

大气 CO₂ 浓度升高条件下移栽水稻与不同出苗时间稗草竞争的响应差异

孙富芝^{1,2} 朱建国¹ 曾青^{1,*} 朱春梧¹ 朱云枝² 马红亮¹ 谢祖彬¹ 余柳青³

(¹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 ; ²南京农业大学 生命科学学院, 江苏 南京 210095 ; ³中国水稻研究所, 浙江 杭州 310006 ; * 通讯联系人, E-mail : qzeng@issas.ac.cn)

Difference of Competition Responses Between Rice and Barnyardgrass with Different Seedling Emergence Time under Elevated Atmosphere CO₂

SUN Fu zhi^{1,2} , ZHU Jian guo¹ , ZENG Qing^{1,*} , ZHU Chun wu¹ , ZHU Yun zhi² , MA Hong liang¹ , XIE Zu bin¹ , YU Liu qing³

(¹ State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China ; ² Life Science College, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China ; ³ China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China ; * Corresponding author, E-mail : qzeng@issas.ac.cn)

Abstract : Difference in responses to the competitions between rice and barnyardgrass with different seedling emergence time under FACE (Free air CO₂ enrichment) was studied by the field experiments . Under the FACE conditions , the tiller number , biomass and yield of rice increased , while those of the weed decreased . The ratios of aboveground biomass , tiller number and yields of rice and barnyardgrass in transplanting paddy field were increased significantly . The competitiveness of rice was enhanced relatively , while that of weed was weakened . The changing trends of the competitive relation were similar to the foregoing statement between rice and barnyardgrass in nursery beds at the vegetative growth stage , while the alteration was not significant at the reproductive stage . The yield and the biomass of rice competing with barnyardgrass generated from nursery beds increased 22 . 7% and 8 . 2% in the end , while those of barnyardgrass increased 9 . 5% and 11 . 9% , respectively . The ratios of aboveground biomass , tiller number and yield did not increase significantly . It was suggested that the responses to competition between rice and barnyardgrass under FACE were influenced by barnyardgrass emergence time .

Key words : air carbon dioxide enrichment ; rice ; barnyardgrass ; competition

摘要 : 通过田间试验 研究了 FACE(开放式空气 CO₂ 浓度升高)条件下 移栽稻田水稻 (*Oryza sativa*) 与不同发生时期稗草 (*Echinochloa crusgalli*) 生长和竞争的响应差异。结果显示 ,FACE 条件下水稻与稗草比例为 1 : 1 时 ,水稻分蘖、生物量和产量均增加 ,而稗草则减少。水稻与移栽稻田本田萌生稗草的生物量比率增加 181 . 7%、产量比率增加 259 . 7%、茎蘖比率增加 24 . 2%、有效分蘖比率增加 186 . 3% ,水稻竞争优势增加 ,而移栽稻田本田萌生稗草竞争能力下降。水稻与秧田萌生稗草的竞争关系变化趋势在营养生长期与上述情况相同 ,但进入生殖生长后水稻竞争优势不再显著 ,FACE 条件下与秧田萌生稗草竞争的水稻最终生物量和产量分别增加 22 . 7%和 8 . 2% ,但秧田萌生稗草的最终生物量和产量也增加了 11 . 9%和 9 . 5%。水稻与秧田萌生稗草的生物量比率、茎蘖比率和产量比率增加均不显著。可见 ,田间大气 CO₂ 浓度升高条件下水稻与稗草的竞争关系发生的变化与稗草发生时期有重要关系。

关键词 : 大气二氧化碳浓度升高 ; 水稻 ; 稗草 ; 竞争

中图分类号 : Q948 . 11 ; S451 . 1 ; S511 . 01

文献标识码 : A

文章编号 : 1001-7216(2007)02-0203-06

大气中 CO₂ 浓度已从工业革命前的 280 μmol/mol 升高至目前的 370 μmol/mol 左右 ,并继续以每年 1 ~ 2 μmol/mol 的速率增加^[1]。据估计 ,到 21 世纪中叶 ,大气 CO₂ 浓度将升高至工业革命前的 2 倍^[2]。以全球气候变暖和全球大气 CO₂ 浓度升高为主要特征的全球气候变化 ,势必对整个生物界和地球生态环境产生深刻的影响 ,面对全世界面临的粮食问题 ,研究大气 CO₂ 浓度升高对农田生态系统的影响已刻不容缓。Alberto 等^[3] 在温室培养箱中研究了 CO₂ 浓度升高对溶液培养的 C₃ 植物水稻和 C₄ 植物稗草的竞争关系的影响 ,研究结果指出 CO₂ 浓度升高使水稻的竞争优势增加 ,而稗草的竞争力降低。Ziska^[4] 在开顶式培养箱中研究 CO₂ 浓度升

高对 C₃ 作物大豆 (*Glycine max*) 与 C₄ 杂草反枝苋 (*Amaranthus retroflexus* L.) 的竞争关系的影响 ,结果表明在高 CO₂ 浓度下反枝苋对大豆造成的产量损失降低。然而温室、培养箱或开顶式气箱中相应的试验条件如温度、风速、湿度、降雨等因素与自然条件相去甚远 ,特别是植物与昆虫、病源的隔离。以这种环境中所得结果来预测自然环境中 CO₂ 浓度升高的影响 ,必然有较多的不确定性。为了模拟

收稿日期 : 2006-09-04 ; 修改稿收到日期 : 2006-10-08。

基金项目 : 国家自然科学基金资助项目 (30470334 , 30170620) ; 国家自然科学基金重点项目 (40231003 , 40110817) ; 中国科学院创新方向项目 (KZCX3-440 , KZCX2-SW-133)。

第一作者简介 : 孙富芝 (1981 -) , 女 , 学士。

自然条件下 CO₂ 浓度升高对植物生长的影响, 20 世纪 80 年代末在美国发展了自由空气条件下的 CO₂ 浓度升高技术, 有效地克服了温室、人工气候室和开顶室中盆栽试验的缺陷, 为研究大气 CO₂ 浓度升高对生态系统的影响提供了理想平台。曾青等^[5] 研究了 FACE 条件下 C₃ 植物水稻与 C₄ 植物稗草之间的竞争关系, 研究表明, 在水稻与本田萌生的稗草比例为 1:1 时, 水稻竞争能力增加, 稗草竞争能力降低。然而生态系统中种间竞争是一个极其复杂的过程, 既存在同时期发生的物种之间的竞争, 又存在不同时期发生的物种之间的竞争。李博^[6] 就欧洲千里光 (*Senecio vulgaris* L.) 相对出土时间对胡萝卜 (*Daucus carota* L.) 的竞争能力的研究指出, 两者混生种群中, 一般地, 欧洲千里光的相对产量和竞争能力随着相对出苗时间延长而显著地降低。移栽稻田中造成水稻严重减产的稗草恰好存在两种不同的出苗时期, 即本田萌生稗草和秧田萌生稗草, 而秧田萌生稗草对水稻的竞争更强为害更大, 因而在 FACE 条件下研究秧田萌生稗草对水稻的竞争规律具有重要的现实意义。本试验研究了 FACE 条件下移栽水稻与两个不同发生时期的稗草的生长及竞争情况, 以揭示自然条件下大气 CO₂ 浓度升高后不同发生时期的稗草对水稻的竞争规律, 为减少水稻产量损失, 有效地控制稻田主要杂草——稗草提供更为可靠的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

水稻品种为高产粳稻新品系 99 15; 稗草种子采自江苏省江都市稻麦轮作 FACE 基地。

1.2 试区自然状况

FACE 研究平台位于江苏省江都市小纪镇 (119°42' 0" E, 32°35' 5" N)。土壤有关基本性质为: 砂粒 (0.02 ~ 2 mm) 578 g/kg, 粉砂粒 (0.002 ~ 0.02 mm) 285 g/kg, 黏粒 (< 0.002 mm) 137 g/kg, 0 ~ 15 cm 土壤容重 1.16 g/cm³。1995 - 2000 年平均降水量 918 mm, 同期实测年平均蒸发量 1194.3 mm, 年平均气温 14 ~ 16 °C, 无霜期 220 d。6 ~ 9 月份降水较多, 平均汛期雨量占年平均雨量的 60%。累年平均总热量 (≥ 0 °C 积温) 为 5456.6 (1959 - 1988 年)。试区土壤基本养分如下: 全 C 18.4 g/kg, 全 N 1.5 g/kg, 全 P 0.6 g/kg, 全 K 14.0 g/kg, 速效 P 10.2 mg/kg, 速效 K 70.5 mg/kg。

1.3 试验设计

试验设 Ambient(对照, 现有大气 CO₂ 浓度) 和 FACE(开放式空气 CO₂ 浓度升高处理, CO₂ 浓度为 Ambient + 200 μmol/mol) 两个处理, 各 3 次重复。FACE 圈直径为 12.5 m, CO₂ 从距冠层 40 cm 处喷入, FACE 区域内大气 CO₂ 浓度比周围大气 CO₂ 浓度平均高 200 μmol/mol, FACE 系统描述和冠层基本小气候状况详见文献 [7-8]。每个重复小区面积为 3 m²。水稻于播种 25 d (2005 年 6 月 13 日) 后人工移栽到 FACE 和 Ambient 圈内, 行距和株距分别为 25.0 cm 和 16.7 cm, 每穴移栽 3 株水稻, 每个小区分为 3 个子处理: 无竞争水稻 (R), 稻₁ (R₁) 与秧田萌生稗草 (B₁) 竞争, 稻₂ (R₂) 与本田萌生的稗草 (B₂) 竞争。播种 25 d 后, 秧田萌生稗草于水稻移栽同时进行人工移栽至稻₁ 两穴水稻之间, 本田萌生稗草种子于移栽稻田泡田后播种, 在移栽稻田内自然萌发生长, 稗草与水稻的比例为 1 株:1 穴 (考虑到稗草在田间多为单株发生)。水稻移栽后 15、32、62 和 90 d 分别人工拔除水稻和移栽的稗草以外的全部杂草, 施 N 量为 125 kg/hm², 施 P、K 量均为 70 kg/hm²。施氮时间和施氮量分别为: 6 月 13 日施基肥, 6 月 19 日施分蘖肥, 7 月 30 日施穗肥, 其中基蘖肥占总施 N 量的 60%, 穗肥占总施 N 量的 40%。P、K 肥均作为基肥施用。水分管理: 6 月 15 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 d 进行间隙灌溉。

1.4 测定方法

分别于水稻移栽后 58 d (分蘖期)、92 d (抽穗期)、120 d (成熟期) 后采样测定水稻和稗草的株高、地上部分生物量 (包含分蘖节) 和叶面积, 移栽后 58 d 测定分蘖数, 移栽后 92 d 测定每株穗数, 移栽后 120 d 测定籽粒产量。每个小区随机采集 6 穴水稻和 8 株稗草, 每次采得的植株经 105 °C 杀青后, 于 80 °C 下烘 72 h 后称量。稻稗竞争关系通过计算水稻与稗草的生物量、茎蘖数和籽实比率来反映。

1.5 数据处理

采用 EXCEL 软件进行数据统计和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 大气 CO₂ 浓度升高对水稻和不同发生时期的稗草生长的影响

由图 1 可知, FACE 与 Ambient 条件下相比,

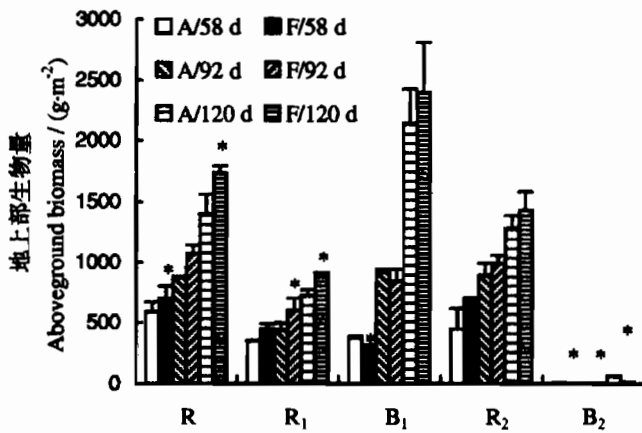


图 1 FACE 对水稻和两个不同发生时期的稗草地上部分生物量的影响

Fig. 1. Aboveground biomass of rice and barnyardgrass under Ambient and FACE conditions.

* 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。A 和 F 分别表示 Ambient (对照) 和 FACE (开放式空气 CO₂ 浓度升高处理); 58 d、92 d 和 120 d 分别表示水稻移栽后 58 d、92 d 和 120 d。下图同。

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. R, Check (no barnyardgrass); R₁, Rice grown with barnyardgrass from nursery beds; R₂, Rice grown with barnyardgrass emerged after transplanting; B₁, Barnyardgrass emerged at rice seedling stage; B₂, Barnyardgrass emerged after rice transplanting. A, Ambient; F, FACE (Ambient + 200 μmol/mol CO₂); 58 d, 92 d and 120 d indicate 58, 92 and 120 days after rice transplanting, respectively. The same as in the figures below.

R、R₁、R₂ 地上部分干质量增加, B₂ 地上部分干物质质量减少, B₁ 则先降低后增加。移栽 120 d 后, R、R₁、R₂ 分别增加 24.0%、22.7% 和 27.3%, B₁ 增加 11.9%, B₂ 下降 293.4%。结果表明, FACE 条件下, 更有利于水稻地上部分干物质的积累。

另一方面, 在存在不同发生期稗草竞争条件下与无竞争条件下相比, R₁ 地上部分生物量有所下降, 移栽后 92 d, FACE 条件下减少 44%, Ambient 条件下减少 50%; R₂ 则无明显增加或减少。结果表明, 秧田萌生稗草对水稻的竞争更强, CO₂ 浓度升高减弱了稗草对水稻的竞争强度。

从移栽后 58 和 92 d 的统计结果来看, 与 Ambient 条件下相比, FACE 条件下水稻和秧田萌生稗草株高略增, 本田萌生稗草则略有降低, 可见 CO₂ 浓度升高对两者株高的影响趋势与对地上部分生物量的影响类似, 但两者株高差异不显著 (图 2)。

与 Ambient 条件下相比, FACE 条件下移栽后 58 d, 水稻和稗草叶片长度、宽度和单叶叶面积均减小, 对 B₂ 的影响达到显著水平 (叶长, $P < 0.05$; 叶宽, $P < 0.01$; 单叶叶面积, $P < 0.05$); 移栽后 92 d, B₂ 叶片长度降幅为 9%, 叶片宽度降幅为 37%, 单叶叶面积降幅为 40% ($P < 0.05$)。结果表明, 大气 CO₂ 浓度增加对于同期水稻和稗草叶片的影响不大, 但却使非同期稗草叶片长、宽、叶面积明显减小。

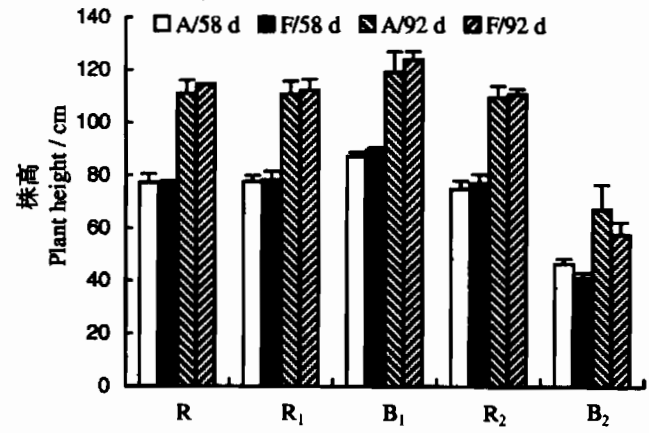


图 2 FACE 对水稻和不同发生时期稗草株高的影响

Fig. 2. Plant height of rice and barnyardgrass under Ambient and FACE conditions.

与 Ambient 条件下相比, FACE 条件下水稻叶片数增加, B₂ 减少, B₁ 先减少后增加。移栽后 58 d R、R₁、R₂ 分别增加 33%、13% 和 28%, B₁、B₂ 分别减少 35% 和 25%, 移栽后 92 d R、R₁、R₂ 分别增加 20%、21% 和 0.5%, B₂ 减少 48%, B₁ 增加 1.8%。结果表明, 大气 CO₂ 浓度增加对水稻及稗草叶片各指标的影响与对地上部分生物量的影响一致 (表 1)。

图 3 结果显示, FACE 对水稻和稗草总分蘖数和有效分蘖数的影响较大。与 Ambient 条件下相比, R、R₁、R₂ 总分蘖数分别增加 10.3%、19.3% 和 12.5%, 有效分蘖分别增加 11.6%、35.8% 和 10.7%; B₁、B₂ 总分蘖数分别减少 38.6% 和 12.8%, 有效分蘖数则分别减少 7.0% 和 50.9%。

2.2 大气 CO₂ 浓度升高对水稻和不同发生时期的稗草籽粒产量的影响

FACE 使水稻籽粒产量分别增加 27.4%、8.2% 和 17.7%, 使 B₁ 增加 9.5%, B₂ 减少 66.8%; 与无竞争条件下相比, FACE 和 Ambient 条件下 R₁ 分别减产 62% 和 68%, 而 B₂ 对 R₂ 产量基本无影响。结果显示, 大气 CO₂ 浓度升高对水稻籽实产量增加更有利, 秧田萌生稗草对水稻产量竞争更严重, 为害更大 (图 4)。

2.3 大气 CO₂ 浓度升高对水稻和不同发生时期稗草竞争关系的影响

图 5 表明, FACE 条件下水稻与稗草比例为 1 : 1 时, 在水稻移栽后 92 d, 水稻与本田萌生稗草的地上部分生物量比率、茎蘖比率和产量比率与 Ambient 条件下相比分别增加 181.7%、24.2% 和 259.7%, 有效分蘖比率增加显著 ($P < 0.05$), 水稻与秧田萌生稗草生物量比率、茎蘖比率和产量比率

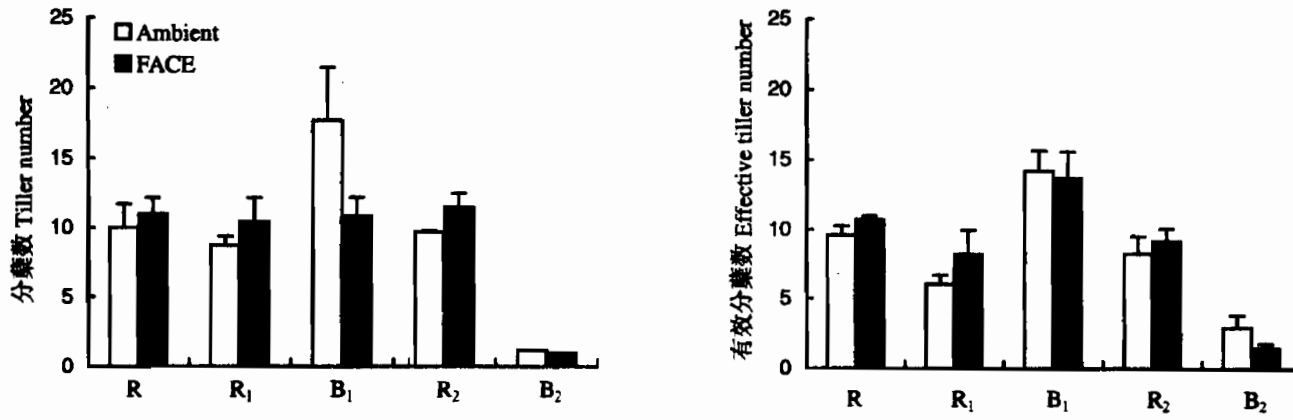


图3 FACE对水稻和不同发生时期的稗草的分蘖和有效分蘖的影响

Fig. 3. Tiller number and effective tiller number of rice and barnyardgrass under Ambient and FACE conditions.

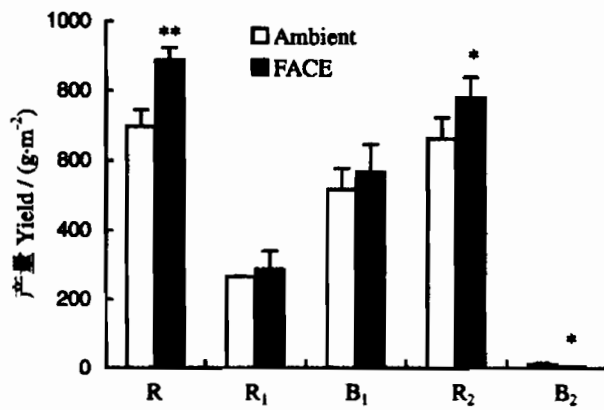


图4 FACE对水稻和不同发生时期的稗草产量的影响

Fig. 4. Yields of rice and barnyardgrass under Ambient and FACE conditions.

则分别增加 48.8%、52.2%和 2.3%，有效分蘖比率也显著增加 ($P < 0.05$)。结果显示，FACE 条件下水稻与稗草的竞争关系发生了变化，水稻竞争能力增加，稗草降低，且不同发生时期的稗草对水稻的竞争存在较大差异。

3 讨论

首先，本试验结果显示，大气 CO₂ 浓度升高，R₂ 叶片长、宽、单叶叶面积略有减小，叶片数量、植株总分蘖数、有效分蘖数、生物量和产量均增加，B₂ 则均

表1 大气 CO₂ 浓度升高对水稻和不同发生时期的稗草叶片生长的影响

Table 1. Growth of leaves of rice and barnyardgrass under Ambient and FACE conditions.

植物 Species	水稻移栽后天数 Days after rice transplanting/d	处理 Treatment	叶长 Leaf length /cm	叶宽 Leaf width /cm	叶数 Leaf number /(×10 ³ ·m ⁻²)	叶面积 Area per leaf /cm ²
水稻 R	58	Ambient	37.4±1.7	1.5±0.1	2.1±0.3	41.5±5.6
		FACE	35.9±1.1	1.4±0.0	2.0±0.3	38.0±1.0
	92	Ambient	35.3±0.7	1.4±0.0	1.4±0.2	37.9±1.9
		FACE	33.4±2.1	1.4±0.1	1.5±0.2	34.3±4.1
水稻 R ₁	58	Ambient	37.8±3.5	1.4±0.1	1.5±1.0	40.4±7.9
		FACE	35.8±0.6	1.4±0.1	1.7±0.4	37.8±1.6
	92	Ambient	34.4±2.1	1.4±0.0	0.9±0.1	35.2±2.7
		FACE	32.9±0.9	1.3±0.1	1.0±0.2	32.4±3.1
稗草 B ₁	58	Ambient	38.9±2.1	1.3±0.1	1.8±0.3	37.1±4.3
		FACE	38.6±2.2	1.2±0.1	1.2±0.2	34.1±1.3
	92	Ambient	29.9±0.4	1.2±0.0	2.8±0.5	26.0±1.0
		FACE	29.7±1.3	1.1±0.0	2.9±0.5	25.0±1.7
R ₁ /B ₁	58	Ambient	1.0±0.0	1.1±0.1	0.9±0.2	1.1±0.1
		FACE	0.9±0.1	1.2±0.0	1.4±0.5	1.1±0.1
	92	Ambient	1.1±0.1	1.9±0.9	0.3±0.0*	0.9±0.2
		FACE	1.1±0.1	1.4±0.1	0.4±0.0*	0.7±0.1
水稻 R ₂	58	Ambient	38.4±2.9	1.5±0.1	1.9±0.3	42.5±6.2
		FACE	36.0±1.4	1.5±0.1	2.3±0.4	40.0±3.5
	92	Ambient	34.5±1.2	1.4±0.0	1.3±0.2	36.5±1.8
		FACE	33.9±1.3	1.4±0.1	1.3±0.1	35.5±4.0
稗草 B ₂	58	Ambient	28.4±0.3*	0.5±0.1	0.2±0.0	11.0±1.0*
		FACE	23.5±2.4*	0.4±0.1	0.2±0.0	7.3±2.1*
	92	Ambient	20.0±1.7	0.7±0.1*	0.3±0.1	10.8±3.0*
		FACE	17.2±1.6	0.4±0.0*	0.2±0.1	5.6±0.9*
R ₂ /B ₂	58	Ambient	1.3±0.2	3.0±0.6	0.3±0.0	3.9±0.8
		FACE	1.7±0.2	4.1±0.9	0.5±0.1	5.8±1.6
	92	Ambient	1.8±0.1	1.1±0.1	4.9±1.7	1.2±0.2
		FACE	2.0±0.1	1.8±0.2	8.4±2.4	2.1±0.4

* $P < 0.05$.

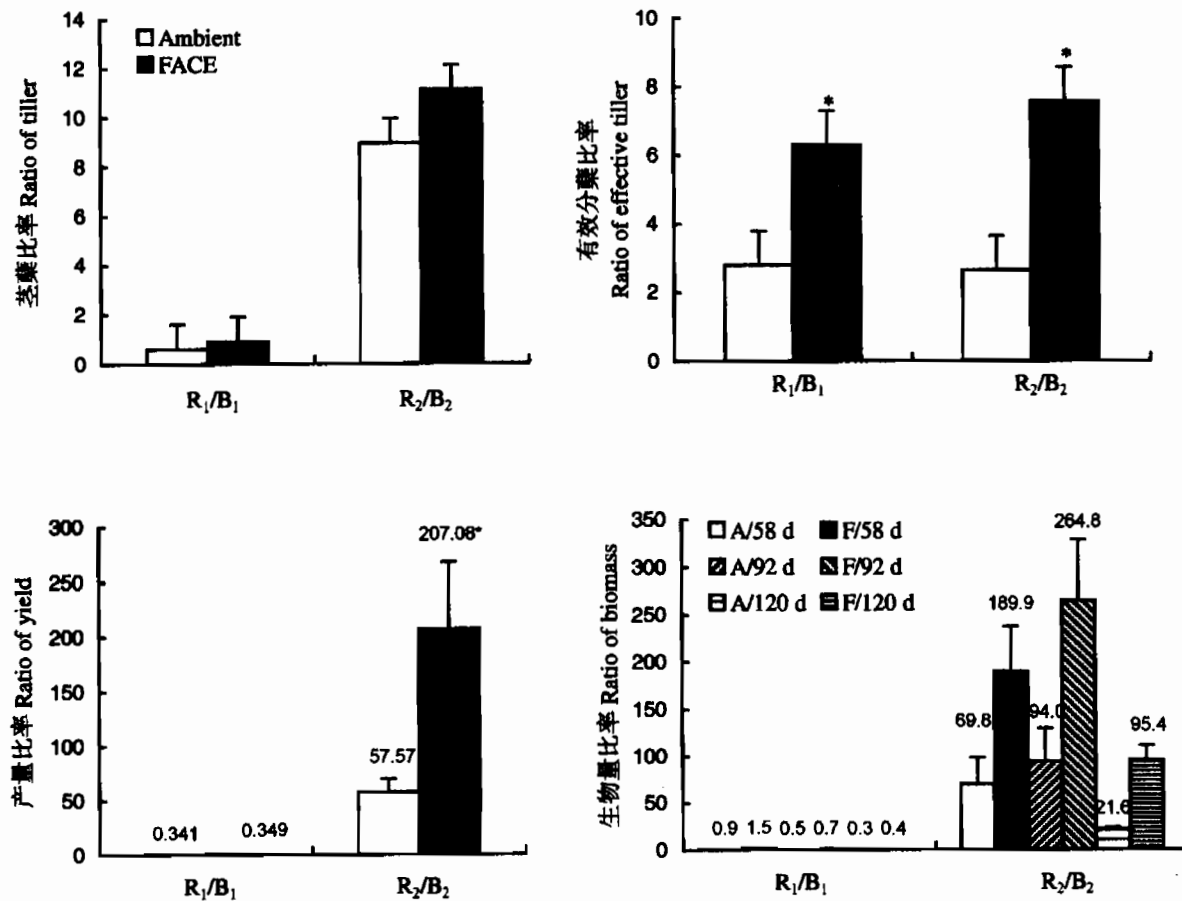


图 5 FACE 对水稻和不同发生时期的稗草生物量、分蘖数、有效分蘖数和产量比率的影响
 Fig. 5. Ratio of biomass, tiller number, effective tiller number and yield of rice and barnyardgrass under Ambient and FACE conditions.

减小, R₂ 与本田萌生稗草的竞争关系发生变化, 本田萌生稗草竞争能力降低, 移栽水稻竞争生存资源和空间的能力相对增加。这种种间竞争关系的变化, 存在生理、生态两方面的因素。一方面, 水稻和稗草有着不同的两条光合途径, 稗草 (C₄) 具有一套水稻 (C₃) 所不具备的 CO₂ 浓缩系统, 能够通过 PEP 羧化酶在叶肉细胞中将 CO₂ 固定成四碳双羧酸, 然后转运到维管束鞘细胞内脱羧, 使得维管束鞘细胞内 Rubisco 羧化部位 CO₂ 浓度提高 3~20 倍^[9-11], 因此稗草对外界 CO₂ 浓度升高远不如水稻敏感, 在生物量和产量增加上, 水稻表现出明显的优势; 另一方面, 先生长的植物 (水稻 R₂) 形成的植物冠层通过对光资源的竞争而严重地压抑着后生长的植物 (本田萌生稗草 B₂)^[6]。

其次, 大气 CO₂ 浓度升高, R₁ 变化趋势与 R₂ 相似, 秧田萌生稗草叶片数量、植株总分蘖数、有效分蘖数等虽减小, 但产量增加, 移栽后 120 d, 其生物量也增加。水稻 R₁ 与秧田萌生稗草 B₁ 的竞争关系变化趋势在进入生殖生长前与水稻 R₂ 和本田萌生稗草 B₂ 之间的竞争关系相似, 但进入生殖生长后变化不再显著, 这种后期竞争关系的变化与水稻和稗草的生理及形态差异有关。一方面随着 FACE 处理时间的延长, 高 CO₂ 浓度对水稻净光合速率的促进

作用逐渐减小^[12]; 另一方面, 植物对光的竞争取决于株高和顶层叶面积的分布状态, 直接表现为分别由水稻和稗草得到的人射光量^[12], 进入生殖期后, 稗草株高有较大优势。FACE 条件下, 这种后期竞争关系的变化预示着随着高 CO₂ 浓度处理时间的延长, 植物的响应也在变化, 这也许与 FACE 影响植物的基因表达有关^[13]。

通过大田试验结果可见, FACE 条件下水稻与稗草竞争关系变化的结果不仅与大气 CO₂ 浓度升高有关, 还与稗草发生的时期有关。当稗草相对水稻出土较晚时, 其竞争能力明显降低, 甚至可以忽略它对水稻造成的为害。这一点符合 Cousens 等^[14] 关于农田杂草对作物竞争影响随其相对出土时间的增大而呈 S 形降低的研究规律。但 FACE 条件下, 高 CO₂ 浓度与其他因素互作是否会改变其竞争关系及其机理和规律, 对有效控制稻田杂草有着重要的现实意义。这些也有待进一步的研究。

另外, 在自然条件下, CO₂ 浓度的增加是一个渐进的过程, 植物对此有一个逐渐适应的过程, 由于 FACE 主要用于研究农田生态系统对 CO₂ 浓度的增加的响应规律, 作物没有一个逐步适应的过程, 研究发现的植物对 CO₂ 浓度增加的响应可能不同于自然条件下对 CO₂ 浓度增加的适应结果。因此, 有待

进一步研究水稻和稗草子代竞争关系对高 CO₂ 浓度的响应规律。

参考文献：

- [1] Genthon C, Barnola J M, Raynaud D, et al. Vostok ice core: Climate response to CO₂ and orbital forcing changes over the last climate cycle. *Nature*, 1987, 329:414-418.
- [2] Bowes G. Facing the inevitable, plants and increasing atmospheric CO₂. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1993, 44:309-332.
- [3] Alberto M P, Ziska L H, Cervancia C R, et al. The influence of increasing carbon dioxide and temperature on competitive interactions between a C₃ crop and a C₄ weed. *Aust J Plant Physiol*, 1996, 23:795-802.
- [4] Ziska L H. The impact of elevated CO₂ on yield loss from a C₃ and C₄ weed in field grown soybean. *Global Change Biol*, 2000, 6:899-905.
- [5] 曾青, 朱建国, 刘刚, 等. 开放式空气 CO₂ 浓度增高条件下 C₃ 作物(水稻)与 C₄ 杂草(稗草)的竞争关系. *应用生态学报*, 2002, 13(10):1231-1234.
- [6] 李博. 相对出土时间对胡萝卜和欧洲千里光竞争结果的影响//植物竞争——作物与杂草相互作用的实验研究. 北京: 高等教育出版社, 2001:126-142.
- [7] 刘刚, 韩勇, 朱建国, 等. 稻麦轮作 FACE 系统平台: 系统结构与控制. *应用生态学报*, 2002, 13(10):1253-1258.
- [8] 罗卫红, Yoshimoto M, 戴剑峰, 等. 开放式空气 CO₂ 浓度增高对水稻冠层微气候的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(10):1235-1239.
- [9] Jenkins C L D. The CO₂ concentrating mechanism of C₄ photosynthesis: Bundle sheath cell CO₂ concentration and leakage. *Aust J Plant Physiol*, 1997, 24:543-547.
- [10] Kanai R, Edwards G E. The biochemistry of C₄ photosynthesis//Sage R F, Monson R K. C₄ Plant Biology. San Diego: Academic Press, 1999:49-87.
- [11] 廖轶, 陈根云, 张海波, 等. 水稻叶片光合作用对开放式空气浓度增高的响应与适应. *应用生态学报*, 2002, 13(10):1205-1209.
- [12] Graf B, Hill J E. Modelling the competition for light and nitrogen between rice and *Echinochloa crus galli*. *Agric Syst*, 1992, 40:345-359.
- [13] 范桂枝, 李军营, 王春明, 等. 空气中 CO₂ 浓度升高条件下水稻抽穗期的 QTL 定位. *中国水稻科学*, 2006, 20(1):53-57.
- [14] Cousens R, Brain P, O'Donovan J T, et al. The use of biologically realistic equations to describe the effects of weed density and relative time of emergence on crop yield. *Weed Sci*, 1987, 35:720-725.

中国农业科学院水稻农业推广硕士专业学位研究生招生启事

经国家学位办批准,中国水稻研究所依托中国农业科学院研究生院,结合自身优势,承担水稻农业推广硕士专业学位研究生的培养任务。

中国农业科学院研究生院是我国规模最大、学科最全、研究实力最强的国家级农业科研机构,连续五年以农学第一名荣列“中国一流研究生院”,是国家批准的农业推广硕士专业学位招生培养单位。中国水稻研究所是一个以水稻为主要研究对象的多学科综合性国家级研究所。所内学科设置齐全,科研实力雄厚,实验室配备齐全,有高中级科技人员 147 人,具有博士学位 42 人,硕士学位 28 人。

农业推广硕士学位是我国新增设的一种复合型、应用型学位类型,与我国现行硕士学位处于同一层次。它具有明显的职业背景,主要培养具有复合型知识结构和理论联系实际能力的高层次人才。农业推广硕士学位证书由国务院学位委员会办公室统一印制。

欢迎攻读中国农业科学院水稻农业推广硕士专业学位研究生。请登录中国水稻研究所网站(<http://www.cnrii.org/>)查询相关事宜或向中国水稻研究所科研处索要招生简章。

通讯地址:310006 浙江省杭州市体育场路 359 号中国水稻研究所

联系人:周海鹏

咨询电话:0571-63370822, 63370260

E-mail: zhouhipe@hotmail.com