

FACE 对三系杂交籼稻汕优 63 根系生长动态的影响

刘红江¹, 杨连新¹, 黄建晔¹, 董桂春¹, 朱建国², 刘 钢², 王余龙¹

(1.扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009; 2.中国科学院南京土壤研究所 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏 南京 210008)

摘 要:CO₂ 浓度增高影响水稻生长。2005、2006 年利用我国惟一的农田开放式空气 CO₂ 浓度增高(FACE)研究平台,设计施 N 量为 125 kg·hm⁻²(LN)、250 kg·hm⁻²(NN)处理,研究大气 CO₂ 浓度比对照高 200 μmol·mol⁻¹ 的 FACE 处理对三系杂交籼稻汕优 63 根系生长动态的影响。结果表明:(1)FACE 处理使汕优 63 够苗期、拔节期、抽穗期每穴的不定根数、不定根总长度、根系体积以及根干物质质量均极显著大于对照;(2)FACE 处理使汕优 63 抽穗期每穴不定根数和每穴根体积极显著增加,主要是由于 FACE 处理使汕优 63 有效分蘖期间和无效分蘖期间每穴不定根数和每穴根体积极大幅度增加;(3)FACE 处理使汕优 63 抽穗期每穴不定根总长度极显著增加,主要是由于 FACE 处理使汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间、拔节长穗期间每穴不定根总长度均大幅度增长;(4)FACE 处理使汕优 63 抽穗期每穴根干物质质量极显著大于对照,主要是由于 FACE 处理使汕优 63 拔节长穗期间每穴根干物质质量的生长量大幅度增加;(5)FACE 处理使汕优 63 抽穗期每条不定根长极显著大于对照,是因为 FACE 处理使汕优 63 3 个生长期期间每条不定根的生长量均明显增加。FACE 处理能够显著促进汕优 63 根系的发生和生长。

关键词:水稻;开放式空气 CO₂ 浓度增高(FACE);根系;根系生长动态

中图分类号:X171.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)06-2291-06

Effect of Free Air CO₂ Enrichment on Root Growth Dynamics of *Indica* Rice(*Oryza sativa* L.)Cultivar Shanyou 63

LIU Hong-jiang¹, YANG Lian-xin¹, HUANG Jian-ye¹, DONG Gui-chun¹, ZHU Jian-guo², LIU Gang², WANG Yu-long¹

(1.Key Lab of Crop Cultivation & Physiology, Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2.State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: The increase of atmospheric[CO₂] affects rice growth. In this study, the Chinese unique Free Air CO₂ Enrichment[FACE, 200 μmol·mol⁻¹ higher than ambient(AMB)] research platform was used to investigate the effects of FACE on root growth dynamics at different growth stages of three-line indica hybrid rice cultivar Shanyou 63 under two levels of N: low(LN, 125 kg·hm⁻²) and normal N(NN, 250 kg·hm⁻²) during 2005—2006. Main results showed that: (1)FACE treatment significantly increased the number of adventitious roots per hole, the length of adventitious roots per hole, the roots volume per hole, the dry weight of roots per hole of Shanyou 63 at tillering, jointing and heading stages. (2)Number of adventitious roots per hole and the roots volume per hole under FACE were significantly higher than those under AMB at heading stage, which was chiefly resulted from the larger increment of those root traits under FACE during effective-tillering and unproductive-tillering period. (3)The length of adventitious roots per hole under FACE was significantly higher than that under AMB at heading stage, which was chiefly caused by the still larger increment of the length of adventitious roots per hole under FACE before heading. (4)The dry weight of roots per hole under FACE was significantly higher than that under AMB at heading stage due to FACE substantially increasing the dry weight of roots per hole during stem elongating and panicle bearing period. (5)The length of per adventitious root under FACE was significantly higher than that under AMB at heading stage, which was chiefly resulted from the still larger increment of the length of per adventitious root under FACE before heading. Thus, FACE significantly promoted the adventitious roots growth and development of Shanyou 63.

Keywords: rice; free-air CO₂ enrichment(FACE); root system; root growth dynamics

收稿日期:2008-02-17

基金项目:国家自然科学基金项目(30471013,30671226);国家自然科学基金重大国际合作研究项目(40120140817);中国科学院知识创新重要方向项目(KSCX3-SW-440)

作者简介:刘红江(1979—),男,博士研究生,主要从事水稻栽培生理生态方面的研究。E-mail:Liuhongjiang2004@sohu.com

通讯作者:王余龙 E-mail:ylwang@yzu.edu.cn

前文报道了开放式空气中二氧化碳增高(FACE, 比对照高 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)对三系杂交水稻汕优 63 的 N 素吸收利用、P 素吸收利用的影响^[1-2]。根系不仅是作物吸收水分、养分的重要器官^[3],而且还能合成多种生理活性物质^[4],对作物的产量形成、养分、水分的吸收利用等具有举足轻重的影响^[5-7],同时还可通过根系的分泌物、根系残留等对土壤养分循环产生重要影响。到目前为止,仅 Kim 等^[8]报道了 FACE 处理使日本粳稻品种 Akitakomachi 穗分化期和抽穗期根干物质质量显著增加,以及杨洪建等^[9-11]报道了 FACE 处理使我国粳稻品种武香粳 14 不同生育时期每穴不定根数、总长度、体积和干物质质量极显著大于对照,使不同生育时期单位干重根系的总吸收面积、活跃吸收面积、 α -萘胺氧化量均显著或极显著低于对照。在我国水稻生产中具有重要地位的杂交水稻的根系生长发育对 FACE 的响应尚未见报道。同常规粳稻相比,杂交水稻杂种优势强、抗逆性好、穗型大、产量高,杂交水稻的根系生长发育对 FACE 的响应规律是否与常规粳稻品种一致?响应值的大小与粳稻品种有无差异?为了明确这些问题,本研究于 2005—2006 年,在江苏省江都市利用中国惟一的农田 FACE 研究平台,以我国种植面积最大的三系杂交水稻汕优 63 为供试材料,设计施 N 量分别为 125 、 $250 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理,研究大气 CO_2 浓度比对照高 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 的 FACE 处理对杂交水稻根系生长动态的影响,以期对未来大气 CO_2 浓度升高条件下我国水稻生产提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

本试验于 2005、2006 年在中国水稻 FACE 研究平台上进行。该平台由 2001 年建成的无锡 FACE 平台迁移而来,重建于江苏省江都市小纪镇良种场试验田中($32^{\circ}35'5''\text{N}$, $119^{\circ}42'\text{E}$),试验田土壤类型为清泥土,年均降水量为 980 mm 左右,年均蒸发量为 $1\ 100 \text{ mm}$ 左右,年平均温度为 14.9°C ,年日照时间为 $2\ 100 \text{ h}$ 左右,年平均无霜期约为 220 d ,耕作方式为水稻-冬小麦轮作。土壤理化性质为:有机碳 $18.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全 N $1.45 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全 P $0.63 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全 K $14.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效 P $10.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效 K $70.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,砂粒($0.02\sim 2 \text{ mm}$) $578.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,粉砂粒($0.002\sim 0.02 \text{ mm}$) $285.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,粘粒($<0.002 \text{ mm}$) $136.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,容重 $1.16 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,pH 7.2。平台共有 3 个 FACE 试验圈和 3 个对照圈。FACE 圈之间以及 FACE 圈与对照圈之间的间隔 $>90 \text{ m}$,以减

少 CO_2 释放对其他圈的影响。FACE 圈设计为正八角形,外接圆直径为 12.5 m ,通过 FACE 圈周围的管道向 FACE 圈中心喷射纯 CO_2 气体,电脑控制 FACE 圈内 CO_2 浓度,使其全生育期 FACE 圈内 CO_2 浓度保持在 $570 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 左右^[18]。对照田块没有安装 FACE 管道,其余环境条件与自然状态一致。

1.2 供试材料

2005、2006 年,供试品种均为三系杂交水稻汕优 63,大田早育秧,5 月 20 日播种,6 月 15 日人工移栽,行距为 25 cm ,株距为 16.7 cm ,1 苗 $\cdot$ 穴 $^{-1}$ 。自移栽期起,大气 CO_2 浓度设对照($370 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)和比对照高 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 的 FACE 处理($570 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)2 个水平。施 N 量分别设 $125 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (LN)、 $250 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (NN)2 个水平,共 4 个处理组合。同一 FACE 圈的 1/2 为 LN 区,另 1/2 为 NN 区。N 肥施用时期分别为 6 月 14 日施基肥、6 月 21 日施分蘖肥以及 7 月 28 日施穗肥。基肥和分蘖肥占总施 N 量的 60%,穗肥占总施 N 量的 40%。施 P、K 量均为 $70 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,全部作基肥施用。水分管理为 6 月 13 日至 7 月 10 日保持浅水层(约 5 cm),7 月 11 日至 8 月 4 日进行多次轻搁田,8 月 5 日至收割前 7 日进行间隙灌溉。适时进行病虫害防治。

1.3 测定内容与方法

2005、2006 年,于移栽后 27 d(约够苗期)、移栽后 47 d(约拔节期)、抽穗期每小区调查 35 穴有效茎蘖(穗)数,取其中有代表性的植株 5 穴,每穴以植株为中心,取长 25 cm 、宽 16.7 cm 、深 20 cm 的土块,用清水冲洗后,记数每穴不定根数,测量每穴不定根总长度,用容积法测定每穴根系体积, 105°C 杀青 30 min , 80°C 烘至恒重(一般为 72 h)后称量根干物质质量。

1.4 统计分析方法

本试验所有数据均以 Excel 进行数据处理和图表绘制,SPSS 进行 CO_2 、N 单因素及其互作效应的显著性分析。各处理的比较采用最小显著差数(LSD)法,凡超过 $LSD_{0.05}$ (或 $LSD_{0.01}$)水平的视为显著(或极显著)。

2 结果与分析

2.1 FACE 对汕优 63 每穴不定根数的影响

FACE 处理对汕优 63 不同生育时期每穴不定根数的影响如图 1 所示。由图 1 可知:(1)FACE 处理使汕优 63 够苗期、拔节期、抽穗期每穴不定根数分别平均比对照增加 25.1%、19.8%和 15.9%,处理间的差异

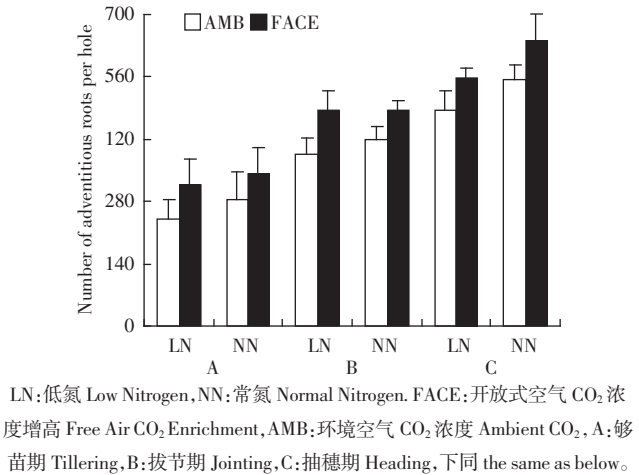


图 1 FACE 处理对每穴不定根数的影响

Figure 1 Effect of FACE treatment on number of adventitious roots per hole

均达到极显著水平;(2)NN 处理使汕优 63 够苗期、拔节期、抽穗期每穴不定根数分别平均比 LN 处理增加 12.3%、4.0%和 14.5%,除拔节期外,处理间的差异达到显著或极显著水平;(3)统计分析表明,不同年度间够苗期、抽穗期汕优 63 每穴不定根数的差异达到显著或极显著水平,CO₂×N、CO₂×Y、N×Y 和 CO₂×N×Y 的互作效应对汕优 63 不同生育时期每穴不定根数的影响均未达到显著水平(表 1)。

水稻移栽至抽穗期可分为移栽至有效分蘖临界叶龄期^[12](简称有效分蘖期间,下同)、有效分蘖临界叶龄期至拔节期^[12](简称无效分蘖期间,下同)和拔节期至抽穗期(简称拔节长穗期间,下同)等 3 个生育阶段。FACE 处理汕优 63 有效分蘖期间(2005、2006 年均均为移栽至移栽后 27 d,下同)、无效分蘖期间(2005、2006 年均均为移栽后 27 至 47 d,下同)和拔节长穗期间(2005、2006 年均均为移栽后 47 d 至抽穗期,下同)每穴不定根的发生数依次为 329.6、154.8 和 116.7 条,分别比对照多 66.1、13.9 和 2.3 条(图 1)。统计分析表明,FACE 处理使汕优 63 有效分蘖期间和无效分蘖期间每穴不定根数的增加量显著或极显著多于对照,拔节长穗期间与对照无明显差异。说明 FACE 处理汕优 63 抽穗期每穴不定根数极显著多于对照,主要是由于 FACE 处理使水稻有效分蘖期间和无效分蘖期间每穴不定根的发生数大幅度增加的缘故。

2.2 FACE 对汕优 63 每穴不定根总长度的影响

FACE 处理对汕优 63 不同生育时期每穴不定根总长度的影响如图 2 所示。由图 2 可知:(1)FACE 处理使汕优 63 够苗期、拔节期、抽穗期每穴不定根总长

度分别平均比对照增加 25.3%、23.8%和 29.2%,处理间的差异均达到极显著水平;(2)NN 处理使汕优 63 够苗期、拔节期、抽穗期每穴不定根总长度分别平均比 LN 处理增加 10.8%、0.5%和 12.3%,除拔节期外,处理间的差异达到显著或极显著水平;(3)统计分析表明,不同年度间够苗期汕优 63 每穴不定根总长度的差异达到极显著水平,CO₂×N、CO₂×Y、N×Y 和 CO₂×N×Y 的互作效应对汕优 63 不同生育时期每穴不定

表 1 FACE 处理对水稻根系形态性状的显著性检验

Table 1 ANOVA for root morphological traits of rice plants among different treatments

项目	处理	够苗期	拔节期	抽穗期
每穴不定根数	Y(年)	**	ns	*
	CO ₂	**	**	**
	N(氮)	*	ns	**
	CO ₂ ×Y	ns	ns	ns
	N×Y	ns	ns	ns
	CO ₂ ×N	ns	ns	ns
	CO ₂ ×N×Y	ns	ns	ns
每穴不定根总长	Y	**	ns	ns
	CO ₂	**	**	**
	N	*	ns	**
	CO ₂ ×Y	ns	ns	ns
	N×Y	*	**	ns
	CO ₂ ×N	ns	ns	ns
	CO ₂ ×N×Y	ns	ns	ns
每穴根体积	Y	**	ns	ns
	CO ₂	**	**	**
	N	ns	**	**
	CO ₂ ×Y	ns	ns	ns
	N×Y	ns	**	*
	CO ₂ ×N	ns	ns	ns
	CO ₂ ×N×Y	ns	ns	ns
每穴根干物质质量	Y	**	**	**
	CO ₂	**	**	**
	N	ns	**	*
	CO ₂ ×Y	ns	*	*
	N×Y	ns	**	ns
	CO ₂ ×N	ns	ns	ns
	CO ₂ ×N×Y	ns	*	ns
每条不定根长	Y	**	**	**
	CO ₂	ns	ns	**
	N	ns	ns	ns
	CO ₂ ×Y	ns	ns	ns
	N×Y	ns	ns	ns
	CO ₂ ×N	ns	ns	*
	CO ₂ ×N×Y	ns	ns	ns

注:ns,no significance。* $P<0.05$,** $P<0.01$ 。

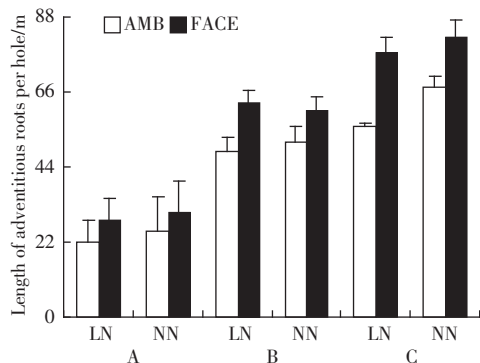


图 2 FACE 处理对每穴不定根总长的影响

Figure 2 Effect of FACE treatment on length of adventitious root per hole

根总长度的影响多未达到显著水平(表 1);(4)FACE 处理汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间和拔节长穗期间的每穴不定根总长度的增长量依次为 29.5、32.1 和 18.1 m,分别比对照长 6.0、5.9 和 6.2 m,有效分蘖期间、无效分蘖期间、拔节长穗期间每穴不定根总长度的增长量均极显著大于对照;(5)FACE 处理汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间和拔节长穗期间,每穴不定根总长度比对照的增加量之间无显著差异。说明 FACE 处理使汕优 63 抽穗期每穴不定根总长度极显著大于对照,是因为 FACE 处理使汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间、拔节长穗期间每穴不定根总长度的生长量均大幅度增加的缘故。

2.3 FACE 对汕优 63 每穴根体积的影响

FACE 处理对汕优 63 不同生育时期每穴根体积的影响如图 3 所示。由图 3 可知:(1)FACE 处理使汕优 63 够苗期、拔节期、抽穗期每穴根体积分别平均比对照增加 39.8%、49.8%和 51.6%,处理间的差异均达到极显著水平;(2)NN 处理使汕优 63 够苗期每穴根体积平均比 LN 处理下降 3.1%,拔节期、抽穗期每穴根体积分别平均比 LN 处理增加 22.9%和

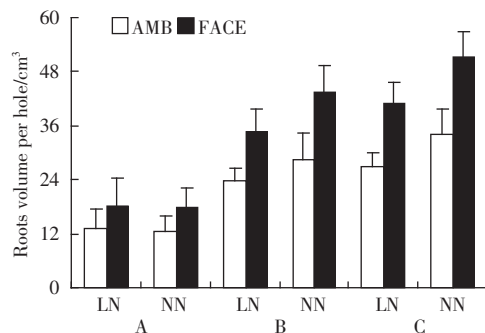


图 3 FACE 处理对每穴不定根体积的影响

Figure 3 Effect of FACE treatment on roots volume per hole

25.6%,除够苗期外,处理间的差异均达到极显著水平;(3)统计分析表明,不同年度间够苗期汕优 63 每穴根体积的差异达到极显著水平, $\text{CO}_2 \times \text{N}$ 、 $\text{CO}_2 \times \text{Y}$ 、 $\text{N} \times \text{Y}$ 和 $\text{CO}_2 \times \text{N} \times \text{Y}$ 的互作效应对汕优 63 不同生育时期每穴根体积的影响多未达到显著水平(表 1);(4)FACE 处理使汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间和拔节长穗期间的每穴根体积的增长量依次为 17.9、21.1 和 7.1 cm^3 ,分别比对照大 5.1、7.9 和 2.7 cm^3 ,3 个生长期每穴根体积的增大量均极显著大于对照;(5)FACE 处理汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间,每穴根体积比对照的增加量之间无显著差异,但均显著多于拔节长穗期间的增大量,说明 FACE 处理使汕优 63 抽穗期每穴根体积极显著大于对照,主要是因为 FACE 处理使汕优 63 有效分蘖期间和无效分蘖期间每穴根体积的增长量均大幅度增加的缘故。

2.4 FACE 对汕优 63 每穴根干物质质量的影响

FACE 处理对汕优 63 不同生育时期每穴根干物质质量的影响如图 4 所示。由图 4 可知:(1)FACE 处理使汕优 63 够苗期、拔节期、抽穗期每穴根干物质质量分别平均比对照增加 45.2%、29.1%和 50.2%,处理间的差异均达到极显著水平;(2)NN 处理使汕优 63 够苗期、拔节期和抽穗期每穴根干物质质量分别平均比 LN 处理增加 9.0%、13.5%和 8.4%,除够苗期外,处理间的差异达到显著或极显著水平;(3)统计分析表明,不同年度间汕优 63 不同生育时期每穴根干物质质量的差异均达到极显著水平, $\text{CO}_2 \times \text{Y}$ 的互作效应对汕优 63 拔节期、抽穗期每穴根干物质质量的影响均达到显著水平, $\text{N} \times \text{Y}$ 的互作效应对汕优 63 拔节期每穴根干物质质量的影响达到极显著水平, $\text{CO}_2 \times \text{N} \times \text{Y}$ 的互作效应对汕优 63 拔节期每穴根干物质质量的影响达到显著水平(表 1);(4)FACE 处理使汕优 63 有

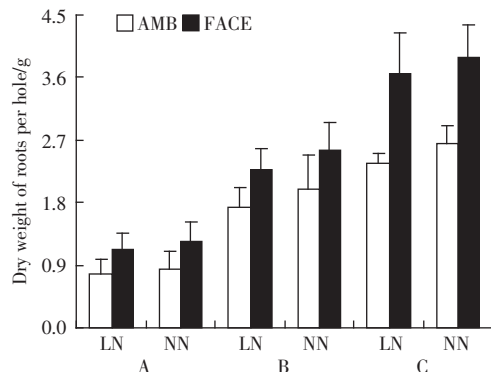


图 4 FACE 处理对每穴不定根干物质质量的影响

Figure 4 Effect of FACE treatment on dry weight of root per hole

效分蘖期间、无效分蘖期间和拔节长穗期间的每穴根干物质质量的增量依次为 1.2、1.2 和 1.4 g, 分别比对照大 0.4、0.2 和 0.7 g, 3 个生长期间每穴根干物质质量的增加量均极显著大于对照; (5) FACE 处理汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间, 每穴根干物质质量比对照的增加量之间无显著差异, 但均显著少于拔节长穗期间的增加量。说明 FACE 处理使汕优 63 抽穗期每穴根干物质质量极显著大于对照, 主要是因为 FACE 处理使汕优 63 拔节长穗期间每穴根干物质质量的增量大幅度增加的缘故。

2.5 FACE 对汕优 63 每条不定根长的影响

FACE 处理对汕优 63 不同生育时期每条不定根长的影响如图 5 所示。由图 5 可知: (1) FACE 处理使汕优 63 够苗期、拔节期和抽穗期每条不定根长分别平均比对照增加 1.6%、3.3% 和 11.7%, 抽穗期处理间的差异达到极显著水平; (2) NN 处理使汕优 63 够苗期、拔节期和抽穗期每条不定根长分别平均比 LN 处理下降 2.7%、3.3% 和 1.3%, 处理间的差异未达到显著水平; (3) 统计分析表明, 不同年度间汕优 63 不同生育时期每条不定根长的差异均达到极显著水平, $\text{CO}_2 \times \text{N}$ 、 $\text{CO}_2 \times \text{Y}$ 、 $\text{N} \times \text{Y}$ 和 $\text{CO}_2 \times \text{N} \times \text{Y}$ 的互作效应对汕优 63 不同生育时期每条不定根长的影响多未达到显著水平 (表 1); (4) FACE 处理汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间和拔节长穗期间的每条不定根长的增量依次为 8.9、3.9 和 0.6 cm, 分别比对照长 0.1、0.3 和 1.0 cm, 有效分蘖期间、无效分蘖期间和拔节长穗期间每条不定根长的增量与对照均没有显著差异; (5) FACE 处理汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间和拔节长穗期间, 每条不定根长比对照的增加量之间无显著差异。说明 FACE 处理使汕优 63 抽穗期每条

不定根长极显著大于对照, 是因为 FACE 处理使汕优 63 有效分蘖期间、无效分蘖期间和拔节长穗期间每条不定根长的生长量均明显增加的缘故。

3 讨论

水稻根系的生长和发生除受土壤类型、通透性、肥料施用量、施用时期及施用种类、灌溉方法等影响外, 亦明显受气候条件的影响。同时水稻根系生长还受到品种遗传背景的影响^[13-14]。前人研究认为, CO_2 浓度增加能明显影响作物的根系生长, 使根数增加、根直径变粗、分支根增多、根干物质质量提高等^[15-16], 对水稻根系生长动态的影响也有一些报道^[8, 17]。但利用 FACE 平台研究大气 CO_2 浓度升高对水稻根系生长的影响报道甚少, 仅 Kim 等^[8]研究表明, FACE 处理使日本中熟中梗稻品种 Akitakomachi 抽穗期根干物质质量比对照增加了 17.36%~45.61%, 以及杨洪建等^[10]研究表明, FACE 处理使我国梗稻品种武香梗 14 够苗期、拔节期、抽穗期每穴的不定根数、不定根总长度、根系体积以及根干物质质量均极显著大于对照。本研究表明, FACE 处理使三系杂交水稻汕优 63 够苗期、拔节期、抽穗期每穴的不定根数、不定根总长度、根系体积以及根干物质质量均极显著大于对照 (图 1、图 2、图 3、图 4)。与前人的研究结果基本一致。

进一步将水稻移栽至抽穗期分为有效分蘖期、无效分蘖期和拔节长穗期 3 个生育阶段, 杨洪建等^[10]研究表明, FACE 处理使武香梗 14 抽穗期每穴的不定根数、不定根总长度、根系体积和根干物质质量均极显著大于对照, 主要是由于 FACE 处理使水稻有效分蘖期间和无效分蘖期间这些根系性状的生长量大幅度增加的缘故, 而 FACE 处理对水稻拔节长穗期间这些根系性状的生长量影响较小, 甚至是负作用。本研究表明, FACE 处理使三系杂交水稻汕优 63 够苗期、拔节期和抽穗期每穴的不定根数、不定根总长度、根系体积以及根干物质质量均极显著大于对照。FACE 处理使汕优 63 抽穗期每穴的不定根数、不定根总长度、根系体积和根干物质质量均极显著大于对照, 除了由于 FACE 处理使汕优 63 有效分蘖期间和无效分蘖期间这些根系性状的生长量大幅度增加外, FACE 处理还使汕优 63 拔节长穗期间每穴不定根总长度和根干物质质量的生长量大幅度增加。从每条不定根长看, FACE 处理使汕优 63 抽穗期每条不定根长极显著大于对照是因为 FACE 处理使汕优 63 3 个生长期间每条不定根的生长量均明显增加。说明 FACE 处理

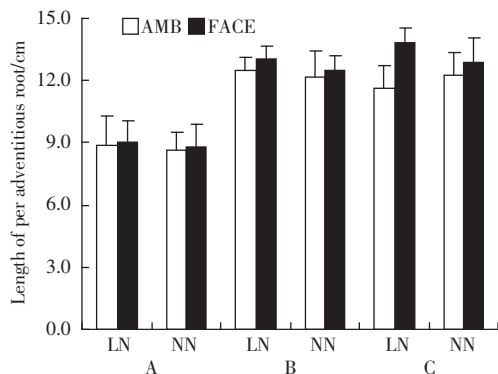


图 5 FACE 处理对每条不定根长的影响

Figure 5 Effect of FACE treatment on length of per adventitious root

在促进汕优 63 生育前期根系发生和生长的同时,到了生育中期还能促进汕优 63 根系的生长。

笔者等以往的研究结果表明,FACE 处理使三系杂交水稻汕优 63 成熟期的株高、产量、每穗颖花数、千粒重、生物产量(另文发表)、生育后期 N 素吸收量、N 素干物质生产效率、N 素子粒生产效率以及生育中后期的 P 素吸收量的增幅明显大于粳稻品种^[1-2],同时 FACE 处理使汕优 63 抽穗-成熟期的叶面积系数下降速度慢、净同化率高。水稻地上部诸性状以及 N、P 等养分吸收与地下部根系诸形态性状之间具有密切关系。汕优 63 拔节长穗期间根系生长量的增幅对 FACE 处理的响应明显大于粳稻品种,可能是 FACE 处理使汕优 63 地上部诸性状和生育后期 N、P 等养分吸收等的增幅明显大于粳稻品种的重要原因。

杨洪建等^[1]研究还表明,FACE 处理对武香粳 14 生育前期根系的发生和生长促进作用大,对生育中期根系的发生和生长促进作用较小,随着水稻生育进程的增加,根系生理年龄大或比较大的“老根”的比例明显大于对照,造成 FACE 处理水稻单位干物质质量和根系活性显著或极显著低于对照。FACE 处理对三系杂交水稻汕优 63 根系发生和生长促进作用的过程与粳稻品种明显不同,其单位干物质质量和根系活性对 FACE 处理的响应与粳稻品种是否一致,值得进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 刘红江, 杨连新, 黄建晔, 等. FACE 对三系杂交水稻汕优 63 氮素吸收利用的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 1015-1021.
- [2] 刘红江, 杨连新, 黄建晔, 等. FACE 对三系杂交水稻汕优 63 磷素吸收利用的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 28(5): 1882-1889.

- [3] 李木英. 水稻根系营养吸收特性及其与干物质生产和稻米品质关系的研究[J]. 江西农业大学学报, 1996, 18(4): 376-382.
- [4] 陆定志, 邱鸿步. 杂交水稻根系生理优势及其与地上部性状的关联研究[J]. 中国水稻科学, 1987, 1(2): 81-94.
- [5] 凌启鸿, 凌 励. 水稻不同层次根系的功能及对产量形成作用的研究[J]. 中国农业科学, 1984, 17(4): 3-11.
- [6] 朱德峰, 林贤青, 曹卫星, 等. 水稻深层根系对生长和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2001, 34(4): 429-432.
- [7] 陈春涣, 骆世明, 李洪武, 等. 水稻根系与产量构成关系的研究[J]. 华南农业大学学报, 1993, 14(2): 18-23.
- [8] Kim H Y, Lieffering M, Miura S, et al. Growth and nitrogen uptake of CO₂-enriched rice under field conditions[J]. *New Phytologist*, 2001, 150: 223-229.
- [9] 杨洪建, 杨连新, 刘红江, 等. FACE 对水稻根系及产量的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(9): 1221-1226.
- [10] 杨洪建, 杨连新, 刘红江, 等. FACE 对武香粳 14 根系生长动态的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(12): 1628-1633.
- [11] 杨洪建, 杨连新, 刘红江, 等. FACE 对武香粳 14 根系活性影响的研究[J]. 作物学报, 2006, 32(1): 118-124.
- [12] 凌启鸿, 苏祖芳, 张洪程, 等. 水稻品种不同生育类型的叶龄模式[J]. 中国农业科学, 1983, 16(1): 1-8.
- [13] 倪 文. 光照对水稻根系生长和产量以及根系生理活性的影响[J]. 作物学报, 1983, 9(1): 29-33.
- [14] 董桂春, 王余龙, 吴 华, 等. 供氮浓度对水稻根系生长的影响[J]. 江苏农业研究, 2001, 22(4): 9-13.
- [15] 王义琴, 张慧娟, 杨莫安, 等. 大气 CO₂ 浓度倍增对植物幼苗根系生长影响的分形分析[J]. 科学通报, 1998, 43(16): 1736-1738.
- [16] Berntson G M, Bazzaz F A. Elevated CO₂ and the magnitude and seasonal dynamics of root production and loss in *Betula papyrifera* [J]. *Plant and Soil*, 1997, 190: 211-216.
- [17] 王大力, 林伟宏. CO₂ 浓度升高对水稻根系分泌物的影响[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 570-572.
- [18] 刘 刚, 韩 勇, 朱建国, 等. 稻麦轮作 FACE 系统平台 I. 系统机构与控制[J]. 应用生态学报, 2002, 13(10): 1253-1258.