

孕穗期干旱胁迫对超级稻后期光合性能及产量的影响

段素梅¹, 杨安中¹, 吴文革², 陈刚², 许有尊²

(1. 安徽科技学院农学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 安徽省农业科学院水稻研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:以6个超级稻品种及1个常规早稻品种为材料在防雨棚内进行盆栽,于各品种的孕穗期控制水分(用土壤水分张力计监测土壤水分在-75 kPa)进行干旱胁迫处理6 d,研究孕穗期干旱胁迫对不同超级稻品种后期光合性能及产量的影响。结果表明:干旱胁迫处理使6个超级稻品种始穗后0~7 d内叶绿素含量及光合速率下降,始穗后14~21 d叶绿素含量及光合速率提高;齐穗后叶面积指数、有效叶面积指数、高效叶面积指数均有不同程度下降;有效穗数下降3.9%~6.8%、穗实粒数下降7.0%~18.5%、千粒重提高1.8%~5.1%,实际产量下降10.4%~17.2%。在正常灌溉条件下,y两优2号、新两优6号、丰两优4号实际产量分别位居第一、二、三位,其中y两优2号较产量倒数后三位的品种增产23.2%~27.5%,新两优6号较产量倒数后三位的品种增产16.0%~20.7%,丰两优4号较产量倒数后三位的品种增产12.4%~17.3%,且增产均达极显著水平;在孕穗期干旱胁迫条件下,y两优2号、丰两优4号、新两优6号实际产量分别位居第一、二、三位,其中y两优2号较产量倒数后三位的品种增产18.3%~21.5%,丰两优4号较产量倒数后三位的品种增产11.4%~14.9%,新两优6号较产量倒数后三位的品种增产11.2%~14.8%,增产亦均达极显著水平。无论在正常灌溉还是在孕穗期干旱胁迫条件下,6个超级稻品种的产量均极显著高于常规早稻品种的产量。因此,y两优2号、丰两优4号、新两优6号可以在安徽江淮丘陵缺水地区推广种植。

关键词: 超级稻; 孕穗期; 干旱胁迫; 光合性能; 产量

中图分类号: S511.071 **文献标志码:** A

Effects of drought stress at booting stage on photosynthesis and yield of Super Rice

DUAN Su-mei¹, YANG AN-zhong¹, WU Wen-ge², CHEN Gang², XU You-zun²

(1. Agronomy College of Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China;

2. Rice Research Institute Anhui Academy of Agricultural Sciences, Anhui, Hefei 230003, China)

Abstract: Using six super hybrid rice and one drought tolerance conventional rice variety as materials, performing drought treatment of -75 kPa for 6 day by pot experiment under greenhouse condition, this study aims to investigate the effects of drought stress at booting stage of rice on photosynthesis and yield. The results showed that under drought stress, flag leaf SPAD and photosynthetic rate of the six super hybrids decreased at the first-earring phase (0~7 d), but increased at the first-earring phase (14~21 d). LAI, effective LAI and high-effective LAI were decreased. The size of panicles was reduced by 3.9%~6.8%, and the filled spikelets per panicle by 7.0%~18.5%. The thousand seed weight was increased by 1.8%~5.1%, and the yield decreased by 10.4%~17.2%. Under control condition, grain yield were in the order of Yliangyou 2, Xinliangyou 6, and Fengliangyou 4. The yield of Yliangyou2 was 23.2%~27.5% higher than the bottom third varieties. Results showed that the yield of the six super hybridization rice were higher than the drought tolerance conventional rice variety under the condition of the conventional irrigation or under the drought stress at seedling stage. Therefore, the three varieties of Yliangyou2, Fengliangyou4, Xinliangyou6 are recommended for Jianghuai Hilly Region of Anhui Province.

Keywords: Super Rice; booting stage; drought stress; photosynthetic performance; yield

收稿日期:2016-06-28

修回日期:2017-10-16

基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD16B06);农业部超级稻项目(2011R16);安徽科技学院稳定人才项目(2016DSM)

作者简介:段素梅(1976—),女,安徽省宿州市人,讲师,博士,主要从事水稻高产栽培技术研究和教学工作。E-mail:ds7612@163.com。

通信作者:杨安中(1959—),男,安徽省六安市人,教授,主要从事水稻高产栽培技术研究和教学工作。E-mail:anzhongy888@163.com。

当水稻植株受到干旱胁迫时会产生各种响应,比如叶片气孔开度减小甚至关闭,蒸腾及光合速率降低,叶绿素加快分解等^[1-3]。大量研究证明,干旱会导致水稻产量及品质下降,甚至绝收^[5-7]。但是,不同生育阶段干旱对水稻的影响是不同的,不少研究均认为孕穗期干旱对水稻的危害往往最大^[8-10]。安徽省的江淮丘陵区,水资源严重缺乏,存在大量的“望天田”,干旱是水稻生产上存在的主要灾害之一,在水稻的孕穗期常出现干旱,往往造成严重减产。为了提高水分利用效率、稳定水稻单产,近年来推广和种植早稻已成为该区农民及基层农技人员的共识。但是目前生产上推广的早稻品种(或耐旱品种)大多存在品质较差、产量不高等问题,尽管其稳产性较好,但产量水平低,影响了稻农收入的提高。为了解决水稻节水与高产、优质的矛盾,近年来该区生产上出现了水稻旱种或水插旱管等节水栽培方法,但是由于不同品种的抗旱能力存在差异,水稻旱种或水插旱管往往出现严重减产现象。本试验就是以目前安徽省江淮丘陵区推广的主栽超级稻品种为材料,研究孕穗期干旱胁迫处理对不同超级稻品种光合性能及产量的影响,以期筛选出抗旱性强的超级稻品种,为江淮丘陵区进行水稻抗旱节水栽培选择品种提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验地点气候情况

试验于2014年4—10月在安徽科技学院种植科技园的防雨棚(防雨棚为活动式薄膜大棚,在干旱处理期间盖膜防雨,其余时间不盖膜)内进行。试验地处安徽省凤阳县境内(32°37'N, 117°33'E),属北亚热带湿润季风气候,年降雨量904.4 mm,年蒸发量1609.7 mm,年均气温14.9℃,最热的7月份平均气温27.9℃,最冷的一月份平均气温0.9℃,无霜期212 d,大于10℃积温为4516℃~4700℃之间,年日照时数2248.7 h,年辐射总量为121.6 kJ·cm⁻²。

1.2 试验设计

试验设6个超级稻品种(丰两优4号、y两优2号、新两优6号、C两优华占,皖稻153、丰两优1号)和1个常规早稻品种(绿早1号)共7个品种处理,以常规早稻品种为对照种,在各品种的孕穗期将土壤水分控制在-75 kPa进行干旱胁迫处理6 d,与正常灌溉进行比较研究。

1.3 试验方法

研究采用盆栽试验,用相同规格的塑料桶(上口直径30 cm,下口直径22 cm,深度32 cm),分别装相

同风干黏土12 kg。2014年4月25日进行旱育秧,5月28日选择带蘖数、大小基本一致的秧苗栽插,每盆插两穴,每穴1株种子苗,每个品种栽插8盆,共计56盆。在每个品种的孕穗初期(抽穗前30 d)将8盆平均分成两组,其中一组进行常规水分灌溉,一组进行干旱处理。常规水分灌溉灌水2~3 cm,干旱处理土壤水分控制在-75 kPa左右6 d。干旱处理具体做法是用土壤水分张力计(中国科学院南京土壤研究所生产)监测土壤水分,每天8:30~9:30及16:00~16:30时读记土壤水势值各1次,以2次平均值代表当日盆钵土壤水势。张力计缺水时加水,同处理其它盆钵加等量水,如处理期间土壤水势值低于-80 kPa时,加水调到-75 kPa左右(边加水边观察)。处理时间结束恢复正常的水层管理。除孕穗期期间水分管理不同外,其它时间的水肥、病虫害均统一管理,具体管理措施与大田生产相同。

1.4 测定项目和方法

始穗后每个处理选高度前五位的5个单茎的剑叶,用KONICA生产的SPAD-502叶绿素测定仪测定剑叶叶绿素含量(SPAD值),每隔7 d测定一次,共测定4次;齐穗后每个品种每组取1盆用LI-3100C型叶面积仪分别测定所有茎蘖的叶面积(总叶面积)、成穗茎蘖的叶面积(有效叶面积)和成穗茎蘖最后3片叶叶面积(高效叶面积);始穗时用LI-6400便携式光合测定仪(美国Li-cor公司生产)测定剑叶的光合速率,每隔7 d测定一次,共测定5次;水稻成熟后将每一次处理的3盆稻株取出,考查有效穗数、穗粒数、穗实粒数、千粒重及实际产量。数据分析用DPSv7.05软件进行。

2 结果与分析

2.1 孕穗期干旱胁迫对叶片生长的影响

2.1.1 对剑叶叶绿素含量的影响 由表1可以看出,干旱胁迫对剑叶叶绿素含量的影响品种间的变化趋势基本相同,即在始穗后0~7 d范围内,干旱胁迫处理的剑叶叶绿素含量下降,但下降的程度各异,在齐穗后0 d时,y两优2号干旱胁迫较正常灌溉叶绿素含量显著下降,在始穗后7 d时绿早1号、新两优6号干旱胁迫较正常灌溉叶绿素含量显著下降,其余品种下降均不显著,但在始穗后14~21 d干旱胁迫处理较正常灌溉剑叶叶绿素含量均有不同程度的提高,其中新两优6号、C两优华占在始穗后21 d显著提高。各品种干旱胁迫处理与正常灌溉的剑叶叶绿素含量相比均先降低后提高,究其原因可能是在始穗后0~7 d干旱处理的生理生化指标还

没有恢复到正常水平,而在始穗后 14~21 d,6 个超级稻品种剑叶叶绿素含量 4 次测定的结果均高于对照品种绿早 1 号的叶绿素含量。这可能是由于孕穗期短期的干旱处理相对改善了土壤环境,延缓了根系及叶片衰老的速度所致。

2.1.2 对齐穗期叶面积指数的影响 由表 2 看出,不论是在常规灌溉还是在干旱胁迫条件下,各超级稻品种叶面积指数、有效叶面积指数及高效叶面积指数均极显著或显著高于绿早 1 号品种;孕穗期干

旱胁迫较正常灌溉各处理品种的叶面积指数、有效叶面积指数、有效叶面积率均有不同程度的下降,但多数品种下降不显著,只有 C 两优华占有有效叶面积指数下降 23.3%,下降达极显著水平,丰两优 1 号有效叶面积指数下降 6.7%,下降达显著水平,但 6 个超级稻品种的高效叶面积指数下降 5.6%~7.1%,高效叶面积指数下降均达显著水平,说明孕穗期干旱胁迫对最后三片叶的生长有显著的抑制作用。

表 1 各处理剑叶叶绿素含量考查结果(SPAD 值)

Table 1 The SPAD value of flag leaf of each treatment

品种 Variety	常规灌溉 Normal irrigation				干旱胁迫 Drought stress			
	0 d	7 d	14 d	21 d	0 d	7 d	14 d	21 d
绿早 1 号 Lvhan 1(CK)	46.3	44.5	36.7	28.6	44.7	42.1a	36.8	29.3
C 两优华占 C Liangyouhuazhan	48.1	44.9	42.0	30.4	46.2	42.7	43.1	32.4a
丰两优 4 号 Fengliangyou 4	50.7	47.3	41.0	32.2	48.7	45.8	41.3	33.1
新两优 6 号 Xinliangyou 6	51.1	48.4	42.9	33.0	49.8	45.9a	44.2	35.0a
皖稻 153 Wandao 153	49.5	45.5	43.2	32.7	47.9	44.6	44.0	33.9
y 两优 2 号 y Liangyou 2	52.8	46.9	42.6	33.1	49.8a	46.5	43.5	33.8
丰两优 1 号 Fengliangyou 1	49.3	44.8	41.8	30.4	48.1	43.4	42.6	31.7

注:不同小写字母表示同一品种同一时间干旱胁迫较正常灌溉差异达 0.05 水平,不同大写字母表示差异达 0.01 水平;下同。

Note: The same variety and same line lowercase letters indicate significant difference at 5% compared with normal irrigation, capital letter indicate significant difference at 1% compared with normal irrigation. The same as below.

表 2 各处理齐穗期叶面积指数考查结果

Table 2 The leaf area index at heading of each treatment

品种 Variety	叶面积指数 LAI	常规灌溉 Normal irrigation			叶面积指数 LAI	干旱胁迫 Drought stress		
		有效叶面积指数 Effective LAI	有效叶面积率/% Rate of effective leaf area	高效叶面积指数 High-effective LAI		有效叶面积指数 Effective LAI	有效叶面积率/% Rate of effective leaf area	高效叶面积指数 High-effective LAI
绿早 1 号 Lvhan 1(CK)	6.03	4.24	70.32	3.24	5.84	4.15	68.71	3.09
C 两优华占 C Liangyouhuazhan	7.34	5.97	67.71	4.13	7.13	4.58A	64.24	3.86a
丰两优 4 号 Fengliangyou 4	6.95	5.14	73.96	3.78	6.68	4.93	73.80	3.55a
新两优 6 号 Xinliangyou 6	7.07	5.42	76.67	3.92	6.74	5.08	75.37	3.64a
皖稻 153 Wandao 153	6.83	5.15	75.40	3.80	6.65	4.94	74.29	3.57a
y 两优 2 号 y Liangyou 2	7.12	5.40	75.84	3.74	6.85	5.12	74.74	3.52a
丰两优 1 号 Fengliangyou 1	6.96	4.81	69.11	3.54	6.77	4.49a	66.32	3.34a

注:有效叶面积率 = 有效叶面积指数 ÷ 总叶面积指数 × 100%;高效叶面积指数是指最后三片叶叶面积指数。

Note: The effective leaf area rate = total leaf area index divided by leaf area index; High-efficient leaf area index is the last three leaf area index.

2.2 孕穗期干旱胁迫对始穗后剑叶光合速率的影响

由表 3 看出,在常规灌溉条件下,始穗后 28 d 内 6 个超级稻品种剑叶的光合速率均高于绿早 1 号,说明超级稻的光合能力较常规早稻的光合能力强;干旱处理始穗后 0 d 有 3 个品种的光合速率均较绿早 1 号有所下降,但下降均不显著,始穗后 7~28 d 干旱处理处理 6 个超级稻品种的光合速率较绿

早 1 号的光合速率有增有减,规律不明显。从干旱处理与常规灌溉比较看,始穗后 0 d 时 6 个超级稻品种及绿早 1 号的光合速率干旱处理较常规灌溉下降均达极显著水平;始穗后 7 d 时 6 个超级稻品种的中除皖稻 153、丰两优 1 号的光合速率有所增加外,其余品种的光合速率均有所下降,但只有 y 两优 2 号下降显著;始穗后 14 d 时 6 个超级稻品种除 y

两优2号外,其余品种干旱处理较常规灌溉的光合速率均有所增加,但只有皖稻153增加达显著水平;始穗后21~28 d时6个超级稻品种及绿早1号干旱处理较正常灌溉的光合速率亦均有增加,且增加达显著或极显著水平。从以上观察结果分析可以说明:(1)孕穗期干旱处理对对照品种(绿早1号)的光合速率影响很小;(2)孕穗期干旱处理对超级稻剑叶光合速率的影响只是短暂的,复水后光合速率会快速升高;(3)孕穗期短期的适度干旱有利于保持超级稻剑叶后期较高的光合速率。

表3 各处理剑叶光合速率/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$

Table 3 Photosynthetic rate of flag leaf of each treatment

品种 Variety	常规灌溉 Normal irrigation					干旱胁迫 Drought stress				
	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d
绿早1号 Lyhan 1(CK)	22.47	28.73	25.82	18.87	12.89	20.56 A	30.02	28.53	21.64a	14.98 A
C两优华占 C Liangyouhuazhan	23.66	31.09	27.40	21.76	14.12	20.96 A	29.78	28.62	21.88a	15.67 A
丰两优4号 Fengliangyou 4	24.08	30.38	27.85	20.37	13.94	19.92 A	29.51a	33.16	23.38A	15.85 A
新两优6号 Xinliangyou 6	24.38	31.45	30.21	21.44	14.03	19.98 A	29.67	30.24a	22.94A	14.52 A
皖稻153 Wandao 153	23.98	30.68	27.36	20.12	14.06	20.73 A	31.82	31.75a	24.47A	16.26a
y两优2号 y liangyou 2	25.15	32.73	29.67	21.92	15.41	20.17 A	27.88a	28.98	21.98a	15.11a
丰两优1号 fengliangyou 1	23.92	29.73	28.19	20.69	13.65	20.56 A	30.02	28.53	21.64a	14.98 A

表4 各处理产量因素及产量考查结果

Table 4 Yield component of each treatment

品种 Variety	常规灌溉 Normal irrigation				干旱胁迫 Drought stress			
	有效穗 /(个·盆 ⁻¹) Effective panicles /(No.·plot ⁻¹)	穗实粒数 /(粒·穗 ⁻¹) Seed per panicle	千粒重 1000-grain weight/g	实际产量 (g·盆 ⁻¹) True yield /(g·plot ⁻¹)	有效穗 /(个·盆 ⁻¹) Effective panicles	穗实粒数 /(粒·穗 ⁻¹) Seed per panicle	千粒重 1000-grain weight/g	实际产量 (g·盆 ⁻¹) True yield /(g·plot ⁻¹)
绿早1号 Lyhan 1(CK)	15.7	178.7	25.5	69.5	15.7	172.3	26.8a	67.3
C两优华占 C Liangyouhuazhan	20.3	187.3	25.2	89.4	19.0a	170.7A	26.4a	78.3A
丰两优4号 Fengliangyou 4	19.3	211.3	27.1	104.5	18.3	185.7A	27.9	91.0A
新两优6号 Xinliangyou 6	19.0	215.0	28.0	108.9	17.7a	175.3A	28.5	90.8A
皖稻153 Wandao 153	18.7	192.7	27.5	91.5	17.0A	179.3a	28.3	80.6A
y两优2号 y Liangyou 2	19.7	229.3	27.4	119.1	19.0	208.0A	28.0	98.6A
丰两优1号 Fengliangyou 1	18.0	195.7	26.9	86.4	17.3	179.0A	27.6	77.4A

同时,还可看出,孕穗期干旱处理导致各品种的实际产量下降的程度不同,其中,绿早1号的实际产量下降不显著,说明其对孕穗期干旱的抵抗力最强,而6个超级稻品种的实际产量下降幅度在10.4%~17.2%范围内,下降均达极显著水平,其中y两优2号实际产量降低幅度最大,降低幅度达17.2%,丰两优1号实际产量降低幅度最小,降低幅度为10.4%,其余品种产量降低幅度介于两者之间。孕穗期干旱胁迫处理导致产量下降,主要原因是有效

2.3 孕穗期干旱胁迫对产量因素及产量的影响

由表4可以看出,6个超级稻品种在正常灌溉下的产量由高到低的顺序依次为y两优2号、新两优6号、丰两优4号、皖稻153、C两优华占、丰两优1号,在孕穗期干旱胁迫处理条件下的产量由高到低的顺序依次为y两优2号、丰两优4号、新两优6号、皖稻153、C两优华占、丰两优1号,且不论在正常灌溉还是在干旱处理条件下,6个超级稻品种的实际产量均高于绿早1号,说明超级稻的产量潜力远高于对照种(绿早1号)。

穗数及穗实粒数下降所致,其中有效穗数下降3.9%~6.8%、穗实粒数下降7.0%~18.5%。孕穗期干旱胁迫处理使6个超级稻品种的千粒重提高1.8%~5.1%。在正常灌溉条件下,y两优2号较产量倒数后三位的品种增产23.2%~27.5%,新两优6号较产量倒数后三位的品种增产16.0%~20.7%,丰两优4号较产量倒数后三位的品种增产12.4%~17.3%,增产均达极显著水平;在干旱处理条件下,y两优2号较产量倒数后三位的品种增产18.3%~

21.5%, 丰两优 4 号较产量倒数后三位的品种增产 11.4% ~ 14.9%, 新两优 6 号较产量倒数后三位的品种增产 11.2% ~ 14.8%, 增产亦均达极显著水平。可见 y 两优 2 号、新两优 6 号、丰两优 4 号不仅在正常灌溉条件下产量较高, 而且在孕穗期抗旱能力亦较强, 即使遇到孕穗期干旱其产量表现也具有较为明显的优势。

3 结论与讨论

水稻孕穗期是水分临界期, 对水分不仅需求量大而且反应敏感, 此时的水分亏缺会对水稻生长产生显著不利的影响, 进而造成减产、品质下降等。干旱缺水对水稻生育、产量及品质的影响前人已经做了大量研究^[15-20]。徐正浩等^[5]研究认为干旱处理使水稻产量显著降低, 其原因在于干旱使有效穗数显著减少和穗实粒数显著减小所致, 李贤勇^[19]、蔡一霞^[13]、王维等^[14]认为孕穗期干旱处理使水稻株高及穗粒数下降, 郭贵华等^[11]研究认为孕穗期干旱胁迫对水稻产量形成及其生理过程影响显著, 王成媛等^[15]研究认为, 不同生育阶段干旱对水稻主要生理指标的影响程度是不同的, 其中, 孕穗期干旱对生理及产量的影响最大, 次则分蘖期, 出穗到成熟阶段则影响相对较小。本研究结果表明, 与正常灌溉比较, 孕穗期干旱胁迫处理使超级稻始穗后剑叶叶绿素含量及光合速率先下降后升高, 使有效叶面积及高效叶面积下降, 产量极显著下降, 与前人研究相关研究的结论基本一致。但不同水稻品种对孕穗期干旱的反应差异很大, 从产量降低的程度来看, 早稻品种(绿早 1 号)减产不显著, 仅减产 3.17%, 其余 6 个超级稻品种减产幅度均超过 10%, 均达到极显著水平, 其中 y 两优 2 号减产幅度最高, 说明早稻品种(绿早 1 号)对孕穗期干旱的抵抗能力显著超过超级稻品种, y 两优 2 号对孕穗期干旱的抵抗能力表现最弱。关于干旱处理对始穗后剑叶叶绿素含量及光合速率的影响, 与前人研究的结论不尽相同, 本研究结果是干旱处理始穗后剑叶叶绿素含量及光合速率先下降后升高, 究其原因可能是孕穗期适当干旱改善了土壤环境, 使根系后期保持较强的活力, 延缓了功能叶片的衰老, 从而使叶绿素含量及光合速率下降速度减缓所致。关于干旱处理使有效叶面积及高效叶面积下降, 其原因是孕穗阶段正处于最后 3 叶片分化与生长阶段, 此阶段供水不足(干旱), 就会抑制细胞及叶片的伸长, 从而导致最后 3 叶片面积减小。关于干旱处理使千粒重增加, 与前人的研究报道结论不甚一致, 本试验结果干旱处理使 7 个品种

的千粒重均有所提高, 其中, 绿早 1 号、C 两优华占千粒重显著提高, 说明孕穗期适当干旱有利于灌浆, 究其原因可能是孕穗期干旱一方面使颖花分化数减少、退化颖花增多, 从而使穗粒数下降, 改善了库源关系, 另一方面干旱处理延缓了功能叶片的衰老, 进而使灌浆期延长、灌浆效率提高所致。从本试验各品种的实际产量看, 在孕穗期正常灌溉条件, 6 个超级稻品种较绿早 1 号增产达 21.3% ~ 71.4%, 在孕穗期干旱胁迫条件下, 6 个超级稻品种较绿早 1 号增产仍达 15.0% ~ 46.6%, 说明尽管绿早 1 号的抗旱能力最强, 但实际产量却最低。在正常灌溉条件下, 6 个超级稻品种中, y 两优 2 号产量位居第一, 较产量倒数后三位的品种增产 23.2% ~ 27.5%, 新两优 6 号产量位居第二, 较产量倒数后三位的品种增产 16.0% ~ 20.7%, 丰两优 4 号产量位居第三, 较产量倒数后三位的品种增产 12.4% ~ 17.3%, 增产均达极显著水平; 在孕穗期干旱处理条件下, y 两优 2 号产量亦位居第一, 较产量倒数后三位的品种增产 18.3% ~ 21.5%, 丰两优 4 号产量位居第二, 较产量倒数后三位的品种增产 11.4% ~ 14.9%, 新两优 6 号产量位居第三, 较产量倒数后三位的品种增产 11.2% ~ 14.8%, 增产亦均达极显著水平。可见 y 两优 2 号、新两优 6 号、丰两优 4 号不仅在正常灌溉条件下产量较高, 而且在孕穗期抗旱能力亦较强, 即使遇到孕穗期干旱其产量表现也具有较为明显的优势。因此, 建议将 y 两优 2 号、新两优 6 号、丰两优 4 号作为相对耐旱的品种在安徽江淮丘陵地区推广种植。

参考文献:

- [1] 宋莉丽, 王春林, 董永春. 水稻干旱动态模拟及干旱损失评估[J]. 应用气象学报, 2001, 12(2): 226-233.
- [2] 莱斯特·布朗, 布里安, 海尔威尔. 中国水资源短缺将震撼世界的粮食安全[J]. 世界观察, 1998, 11(4): 5-10.
- [3] 梁满中, 谭周铤, 陈良碧, 等. 干旱胁迫对水稻水分利用率的影响[J]. 生命科学研究, 2004, 12(4): 351-355.
- [4] 郑家国, 任光俊, 陆贤军, 等. 花后水分亏缺对水稻产量和品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2003, 17(3): 239-243.
- [5] 徐正浩, 朱丽青, 徐林娟, 等. 土壤水分供给对不同水稻的产量构成及其淀粉品质的影响[J]. 核农学报, 2009, 23(6): 1065-1069.
- [6] 高焕晔, 王三根, 宗学风, 等. 灌浆结实期高温干旱复合胁迫对稻米直链淀粉及蛋白质含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(1): 40-47.
- [7] 王成媛, 赵磊, 王伯伦, 等. 干旱胁迫对水稻生育性状与生理指标的影响[J]. 农学学报, 2014, 4(1): 4-14.

- 地占补平衡中的应用[J]. 农业工程学报, 2016, 32(11): 258-264.
- [4] 陈百明. 耕地与基本农田保护态势与对策[J]. 中国农业资源与区划, 2004, 25(5): 1-4.
- [5] 周 明, 王占岐. 基于耕地质量和空间聚类的县域基本农田划定——以湖北省团风县为例[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 316-321.
- [6] 孙祥龙, 涂建军, 黄九松, 等. 基于 ArcGIS 空间分析技术和农用地分等成果划定基本农田——以重庆市秀山县为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(8): 130-135.
- [7] 任艳敏, 唐秀美, 刘 玉, 等. 考虑耕地生态质量的基本农田划定方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(24): 298-307.
- [8] 奉 婷, 张凤荣, 李 灿, 等. 基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J]. 农业工程学报, 2014, 30(1): 200-210.
- [9] 郭贝贝, 金晓斌, 杨绪红, 等. 基于农业自然风险综合评价的高标准基本农田建设区划定方法研究[J]. 自然资源学报, 2014, 29(3): 377-386.
- [10] 杨 伟, 谢德体, 廖和平, 等. 基于高标准基本农田建设模式的农用地整治潜力分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 219-229.
- [11] Jiang G, Zhang R, Zhang C, et al. Approach of land use zone for capital farmland protection based on spatial agglomeration pattern and boundaries modification[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(23): 222-229.
- [12] 唐秀美, 潘瑜春, 刘 玉, 等. 基于四象限法的县域高标准基本农田建设布局与模式[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 238-246.
- [13] 丁庆龙, 门明新. 基于生态导向的基本农田空间配置研究——以河北省卢龙县为例[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(3): 342-348.
- [14] 刘 庆, 陈利根. 长株潭地区土地可持续利用综合评价及空间分区[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 245-253.
- [15] 姜广辉, 张瑞娟, 张翠玉, 等. 基于空间集聚格局和边界修正的基本农田保护区划定方法[J]. 农业工程学报, 2015, (23): 222-229.
- [16] 涂建军, 卢德彬. 基于 GIS 与耕地质量组合评价模型划定基本农田整备区[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 234-238.
- [17] 曾吉彬, 邵景安, 魏朝富, 等. 西南山地丘陵区永久性基本农田的多目标决策划定方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16): 263-274.
- [18] 韦仕川, 熊昌盛, 栾乔林, 等. 基于耕地质量指数局部空间自相关的耕地保护分区[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18): 249-256.
- [19] 谢保鹏, 朱道林, 陈 英, 等. 基于区位条件分析的农村居民点整理模式选择[J]. 农业工程学报, 2014, 30(1): 219-227.
- [20] Zhang C, Tang Y, Luo L, et al. Outlier identification and visualization for Pb concentrations in urban soils and its implications for identification of potential contaminated land[J]. Environmental pollution, 2009, 157(11): 3083-3090.
- [21] 王新盼, 姜广辉, 张瑞娟, 等. 高标准基本农田建设区域划定方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 241-250.
- [22] 张瑞娟, 姜广辉, 周丁扬, 等. 耕地整治质量潜力测算方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 238-244.
- [23] 熊昌盛, 谭 荣, 岳文泽. 基于局部空间自相关的高标准基本农田建设分区[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22): 276-284.
- [24] 薛 剑, 韩 娟, 张凤荣, 等. 高标准基本农田建设评价模型的构建及建设时序的确定[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 193-203.
- [25] Xiong C, Tan R, Yue W. Zoning of high standard farmland construction based on local indicators of spatial association[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(22): 276-284.
- [26] 刘建生, 郎文聚, 赵小敏, 等. 基于差距度与投资度的高标准基本农田建设研究与应用[J]. 中国人口资源与环境, 2014, 24(3): 47-53.
- [27] 宋 戈, 李 丹, 梁海鸥, 等. 松嫩高原黑土区耕地质量特征及其空间分异——以黑龙江省巴彦县为例[J]. 经济地理, 2012, 32(7): 129-134.
- [28] 黄玉娇, 陈美球, 刘志鹏. 高标准基本农田建设面临困境与对策初探[J]. 中国国土资源经济, 2013, 26(11): 28-30.
- [29] 陈红宇, 朱道林, 郎文聚, 等. 嘉兴市耕地细碎化和空间集聚格局分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 235-242.
- [30] 李 灿, 张凤荣, 朱泰峰, 等. 基本农田保护区规划调控下的土地利用空间重构分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 217-224.

(上接第 108 页)

- [8] 陶龙兴, 符冠富, 宋 建, 等. 花期干旱胁迫钝感与敏感水稻保持系的生理特性[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1796-1803.
- [9] 姜心禄, 郑国家, 袁 勇. 水稻本田期不同生育阶段受旱对产量的影响[J]. 西南农业学报, 2004, 17(4): 435-438.
- [10] 王成媛, 王伯伦, 张文香, 等. 不同生育时期干旱胁迫对水稻产量与碾米品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(6): 643-649.
- [11] 郭贵华, 刘海艳, 李刚华, 等. ABA 缓解水稻孕穗期干旱胁迫生理特性的分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(22): 4380-4391.
- [12] 刘晓英, 罗远培. 干旱胁迫对作物生长后效影响的研究现状[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 12(4): 6-10.
- [13] 蔡一霞, 李 洋, 朱海涛. 灌浆期亏缺灌溉对水稻产量形成的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(8): 1492-1505.
- [14] 王 维, 蔡一霞, 蔡昆争, 等. 土壤水分亏缺对水稻茎秆贮藏碳水化合物向籽粒运转的调节[J]. 植物生态学报, 2005, 29(5): 819-828.
- [15] 王成媛, 王伯伦, 张文香, 等. 干旱胁迫时期对水稻产量及产量性状的影响[J]. 农艺科学, 2008, 24(2): 160-166.
- [16] 赵姝丽, 陈温福, 徐正进. 水分胁迫对水稻剑叶气孔特性的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(1): 170-174.
- [17] 蔡一霞, 朱庆森, 王志琴, 等. 结实期土壤水分对稻米品质的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(5): 601-608.
- [18] 田 鑫, 于广文. 干旱胁迫对水稻叶片气孔密度的影响[J]. 辽宁农业科学, 2010, (2): 26-28.
- [19] 李贤勇, 何永歆, 李顺武, 等. 水稻对干旱胁迫的农艺调节研究[J]. 西南农业学报, 2005, 18(3): 244-250.
- [20] 陈新红, 徐国伟, 孙华山, 等. 结实期土壤水分与氮素营养对水稻产量与米质的影响[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2003, 24(3): 37-41.