

文章编号: 1000-8551(2013)02-0240-07

抽穗后干旱复水对双季杂交晚稻产量形成 和叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 及内源激素水平的影响

陈小荣 刘灵燕 钟 蕾 朱昌兰 彭小松 贺晓鹏 傅军如 欧阳林娟 贺浩华

(作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室,
江西农业大学农学院, 江西 南昌 330045)

摘要:为探明生育后期干旱复水对双季杂交晚稻不同产量潜力品种产量的影响及其形成的生理机制,选择超级稻品种五丰优 T025 和对照品种金优 207,于抽穗后进行干旱 8d 复水处理,分析了 2 个品种结实和产量、干旱前后倒二叶稳定碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$)及内源激素含量的差异性。结果表明,干旱复水处理下 2 个品种水稻的结实率、千粒重及单株产量较对照(保持水层)表现出不同程度下降。其中,结实率五丰优 T025 和金优 207 分别下降 12.07% 和 7.67%,千粒重下降 5.23% 和 9.09%,单株产量下降 13.54% 和 27.14%,差异均达显著或极显著水平,未发现产量补偿效应。抽穗后干旱处理下倒二叶 $\delta^{13}\text{C}$ 值,五丰优 T025 大幅上升,复水后呈现出先下降,至第 6 天又开始上升的特点,金优 207 则大幅下降,复水后呈现先上升后下降再上升的特点,五丰优 T025 较金优 207 干旱复水处理与对照之间的差距更大。总体上,对照条件下,抽穗至其后 20d,随生育推进,2 个品种倒二叶内源 ABA 和 GA_3 含量呈上升而 IAA 含量则下降趋势,ZR 表现出先上升再下降特点。干旱处理下 2 个品种表现为 ABA 含量上升,复水后呈先下降后上升特点,五丰优 T025 较金优 207 处理与对照之间差距更大;干旱复水处理条件下:2 个品种 IAA 含量均下降,五丰优 T025 处理与对照间的差距明显小于金优 207;五丰优 T025 GA_3 含量表现出先上升后下降再上升,金优 207 表现出干旱处理结束日急剧下降至最低点,复水后缓慢上升特点;2 个品种 ZR 含量呈现出先上升至最高值再下降特点,五丰优 T025 较金优 207 处理与对照之间差距更小。抽穗后干旱处理将启动稻株体内抗衰老机制,复水后将在一定程度一定时间内激活稻株体内生长促进因子并抑制生长抑制因子,但其效果十分有限。

关键词:双季杂交晚稻;不同产量潜力品种;抽穗期干旱复水;稳定碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$);内源激素

Effects of Rewatering after Drought at Heading on Yield, $\delta^{13}\text{C}$ and Contents of Endogenous Hormone of Leaf in Double-Season Late Hybrid Rice

CHEN Xiao-rong LIU Ling-yan ZHONG Lei ZHU Chang-lan PENG Xiao-song
HE Xiao-peng FU Jun-ru OUYANG Lin-juan HE Hao-hua(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, Genetics and Breeding, Ministry of Education, Key Laboratory of Crop Physiology,
Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province, College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Jiangxi, Nanchang 330045)

Abstract: In this study, super rice variety WufengyouT025 and the control variety Jinyou207 were selected to drought 8 days after heading, then rewatered to explore effect of yield and its formative physiological mechanism under the treatment of rewatering after drought during the

收稿日期: 2012-06-17 接受日期: 2012-09-24

基金项目:国家自然科学基金项目(30860136),江西省科技支撑项目(2010BNA03600),江西省教育厅项目(GJJ10423),江西省领军人才培养计划项目“性状机能协调型”双季杂交稻的选育与应用

作者简介:陈小荣(1972-),男,江西樟树人,博士,教授,主要从事作物生理与遗传育种研究。Tel: 0791-83813142; E-mail: ccxrr80@163.com

late growth stage for the different yield potential double-season late hybrid rice varieties. The differences of the seed setting, yield, carbon isotopic compositions ($\delta^{13}\text{C}$) and endogenous hormone in the reciprocal second leaf during fore-and-aft drought of the two varieties were also analyzed. Results showed as follows: Compared to the CK (keeping water), seed-setting rate, 1000-grain weight and yield per plant of the two rice varieties presented diverse decline under the treatment of rewatering after drought stress. Among them, thereinto, seed setting rate of WufengyouT025 and Jinyou207 decreased by 12.07% and 7.67%, 1000-grain weight 5.23% and 9.09%, yield per plant 13.54% and 27.14%, respectively. All the differences were observed significantly and there was a lack of yield compensatory effect under the treatment of rewatering after 8-d drought at heading. Carbon isotopic compositions ($\delta^{13}\text{C}$) in the reciprocal second leaf under the treatment of drought at heading of WufengyouT025 greatly increased, decreased at first then began increasing at the 6d after rewatering, while that of Jinyou207 under the treatment of drought decreased greatly, increased at first then decreased, then increased, the distance between the treatment and the control of WufengyouT025 were higher than that of Jinyou207. Generally, under the condition of the CK from heading to 20 days, endogenous hormone in the reciprocal second leaf of the two varieties of ABA and GA_3 increased, IAA declined along with the growth course, while ZR increased at first then decreased. Under the treatment of drought of the two varieties, ABA increased, then decreased after rewatering, then increased, the distance between the treatment and the control of WufengyouT025 were higher than that of Jinyou207. Under the condition of the treatment of rewatering after drought, IAA of the two varieties all decreased, and the distance between the treatment and the control of WufengyouT025 was lower than that of Jinyou207, GA_3 of WufengyouT025 increased at first, then decreased after rewatering, then increased, while that of Jinyou207 decreased sharply and reached bottom at the end of the treatment of drought, and increased slowly after rewatering, ZR of the two varieties all increased and reached culmination, then decreased after rewatering, the distance between the treatment and the control of WufengyouT025 were lower than that of Jinyou207. The treatment of the drought at heading would promote the senescence resistant mechanism in the rice plant, and rewatering would activate the growth promoted factors and inhibited the growth restrained factors, but the effects were quite limited.

Key words: Double-season late hybrid rice; Different yield potential varieties; Rewatering after drought at heading; Carbon isotopic compositions ($\delta^{13}\text{C}$); Contents of endogenous hormone

杂交水稻,尤其是具有高产潜力的超级稻品种产量稳定性是长期困扰稻作界的科学难题^[1],而干旱胁迫是影响水稻稳产性一个极为重要的生态因子^[2,3]。前人对水稻旱害进行了大量研究,但以往研究一是多局限于干旱危害性及抗旱性角度,较少关注旱后复水对水稻生长的补偿效应,而研究表明水稻旱后复水补偿效应明显^[4-11];二是以往对水稻旱后复水的研究多集中于生育前中期^[4-8],而抽穗灌浆期是水稻对水分十分敏感期之一;三是以往对杂交水稻旱后复水的生长补偿效应没有从品种产量潜力差异的角度进行探讨;四是对水稻旱后复水的生长补偿效应研究还只是停留在叶面积、干物质及产量形成等层面,十分有必要探讨水稻生育后期干旱复水的产量补偿效应及其形成的生理机制。据此,本研究选择产量潜力差异大的双季杂交晚稻超级稻品种五丰优 T025 和对照品种金优 207,于抽穗后进行干旱 8d 至土壤发白开裂后复水处理,比较了 2 个品种产量及其构成因素的差异性,测定了干旱前后倒二叶稳定碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$)及内源激素(ABA、IAA、 GA_3 和 ZR)含量,分析了其与产量形成的关系,以期对双季晚稻生育后期水分胁迫育种及防旱衰的水分管理提供一些理论依据。

1 材料与方 法

本试验于 2011 年在江西农业大学科技园试验田进行。

1.1 材 料

2 个供试水稻品种均为籼型杂交组合,生育进程及生育期较为接近。其中,五丰优 T025:五丰 A/昌恢 T025,2010 年通过国家审定,同年农业部认定为超级稻,多年多点观察发现产量性能优异,大田正常产量为 $8000\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,高产田产量达 $11000\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,在长江中下游作双季晚稻种植全生育期平均 112.3d;金优 207:金 23A/R207,大田正常产量为 $7200\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,高产田产量 $8200\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,丰产性能低于五丰优 T025,在江西南昌地区种植全生育期 115d。

1.2 方 法

采用桶栽方式,塑料桶高 24cm,上部内径 30cm,底部直径 23.5cm。土壤取自稻田耕层土壤,晾晒粉碎,每盆风干土 15kg,底肥施复合肥 8g,分蘖期追施复合肥 3g,每桶插秧 3 穴,每穴 2 株苗,6 月 20 日播种,7 月 29 日移栽。移栽后统一按高产栽培方式进行水分、病虫害管理。

1.2.1 试验设计 对 2 个品种设置水分胁迫及一直

保持水层 2 种处理,每处理重复 4 次,每重复 8 桶,随机区组排列。水分胁迫处理:水稻扬花后(9 月 16 日)将桶内水倒掉并将白色薄膜盖于网室顶部防雨,进行干旱处理;另设一直保持水层的处理为对照(CK)。干旱处理组内安装 2 个真空表式土壤湿度计监测土壤含水量(中国科学院南京土壤研究所生产),埋设深度为陶土头中心距土表 30cm。每天 18:00 读取数值,干旱处理第 6 天的土壤水势小于 -80 KPa(仪器量程为 $0 \sim -80$ kpa),继续干旱直至土壤发白干裂后(干旱处理第 8 天)复水并将网室顶部白色薄膜撤除。成熟期收获并考种。

1.2.2 取样 水分胁迫前 1d、水分胁迫最后 1d、复水后第 2 天、复水后第 4 天及复水后第 6 天(分别以 A、B、C、D、E 表示),每品种每处理重复 3 次,用手术剪剪取新鲜倒二叶叶片。

1.3 指标测定

1.3.1 稳定碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$) 取样后于实验室内用超纯水清洗叶片样品,自然晾干后在 70°C 下烘干 48h,使样品完全干燥,粉碎,过 100 目筛使样品均一化。水稻叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值测定在江西省南昌市东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室用 Flash-EA 与 MAT-253 质谱仪联机进行测试,测试误差小于 0.2‰。

1.3.2 内源激素含量 剪后快速称取 0.5g 叶片用液氮速冻,置于 -80°C 冰箱中保存,送中国农业大学用酶联免疫吸附法(ELISA)测定 ABA(脱落酸),ZR(玉米素),IAA(吲哚乙酸), GA_3 (赤霉素)4 种内源激素含量。

1.3.3 产量及产量结构 每处理每重复取 3 桶,每桶

3 株,共 27 株,测量穗长,考查每穗粒数、空粒数、千粒重,重复内取均值。计算结实率和单株产量。

1.4 统计分析

使用 DPS 和 Microsoft Excel 软件对有关数据进行分析并作图。

2 结果与分析

2.1 干旱复水下 2 个品种水稻产量及其构成的差异性

表 1 可看出,充分供水条件下超级稻品种五丰优 T025 结实率、千粒重和单株产量均高于对照品种金优 207,但差异未达显著水平。抽穗后干旱复水对产量形成影响较大,2 个品种结实率、千粒重及单株产量较一直保持水层的处理均表现出不同程度下降,其中结实率下降尤其明显,说明双季杂交晚稻生育后期保水对单产形成的重要性具有普遍意义。具体来看,五丰优 T025 与金优 207 的结实率在旱后复水和 CK 的差异均达极显著水平,旱后复水处理较 CK 分别下降 12.07% 和 7.67%;千粒重也分别达极显著和显著水平,旱后复水处理较 CK 分别下降 5.23% 和 9.09%;单株产量上,五丰优 T025 旱后复水处理与 CK 间差异显著,但未达极显著水平,金优 207 在 2 个处理间的差异则达极显著水平,旱后复水处理较 CK 分别下降 13.54% 和 27.14%。结果表明抽穗后干旱复水条件下超级稻品种五丰优 T025 产量稳定性能强于对照品种金优 207,但总体上抽穗后干旱复水对双季杂交晚稻产量形成影响严重。

表 1 干旱复水处理下 2 个品种水稻产量及其构成的差异性

Table 1 Yield and its component under the treatment of the rewatering after drought for the two rice varieties

品种 Variety	处理 Treatment	结实率 Seed-setting rate(%)	千粒重 1000-grain weight(g)	单株产量 Yield per plant(g)
五丰优 T025	干旱复水 rewatering after drought	77.02 ± 0.19bB	25.20 ± 0.65bB	25.21 ± 1.49bA
WufengyouT025	CK	89.09 ± 1.57aA	26.59 ± 0.38aA	29.16 ± 1.41aA
金优 207	干旱复水 rewatering after drought	73.76 ± 1.03bB	22.59 ± 1.36bA	20.72 ± 0.35bB
Jinyou207	CK	81.43 ± 0.33aA	24.85 ± 0.16aA	28.67 ± 1.53aA

注:小写和大写字母分别表示 5% 显著水平和 1% 极显著水平

Note: Small and big alphabet represent significant at the level of 5% and 1% respectively

2.2 干旱复水下 2 个品种水稻倒二叶稳定碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$) 的差异性

由图 1 可知,充分供水条件下 2 个品种水稻抽穗后倒二叶 $\delta^{13}\text{C}$ 值均呈现出先下降至最低值(约于抽穗后 13d),后上升至最高值(约于抽穗后 17d),再呈下

降趋势。干旱处理下,五丰优 T025 抽穗后倒二叶 $\delta^{13}\text{C}$ 值大幅上升,干旱处理结束时与对照之间差值达最大,前者高出后者 3.56%;复水后表现出下降趋势,但复水后第 6 天又开始上升。总体上五丰优 T025 抽穗后倒二叶 $\delta^{13}\text{C}$ 值表现出干旱复水处理高于对照。金优

207 倒二叶 $\delta^{13}\text{C}$ 值表现出干旱处理下大幅下降,且下降幅度大于对照,复水后表现出先上升后下降再上升特点,且整个处理期基本上为干旱复水处理低于对照,至复水后第 6 天才略高于对照。总体上,五丰优 T025 较金优 207 抽穗后干旱复水处理和对照之间倒二叶 $\delta^{13}\text{C}$ 值的波动幅度更大。

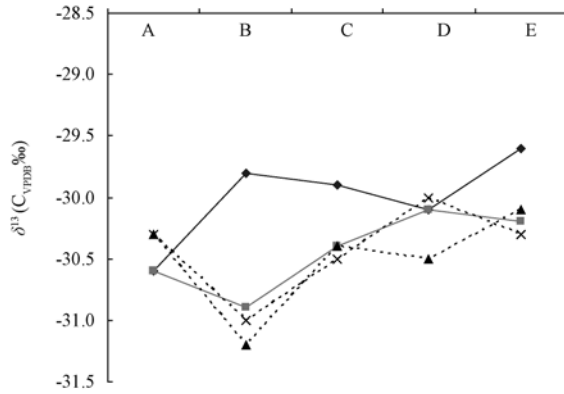


图 1 干旱复水处理下 2 个品种水稻 $\delta^{13}\text{C}$ 动态
Fig. 1 Dynamics of $\delta^{13}\text{C}$ under the treatment of rewatering after drought for the two rice varieties

注:—◆— 五丰优 T025 干旱复水 Rewatering after drought of Wufengyou T025; —■— 五丰优 T025CK CK of Wufengyou T025; - - - ▲ - - - 金优 207 干旱复水 Rewatering after drought of Jinyou 207; - - - × - - - 金优 207CK CK of Jinyou 207

下同 The same as below

2.3 干旱复水下 2 个品种水稻倒二叶内源激素含量的差异性

图 2 表明,在充分供水条件下,抽穗后随着生育推进,2 个品种倒二叶内源 ABA 含量呈上升趋势,且各期五丰优 T025 均低于金优 207。但在干旱处理下,2 个品种上升幅度均显著高于对照,复水后 2 个品种均表现出先下降后上升特点。干旱处理最后 1d,五丰优 T025 和金优 207 ABA 含量较对照分别上升 55.39% 和 27.70%。图 2 还显示,五丰优 T025 抽穗后干旱复水处理倒二叶内源 ABA 含量波动幅度明显大于金优 207。

图 3 表明,在充分供水条件下,抽穗后随着生育推进,2 个品种倒二叶内源 IAA 含量呈下降趋势,且各个生育期五丰优 T025 均低于金优 207。但干旱复水处理下,2 个品种的 IAA 含量下降幅度均显著高于对照,从 2 个品种干旱处理与对照间的差距可看出,五丰优 T025 抽穗后干旱复水处理倒二叶内源 IAA 含量波动性明显低于金优 207。

图 4 表明,在充分供水条件下,抽穗后随着生育推

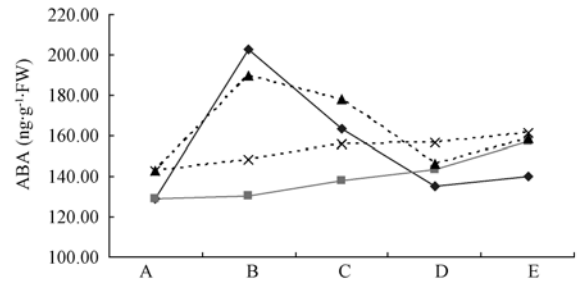


图 2 干旱复水处理下 2 个品种水稻倒二叶 ABA 动态
Fig. 2 Dynamics of ABA content under the treatment of rewatering after drought in the reciprocal leaf for the two rice varieties

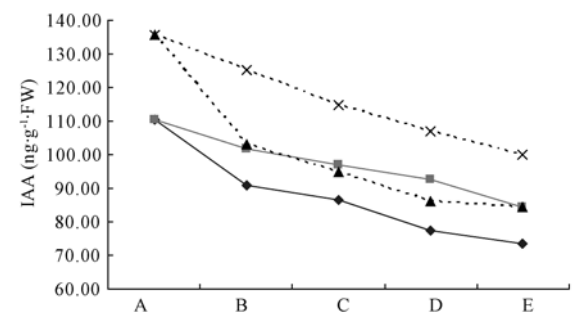


图 3 干旱复水处理下 2 个品种水稻倒二叶 IAA 动态

Fig. 3 Dynamics of IAA content under the treatment of rewatering after drought in the reciprocal leaf for the two rice varieties

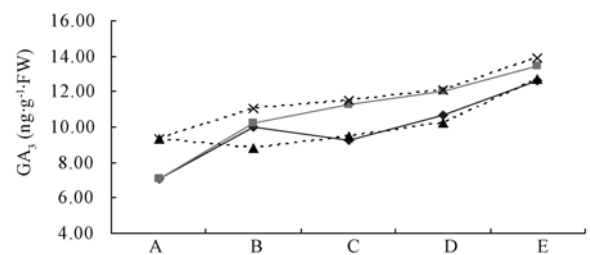


图 4 干旱复水处理下 2 个品种水稻倒二叶 GA_3 动态

Fig. 4 Dynamics of GA_3 content under the treatment of rewatering after drought in the reciprocal leaf for the two rice varieties

进,2 个品种水稻倒二叶内源 GA_3 含量呈上升趋势,且各生育时期五丰优 T025 均略低于金优 207。但在干旱复水处理下,五丰优 T025 的 GA_3 含量表现出先上升后下降,至复水后第 2 天降至最低值再上升的特点,但各生育时期值均低于对照;而金优 207 干旱复水下 GA_3 含量表现出干旱处理结束时急剧下降至最低点,

复水后缓慢上升,但也一直低于充分供水。从 2 个品种干旱复水处理与对照间的差距看,五丰优 T025 抽穗后干旱复水处理倒二叶内源 GA_3 含量波动幅度低于金优 207。

从图 5 可以看出,2 个品种水稻干旱复水及对照条件下抽穗后倒二叶 ZR 含量均呈现出先上升至最高值(约于抽穗后 13d),再下降的趋势,且各时期均为干旱复水处理低于对照;相同处理下,五丰优 T025 倒二叶内源 ZR 含量低于金优 207。从干旱复水处理与对照间的差距来看,总体上,五丰优 T025 较金优 207 抽穗后干旱复水和对照间倒二叶 ZR 含量的波动幅度更小。

上述结果说明 2 个品种水稻干旱复水处理下其倒二叶 4 种内源激素的产生与调节方式存在差异。

2.4 干旱复水下 2 个品种水稻倒二叶内源激素平衡的差异性

内源激素对植物生长发育的调节往往是多种激素

表 2 2 个品种水稻干旱复水下内源生长促进激素 (IAA + ZR + GA_3) 与 ABA 的比值

Table 2 The values between the endogenous growth promoted hormones (IAA + ZR + GA_3) and ABA under the treatment of rewatering after drought for the two rice varieties

品种 Variety	处理 Treatment	干旱前 1d One day before drought	干旱最后 1d The last day of the drought	复水第 2d The second day after rewatering	复水第 4d The fourth day after rewatering	复水第 6d The sixth day after rewatering
五丰优 T025 WufengyouT025	干旱复水 Rewatering after drought	0.95	0.55	0.65	0.71	0.67
	CK	0.95	0.96	0.87	0.80	0.68
金优 207 Jinyou207	干旱复水 Rewatering after drought	1.09	0.65	0.64	0.72	0.67
	CK	1.09	1.04	0.91	0.84	0.78

表 3 2 个品种水稻干旱复水下各内源生长促进激素与 ABA 的比值

Table 3 The values between the each endogenous growth promoted hormones and ABA under the treatment of rewatering after drought for the two rice varieties.

品种 Variety	处理 Treatment	干旱最后 1d The last day of the drought			复水第 6 天 The sixth day after rewatering		
		IAA/ABA	ZR/ABA	GA_3 /ABA	IAA/ABA	ZR/ABA	GA_3 /ABA
五丰优 T025 WufengyouT025	干旱复水 Rewatering after drought	0.45	0.05	0.05	0.52	0.06	0.09
	CK	0.78	0.10	0.08	0.54	0.06	0.09
金优 207 Jinyou207	干旱复水 Rewatering after drought	0.54	0.06	0.05	0.53	0.06	0.08
	CK	0.84	0.12	0.07	0.62	0.08	0.09

2.4.1 内源生长促进激素 (IAA + ZR + GA_3) 与 ABA 的比值 表 2 表明,水稻抽穗后随着生育进程推进,对照条件下,2 个品种水稻倒二叶生长促进类激素总和 (IAA + ZR + GA_3) 与 ABA 的比值均呈现下降趋势,各时期五丰优 T025 比值均高于金优 207;而干旱处理下 2 个品种水稻 IAA + ZR + GA_3 与 ABA 的比值均大幅度

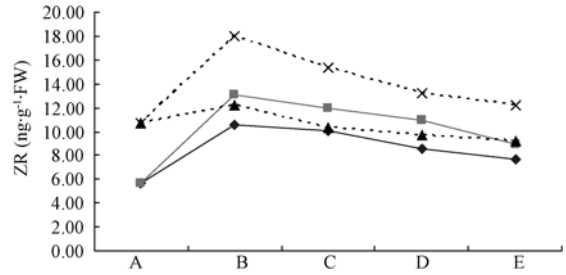


图 5 干旱复水处理下 2 个品种水稻倒二叶 ZR 动态

Fig. 5 Dynamics of ZR content under the treatment of rewatering after drought in the reciprocal leaf for the two rice varieties

综合作用的结果,这种作用不仅取决激素本身的浓度,还取决于激素间适当的比例和平衡^[12-14]。

下降,复水后上升,但五丰优 T025 的上升速度快于金优 207。这可能与五丰优 T025 抽穗后干旱复水处理下千粒重下降幅度小于金优 207 有关。

2.4.2 内源生长促进激素与 ABA 的比值 抽穗后稻株开始衰老,反映到内源激素平衡上为生长促进类激素与抑制类激素的比值明显下降,但不同产量潜力品

种间存在一定的差异。如表 3 所示,对照条件下,2 个品种水稻生长促进类激素 IAA、ZR、 GA_3 与生长抑制类激素 ABA 的比值随着生育推进均明显下降,总体上五丰优 T025 低于同期金优 207;干旱条件下,2 个品种生长促进类激素 IAA、ZR、 GA_3 与生长抑制类激素 ABA 的比值均明显低于对照,复水后各生长促进类激素与 ABA 的比值显著上升,且总体上五丰优 T025 高于同期金优 207。结果说明较高的生长促进类激素与生长抑制类激素比值在水稻后期生长和抗旱防早衰过程中起促进作用。

3 讨论

3.1 水稻抽穗后干旱复水下反弹性生长补偿效应与品种产量稳定性的关系

以往研究表明稳产性优的杂交水稻品种产量构成因子大多表现出一定的可塑性^[15]。水分是影响水稻产量稳定性的一个极为重要的栽培环境因子,如前所述,水稻干旱胁迫后复水存在生长补偿效应。生态学上的补偿效应或超补偿效应是指作物受到阈值内的胁迫压力后,在结构和生理水平上产生的一种有利于作物生长发育和产量形成的能力^[16]。不难发现,前人对水稻旱后复水补偿效应的研究多集中于生育前中期,迄今对抽穗后干旱胁迫——恢复供水补偿能力与品种产量稳定性能关系如何知之甚少。本研究结果表明,五丰优 T025 和金优 207 抽穗后进行干旱 8d 至土壤发白开裂(应属重度胁迫)后复水处理,2 个品种水稻结实率、千粒重及单株产量均表现出不同程度下降,3 个指标干旱复水处理与一直保持水层的对照之间差异达显著或极显著水平,双季杂交晚稻抽穗后重度干旱复水处理下未出现产量补偿效应。从单产下降幅度上看,抽穗后干旱复水处理下五丰优 T025 产量稳定性能优于金优 207,主要原因是千粒重稳定性更好,但五丰优 T025 干旱复水下结实率下降幅度大于金优 207。说明抽穗后干旱复水补偿效应利用上应注意干旱程度与时期;还应注意的是,结实率是一个受环境因子影响极大的指标,产量性能优的超级稻品种结实率稳定性育种改良与栽培保障尤为重要。

3.2 水稻抽穗后干旱复水对不同产量潜力品种稳定碳同位素组成 ($\delta^{13}\text{C}$) 的影响及其与产量稳定性的关系

稳定碳同位素比率 ($\delta^{13}\text{C}$) 是反应叶片长期生长状况的一个较稳定的指标^[17]。稳定性同位素技术是目前国际常用的间接测定植物水分利用效率 (WUE) 的

方法, Farquhar 和 Sharkey^[18] 提出碳同位素分馏强度 ($\Delta^{13}\text{C}$) 与 WUE 呈负相关,即碳同位素组成 ($\delta^{13}\text{C}$) 与 WUE 呈正相关。Jordi 等^[19] 研究表明大麦叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 和 WUE 呈很强的正相关,并提出测定叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 可作为选择高 WUE 和高产大麦的有效途径。郭鹏等^[20] 研究认为在水分充足的情况下 $\delta^{13}\text{C}$ 可作为筛选高水分利用效率黑杨品系的可靠指标。张怡等^[21] 研究指出,2 个四倍体刺槐品种和普通二倍体刺槐叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 与其 WUE 有良好的正相关性,可以作为筛选高 WUE 刺槐品种的指标。本研究表明:干旱期间,不同品种中 $\delta^{13}\text{C}$ 响应水分胁迫的程度不同,五丰优 T025 水分胁迫期间 $\delta^{13}\text{C}$ 较对照大幅升高,而金优 207 较对照明显下降。复水后五丰优 T025 $\delta^{13}\text{C}$ 先下降后上升,正好与对照的变化趋势相反。复水后金优 207 $\delta^{13}\text{C}$ 先上升后下降再上升,对照先上升后下降。干旱期间倒二叶 $\delta^{13}\text{C}$ 较对照的上升幅度上五丰优 T025 大于金优 207,复水后上升幅度差异比较发生了变化。说明干旱及复水期间产量稳定性越好的品种, $\delta^{13}\text{C}$ 较对照的上升幅度越大,但 $\delta^{13}\text{C}$ 与水分利用率及产量形成的关系还需进一步研究。

3.3 水稻抽穗后干旱复水对不同产量潜力品种内源激素的影响及其与产量稳定性的关系

研究认为,植物生长发育的基本规律和代谢过程的调节控制与植物的内源激素密切相关^[22-23],激素调节作用由植物内源激素相互协调共同完成,激素间的平衡比单一激素的作用更为重要,这种平衡状态控制核酸蛋白质及可溶性糖等营养物质的代谢,从而影响着植物的生长^[24-27]。本研究表明:抽穗后倒二叶单一生长激素与水稻产量、结实率及千粒重间相关性均未达到显著水平;干旱前 1d(抽穗后 5d 左右)生长促进类激素 (IAA + ZR + GA_3)/ABA 与结实率、千粒重和单株产量之间呈负相关,而复水后第 6 天(抽穗后 19d 左右)生长促进类激素 (IAA + ZR + GA_3)/ABA 与结实率、千粒重和单株产量之间呈较小正相关,干旱最后 1d 至复水后第 4 天生长促进类激素 (IAA + ZR + GA_3)/ABA 与结实率、千粒重和单株产量之间呈较大正相关,其中复水后第 2 天生长促进类激素 (IAA + ZR + GA_3)/ABA 与结实率和单株产量,复水后第 4 天生长促进类激素 (IAA + ZR + GA_3)/ABA 与结单株产量间相关均达显著水平,相关系数分别为 0.885、0.899 和 0.885,该结果一方面证实了内源激素相互协调的重要性,另一方面表明双季杂交晚稻灌浆盛期生长促进类激素与生长抑制类激素之间比值保持较高水平的重要性。进一步研究 2 个品种水稻单一生长促进类激

素与生长抑制类激素之间比值与结实率、千粒重和单株产量之间的相关性分析可发现,干旱最后 1d 及复水后第 6 天 ZR/ABA 与结实率、千粒重和单株产量之间相关系数明显小于 IAA/ABA 和 GA_3/ABA , 尤其是 GA_3/ABA , 干旱最后 1d 与结实率及复水后第 6 天与千粒重、单株产量之间的相关性均达显著水平, 相关系数分别为 0.955^{**}、0.891 和 0.893。该结果从另一方面说明了抽穗后双季晚稻内源激素平衡性与籽粒结实灌浆间关系的复杂性。

参考文献:

- [1] 朱立宏. 关于我国水稻高产育种的我见[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(1): 129-135
- [2] 梁永超, 胡 锋, 杨茂成, 朱退亮, 王广平, 王永乐. 水稻覆膜旱作高产节水机理研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(1): 26-32
- [3] 山 仑. 旱地农业技术发展趋向[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7): 848-855
- [4] 郝树荣, 郭相平, 王为木, 张烈君, 王 琴, 王青梅. 胁迫后复水对水稻叶面积的补偿效应[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(4): 19-21
- [5] 郝树荣, 郭相平, 王为木, 张烈君, 王 琴, 王青梅, 刘展鹏. 水稻分蘖期水分胁迫及复水对根系生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 149-152
- [6] 郝树荣, 郭相平, 张展羽. 水分胁迫及复水对水稻冠层结构的补偿效应[J]. 农业机械学报, 2010, 41(3): 52-55
- [7] 郝树荣, 郭相平, 王为木, 张烈君, 王 琴. 水稻拔节期水分胁迫及复水对叶片叶绿体色素的影响[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006, 34(4): 397-400
- [8] 卢少云, 郭振飞, 彭新湘, 李宝盛, 李明启, 黎用朝. 干旱条件下水稻幼苗的保护酶活性及其与耐旱性关系[J]. 华南农业大学学报, 1997, 18(4): 21-25
- [9] 郭相平, 张烈君, 王 琴, 王为木, 郝树荣. 拔节孕穗期水分胁迫对水稻生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 125-129
- [10] 刘宇锋, 高国庆, 李道远. 干旱胁迫下不同水稻品种相关生理生化特性比较[J]. 广西农业科学, 2008, 39(4): 456-460
- [11] 袁 静, 蒋新会, 黄锦珠, 章二子. 水稻拔节孕穗期旱涝急转对其生理特性的影响[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(4): 259-262
- [12] 唐祈林, 荣廷昭. 玉米秃尖与内源激素的关系[J]. 核农学报, 2007, 21(4): 366-368
- [13] 王 兴, 薛建平, 张爱民. 遮荫对半夏块茎鲜重及其内源激素含量的影响[J]. 核农学报, 2008, 22(4): 514-518
- [14] 库文珍, 彭克勤, 萧浪涛, 张雪芹, 沈志锦, 黄 欣. 低钾胁迫对不同基因型水稻苗期根系生长和内源激素含量的影响[J]. 亚热带植物科学, 2008, 37(1): 21-24
- [15] 刘文江, 汪旭东, 周开达, 李浩杰. 广适性杂交水稻的性状特征研究[J]. 四川农业大学学报, 2000, 18(2): 137-140
- [16] 赵 明, 李建国, 张 宾, 董志强, 王美云. 论作物高产挖潜的补偿机制[J]. 作物学报, 2006, 32(10): 1566-1573
- [17] 林植芳, 林桂珠, 孔国辉, 张鸿彬. 亚热带自然林两种木本植物稳定碳同位素比值、胞间 CO_2 浓度和水分利用效率的生长辐射效应[J]. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(2): 77-82
- [18] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317-345
- [19] Jordi V, Luis S, Montserrat H, Jesus P. Carbon isotope discrimination, gas exchange and stem growth of four Euramerican hybrid poplars under different watering regimes [J]. New Forests, 2006, 31: 435-451
- [20] 郭 鹏, 邢海涛, 夏新莉, 尹伟伦. 3 个新引进黑杨无性系间水分利用效率差异性研究[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(2): 19-24
- [21] 张 怡, 罗晓芳, 沈应柏. 干旱胁迫下四倍体刺槐幼苗水分利用效率及稳定碳同位素组成的研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(7): 1460-1464
- [22] 梁建生. ABA 对高等植物基因表达的作用[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(2): 230-233
- [23] 夏 涛, 刘纪麟. 生长素和玉米素与玉米细胞质雄性不育性关系的研究[J]. 作物学报, 1994, 20(1): 26-32
- [24] 袁 媛, 杨文钰. 遮荫对野生大百合叶片内源激素含量的影响[J]. 北方园艺, 2007, (8): 123-125
- [25] 张自常, 段 华, 杨立年, 王志琴, 杨建昌. 水稻育苗移栽早种方式对米质的影响及其与籽粒激素浓度的关系[J]. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1297-1307
- [26] 方良俊, 符小琴, 叶群珊, 张星福, 符垂康. 诱抗剂对水稻幼苗耐盐性的诱导作用[J]. 核农学报, 2006, 20(4): 273-276
- [27] 郝再彬, 苍 晶, 孙 鑫. 水稻无侧根突变体 RM109 的氧化还原代谢[J]. 核农学报, 2002, 16(4): 193-196