	14.2±1.0 b	17.77±0.70 b	
中 9 Zhong 9	水育 Water	92.2±7.8 a	73.6±6.0 a	19.37±1.07 a	0.784
	干旱 Drought	69.0±6.2 b	16.2±2.3 b	17.41±0.09 b	
珍汕 97 Zhenshan 97	水育 Water	75.0±6.1 a	67.3±7.1 a	26.93±0.40 a	0.788
	干旱 Drought	74.5±5.5 a	13.0±0.8 b	23.27±0.31 b	
902	水育 Water	104.1±9.1 a	55.4±2.9	21.61±0.82	1.000
	干旱 Drought	72.4±2.5 b	0	—	

同一性状数据后跟不同字母者表示其差异达 0.05 显著水平。
Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level.

表 4 保持系穗期耐旱性测评结果
Table 4 Evaluation of drought tolerance for maintainer lines

孕穗期 Booting stage		开花期 Flowering stage		穗期 Panicle stage	
保持系 Maintainer	干旱胁迫指数 Drought stress index	保持系 Maintainer	干旱胁迫指数 Drought stress index	保持系 Maintainer	干旱胁迫指数 Drought stress index
K22	0.129	优 I You I	0.462	K22	0.532
金 23 Jin 23	0.131	K22	0.492	金 23 Jin 23	0.535
II-32	0.282	金 23 Jin 23	0.512	II-32	0.551
珍汕 97 Zhenshan 97	0.718	内香 II Neixiang II	0.642	中浙 Zhongzhe	0.715
博白 Bobai	0.734	珍汕 97 Zhenshan 97	0.721	中 9 Zhong 9	0.784
协青早 Xieqingzao	0.772	中 9 Zhong 9	0.743	珍汕 97 Zhenshan 97	0.788

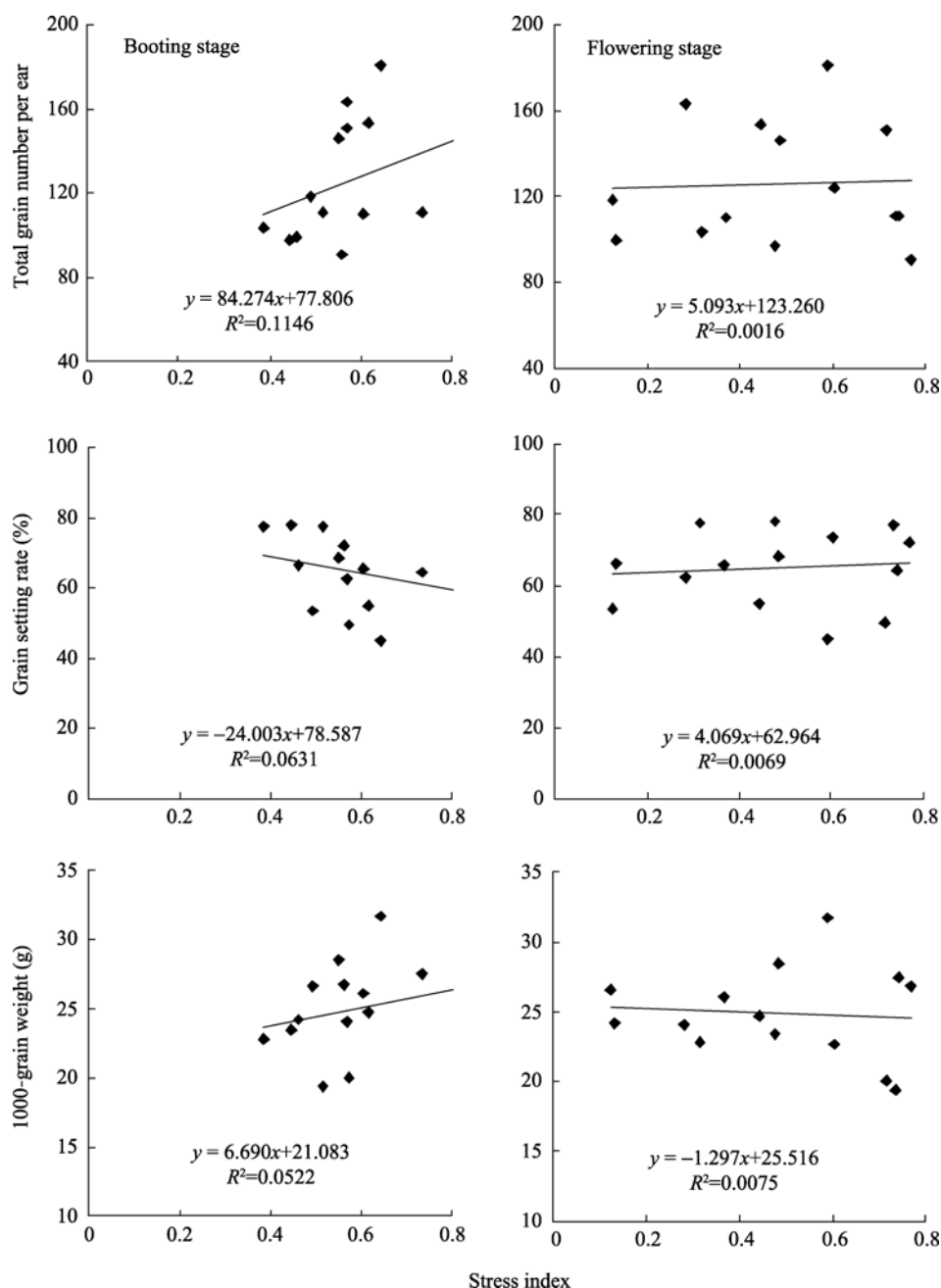


图 2 穗期干旱胁迫指数与保持系原初穗部性状的关系

Fig. 2 Correlation of stress index at panicle stage to grain setting characteristics of the control B-lines

3 讨论

3.1 保持系孕穗期与开花期耐旱性比较分析

数十年来我国学者对水稻各生育期耐旱性的研究有诸多论述^[8-10,15-17], 比较有代表性的观点是籼粳稻对同一水势干旱胁迫敏感期不同, 粳稻孕穗期对干旱胁迫敏感, 而籼稻对开花期干旱胁迫敏感^[8,10], 分蘖盛期与生殖细胞形成期对干旱胁迫最敏感, 尤其是水稻花粉母细胞减数分裂期随土壤缺水程度呈线性减产。籽粒充实期土壤适度缺水尚有增进灌浆、提高粒重的效果^[9]。本文仅比较孕穗

期(花粉母细胞减数分裂期至花粉粒形成期至花粉粒充实期, 历时 15 d)与开花结实期(花粉粒充实期至籽粒灌浆初期, 历时 15 d)对干旱胁迫的反应, 孕穗期是诸多论述中公认的干旱胁迫敏感时段, 但耐旱保持系 K22-B、金 23-B(表 4)更容易受伤害的时期是开花至结实期, 不耐旱的珍汕 97-B 也有类似结果。笔者分析, 在本试验条件下, 孕穗期与开花结实期大气温度与湿度无大差别, 不致增强或减弱保持系稻株干旱胁迫伤害表现, 但受旱时期不同, 影响结实的主因有别, 孕穗期正值颖花发育期, 干旱胁迫伤害颖花育性, 空壳率增加(表 1 和表 3), 胁迫指数

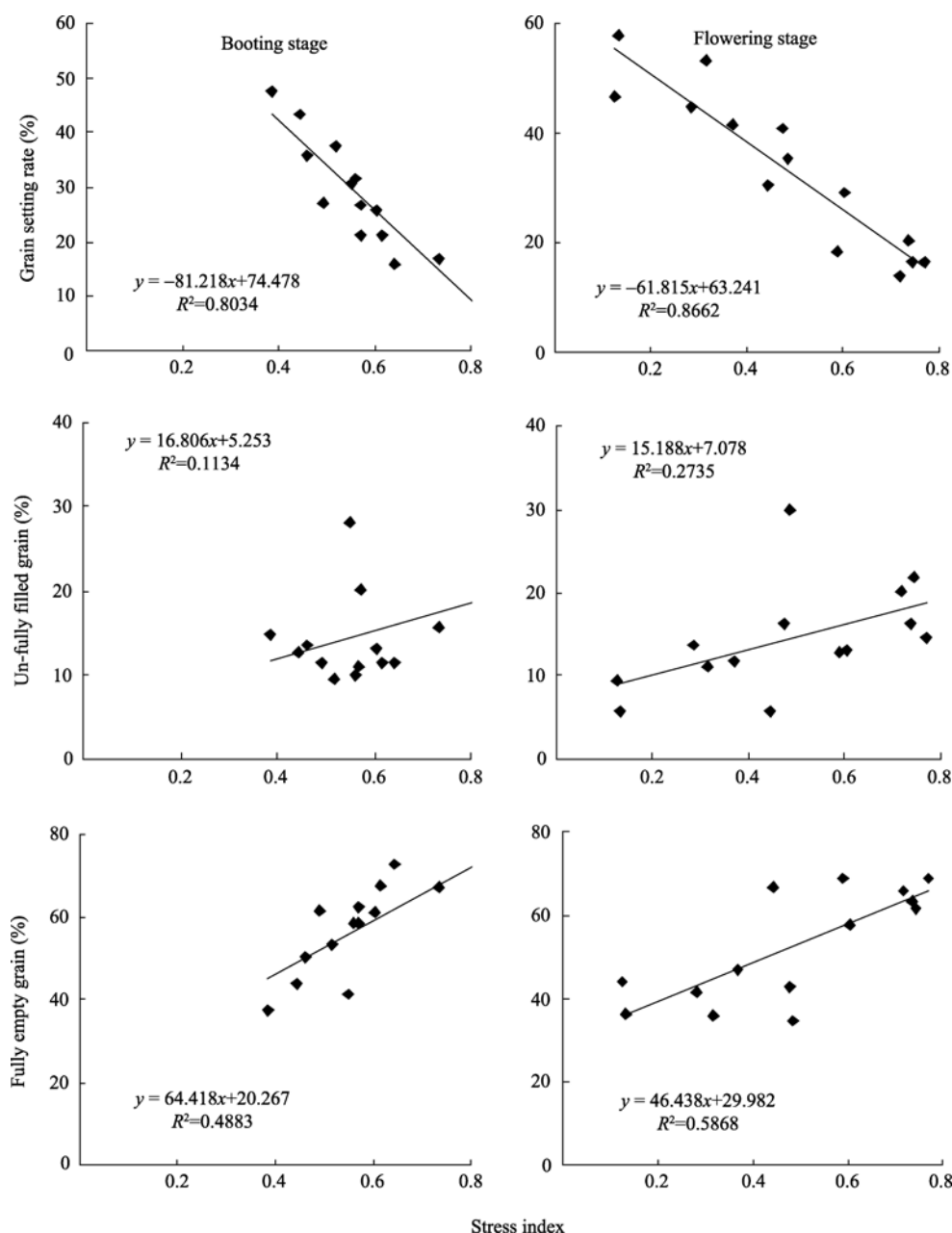


图 3 穗期干旱胁迫指数与受害保持系穗部结实性的关系

Fig. 3 Correlation of stress index at panicle stage to grain setting characteristics of the treated B-lines

与空壳率呈显著负相关($P < 0.05$), 而开花结实期干旱不仅伤害小穗育性($P < 0.05$), 而且也伤害小穗灌浆($P < 0.05$), 此与张瑞珍等^[16]关于干旱胁迫敏感期的报道基本一致。

3.2 保持系应对干旱胁迫的“自我适应”现象

第一, 保持系自身结实习性不决定穗期干旱胁迫的敏感性。笔者从本文结果初步看出, 保持系在穗期干旱胁迫下耐旱性取决于颖花育性与小穗灌浆能力对胁迫的反应(图 3), 而不与其水育条件下自身穗部结实习性, 即每穗总粒数、结实率及千粒重有关(图 2)。第二, 穗期干旱胁迫环境中保持系具结实的“自我适应”。穗期干旱胁迫钝感材料, 即在干旱逆境环境中保持相对较高结实率者, 如

K22-B、金 23-B 每穗总粒数与千粒重下降明显, 而对穗期干旱胁迫环境敏感者, 如珍汕 97-B、协青早-B 则每穗总粒数未有或不明显下降(表 3), 似表明保持系在干旱胁迫环境中有自然调节的“自我适应”现象。

References

- [1] He F(何方). Applied Ecology (应用生态学). Beijing: Science Press, 2003 (in Chinese)
- [2] Wang Y-F(王一凡), Zhou Y-Y(周毓珩). Water Saving Rice Cultivation in Northern China (北方节水稻作). Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2000 (in Chinese)
- [3] Wang X(王熹), Tao L-X(陶龙兴), Tan H-J(谈惠娟), Cheng

- S-H(程式华). Innovating rice farming systems, ensuring food and environments safety. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2006, 39(10): 1984–1991 (in Chinese with English abstract)
- [4] Liang Y-C(梁永超), Hu F(胡锋), Yang M-C(杨茂成), Zhu X-L(朱遐亮), Wang G-P(王广平), Wang Y-L(王永乐). Mechanisms of high yield and irrigation water use efficiency of rice in plastic film mulched dryland. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1999, 32(1): 26–32 (in Chinese with English abstract)
- [5] Huang Y-D(黄义德), Zhang Z-L(张自立), Wei F-Z(魏凤珍). Eco-physiological effects of dry-cultivated and plastic film-mulched rice planting. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1999, 10(3): 305–308 (in Chinese with English abstract)
- [6] Wang X(王熹), Tao L-X(陶龙兴), Huang X-L(黄效林), Min S-K(闵绍楷), Cheng S-H(程式华). Study on non-flooding farming technique in paddy field: technique specification and formation of yield components. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2004, 37(4): 502–509 (in Chinese with English abstract)
- [7] Wang X(王熹), Tao L-X(陶龙兴), Huang X-L(黄效林), Min S-K(闵绍楷), Cheng S-H(程式华). Study on non-flooding farming technique in irrigated paddy field—Physiological and developmental characteristics of rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2004, 37(9): 1274–1281 (in Chinese with English abstract)
- [8] Yang J-C(杨建昌), Wang Z-Q(王志琴), Liu L-J(刘立军). Growth and development characteristics and yield formation of dry-cultivated rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2002, 28(1): 11–17 (in Chinese with English abstract)
- [9] Zhu Q-S(朱庆森), Qiu Z-S(邱泽森), Jiang C-J(姜长鉴), Yang J-C(杨建昌), Jin Z-S(金兆森), Liu J-G(刘建国). Effect of low soil water potential on rice yield. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1994, 27(6): 15–22 (in Chinese with English abstract)
- [10] Yang J-C(杨建昌), Wang Z-Q(王志琴), Zhu Q-S(朱庆森). Drought resistance and its physiological characteristics in rice varieties. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1995, 28(5): 65–72 (in Chinese with English abstract)
- [11] Ling Z-M(凌祖铭), Li Z-C(李自超), Yu R(余荣), Mu P(穆平). Comparison of yield and physiological characters between upland rice and paddy rice cultivars under submerged and rain-fed conditions. *J China Agric Univ* (中国农业大学学报), 2002, 7(3): 13–18 (in Chinese with English abstract)
- [12] Wang X(王熹), Tao L-X(陶龙兴), Yu M-Y(俞美玉), Huang X-L(黄效林). Physiological model of super hybrid rice Xieyou 9308. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2002, 16(1): 38–44 (in Chinese with English abstract)
- [13] Wang X(王熹), Tao L-X(陶龙兴), Huang X-L(黄效林), Yu M-Y(俞美玉). Seed setting characteristics and physiological bases of subspecies hybrid rice Xieyou 29308. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 29(4): 530–533 (in Chinese with English abstract)
- [14] Tao L-X(陶龙兴), Tan H-J(谈惠娟), Wang X(王熹), Cao L-Y(曹立勇), Cheng S-H(程式华). Effects of high temperature stress on super hybrid rice Guodao 6 during flowering and filling phases. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2007, 21(5): 518–524 (in Chinese with English abstract)
- [15] Xu M-L(徐孟亮), Chen L-B(陈良碧). Comparative study on the drought tolerance between 4 high yield paddy rice varieties and brazil upland rice variety. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 29(6): 903–907 (in Chinese with English abstract)
- [16] Zhang R-Z(张瑞珍), Shao X-W(邵玺文), Tong S-Y(童淑媛), Du Z-Y(杜震宇), Yang M(杨沫), Sun C-Z(孙长占). Effects of water stress on yield composition and yield of rice in booming stage. *J Jilin Agric Univ* (吉林农业大学学报), 2006, 28(17): 1–7 (in Chinese with English abstract)
- [17] Xu F-X(徐富贤), Zheng J-K(郑家奎), Zhu Y-C(朱永川), Ding G-X(丁国祥), Wang G-X(王贵雄). Relationship between rooting ability and drought resistance at full-heading in mid-season hybrids rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 29(2): 188–193 (in Chinese with English abstract)