

肖志祥,傅志强,徐华勤,等. 双季稻品种  $\text{CH}_4$  排放差异比较研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):250-255.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.065

# 双季稻品种 $\text{CH}_4$ 排放差异比较研究

肖志祥,傅志强,徐华勤,苏 珊,祝志娟,郭 昱,刘 莉,唐剑武

(湖南农业大学农学院,湖南长沙 410128)

**摘要:**为了探讨早晚稻品种  $\text{CH}_4$  排放差异,选取 17 个早稻品种和 20 个晚稻品种,采用田间小区试验,测定稻田  $\text{CH}_4$  的排放通量和水稻产量。结果表明,不同水稻品种  $\text{CH}_4$  排放通量变化在返青期至齐穗期差异显著,早稻品种的  $\text{CH}_4$  累计排放量在  $60 \sim 160 \text{ kg/hm}^2$  之间,晚稻品种的  $\text{CH}_4$  排放量明显高于早稻,在  $300 \sim 910 \text{ kg/hm}^2$  之间。早稻品种中早 39、株两优 189、潭源优 4903、株两优 819、两优早 17 的单位产量综合温室效应(GWP)在  $0.027 \sim 0.377$  之间,显著低于中嘉早 17、湘早籼 6、湘早籼 24、株两优 171、陆两优 171、长两优 35、金优 268、杰丰优 1 号;晚稻品种黄花占、娄优 988、资优 299、Y 两优 896、凤两优丝苗、深优 9586 的单位产量综合温室效应(GWP)显著低于湘晚籼 17、玉珍香、深两优 1 号、凤两优 293、T 优 15、准两优 608、康两优 380,介于  $0.830 \sim 1.080$  之间。综合来看,早晚稻选用上述品种适于大面积推广应用,达到减排增效的目的。

**关键词:**  $\text{CH}_4$  排放;水稻品种;双季稻田;全球增温潜势

**中图分类号:** X712 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0250-06

温室气体的大量排放主要源于人类活动的影响,带来全球气候变暖的问题有目共睹。 $\text{CH}_4$  作为大气中最重要的温室气体之一<sup>[1]</sup>,其排放源主要来自于在农业生产中水稻田的  $\text{CH}_4$  排放,占人为排放源的 50% 左右,占全球总排放量的 15% 左右,年排放量为  $30 \sim 112 \text{ Tg}^{[2-5]}$ 。中国作为农业生产与世界水稻种植大国,水稻品种多样,种植面积广。因此,如何应对稻田  $\text{CH}_4$  排放,缓减气候变化,实现农田生态系统减排、可持续发展,已成为了重要的急需重点研究的问题。

我国南方主要以双季稻种植为主,水稻生长时间长,占全年的  $2/3$  左右,且当今随着育种技术的不断发展,适宜的双季稻品种也日益增多。水稻植株体对稻田  $\text{CH}_4$  的排放起着重要的作用,90% 左右的稻田  $\text{CH}_4$  排放是通过水稻植株体的通气组织传输排放到大气中的<sup>[6-7]</sup>。而不同的水稻品种,由于其植株体生长情况不一样,稻田  $\text{CH}_4$  排放存在显著差异,甚至于可相差  $2 \sim 3$  倍<sup>[8-9]</sup>。关于稻田  $\text{CH}_4$  排放,在施肥种类、施肥方式、不同灌溉处理、不同生物还田、生物炭添加、不同栽培方式或种植方式等农业措施上对稻田  $\text{CH}_4$  排放的影响,许多学者通过大量的田间试验研究,得出了相应的结果,并在稻田温室气体减排上作出了重要的贡献<sup>[10-16]</sup>。而也有许多研究表明,不同品种水稻在产量形成的过程中对稻田  $\text{CH}_4$  排放和形成发挥着重要的作用<sup>[17-19]</sup>。Zhang 等发现,水稻品种对稻田甲烷排放的影响主要来源于水稻对地下  $\text{CH}_4$  产生或者氧

化的不同作用,而地上部植株性状则不能作为  $\text{CH}_4$  排放的有效作用<sup>[20]</sup>。一些研究人员发现甲烷排放量与植株生物量和产量有显著正相关,还与株高、分蘖数和叶面积指数有关<sup>[21-22]</sup>。目前湖南双季水稻的种植也往往是以当地农业部门或种子公司主要推广的一些品种为主,品种繁多,而双季稻品种间  $\text{CH}_4$  排放的差异性研究还比较少,在提倡固碳减排、低碳环保的大环境下,选取种植相应的低  $\text{CH}_4$  排放,并有一定产量的水稻品种对稻田生态系统减排、高产高效品种的选择具有重要的意义。

因此,本研究通过选取南方双季稻区 17 个早稻品种(其中 6 个常规品种、11 个杂交品种)和 20 个晚稻品种(其中 4 个常规品种、16 个杂交品种)进行  $\text{CH}_4$  排放的初步研究,通过不同水稻品种  $\text{CH}_4$  排放通量及排放量、产量、单位产量  $\text{CH}_4$  排放强度的变化,筛选适合双季稻区种植的低  $\text{CH}_4$  排放并保证一定经济产量的早晚稻品种,既可以为大面积推广种植提供品种选择,又可以为进一步探讨在常规施肥和水管理下水稻品种甲烷排放差异形成机理提供试验材料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验地点位于湖南省浏阳市沿溪镇试验基地,属亚热带季风湿润气候,为南方典型的双季水稻生产区。热量降水充沛,日照充足。经度  $113.8^\circ\text{E}$ ,纬度  $28.3^\circ\text{N}$ ,海拔  $44.9 \text{ m}$ ,年平均温度为  $16.8 \sim 17.2^\circ\text{C}$ ,年降水量约  $1400 \text{ mm}$ ,年  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温  $5300 \sim 6500^\circ\text{C}$ 。土壤类型为第 4 纪红壤发育的红黄泥水稻土,化学性状:土壤 pH 值 6.7,含有机质  $37.5 \text{ g/kg}$ 、含全氮  $1.99 \text{ g/kg}$ 、含全磷  $0.84 \text{ g/kg}$ 、含全钾  $4.92 \text{ g/kg}$ 、含碱解氮  $163 \text{ mg/kg}$ 、含有效磷  $9.6 \text{ mg/kg}$ 、含速效钾  $98 \text{ mg/kg}$ 。

### 1.2 供试品种

试验选取 17 个早稻品种和 20 个晚稻品种。

收稿日期:2017-11-16

基金项目:国家自然科学基金(编号:41571293);国家科技支撑计划(编号:2013BAD07B11-02);湖南省重点研发计划项目(编号:2016NK2125)

作者简介:肖志祥(1992—),男,湖南永州人,硕士研究生,主要研究方向为稻田温室气体减排。E-mail:shawzero@163.com。

通信作者:傅志强,男,湖南娄底人,教授,主要研究方向为农作制度与稻田碳氮循环。E-mail:616802015@qq.com。

常规早稻:中早 39、中嘉早 17、湘早粳 6、湘早粳 24、湘早粳 32、湘早粳 45。

杂交早稻:株两优 171、株两优 189、株两优 819、陆两优 171、陆两优 996、陆两优 4026、两优早 17、长两优 35、金优 268、潭原优 4903、杰丰优 1 号。

常规晚稻:湘晚粳 13、湘晚粳 17、玉珍香、黄花占。

杂交晚稻:Y 两优 1 号、Y 两优 896、深两优 1 号、深优 9586、凤两优 293、凤两优丝苗、C 两优 7 号、T 优 15、玖两优 644、广两优 2010、准两优 608、康两优 380、丰源优 299、资优 299、娄优 988、丰优 800。

### 1.3 试验设计

试验于 2016 年进行,采用随机区组试验设计,3 次重复,小区面积 12 m<sup>2</sup> (3 m × 4 m)。所有供试品种的施肥、灌溉等田间管理方式一致,氮肥:基肥 50%,蘖肥 30%,穗肥 20%。磷肥:基肥一次性施入。钾肥:基肥 50%,蘖肥 50%。早稻:尿素 261 kg/hm<sup>2</sup>,过磷酸钙 750 kg/hm<sup>2</sup>,氯化钾 201 kg/hm<sup>2</sup>。晚稻:尿素 330 kg/hm<sup>2</sup>,过磷酸钙 750 kg/hm<sup>2</sup>,氯化钾 201 kg/hm<sup>2</sup>。

早稻 3 月 27 日播种,4 月 29 日移栽,移栽株行距为 17 cm × 20 cm,7 月 25 日收获。晚稻 6 月 22 日播种,7 月 27 日移栽,移栽株行距为 20 cm × 23 cm,11 月 1 日收获。

### 1.4 样品采集与分析

采用静态暗箱—气相色谱法测定,静态箱规格为 0.55 m × 0.55 m × 1.2 m,温室气体采样箱由 PVC 材质制成,采样箱外部包有泡沫和铝箔纸,防止太阳照射导致箱内温度变化过大。于水稻栽插后将塑胶底座固定于每个小区中,底座插入深度为 3 ~ 5 厘米,测定时加水注入底槽加以密封,每隔 7 ~ 10 d 采集 1 次气体,采气样前打开采样箱内顶部 1 个 12 V 小风扇以充分混匀箱内气体,采样时间固定在 09:00—11:00,采样时间分别为罩箱后的 0、10、20、30 min,每次抽取 50 mL 气体样品。

采集的 CH<sub>4</sub> 气体采用湖南省土壤肥料研究所提供的气相色谱仪 (Agilent789,美国) 测定其浓度,标准气体由国家标准物质中心提供<sup>[18]</sup>。气体排放率由 4 个气样浓度值经线性回归分析得出。

稻田甲烷气体排放通量  $F$  [mg/(m<sup>2</sup> · h)] 计算公式如下:

$$F = \rho \cdot 273 / (273 + T) \cdot H \cdot dC/dt。$$

式中: $F$  为排放通量; $\rho$  为标准大气压下的 CH<sub>4</sub> 密度,为 0.714 kg/m<sup>3</sup>;  $T$  为采样过程中采样箱内的平均温度,℃;  $H$  是采样箱的箱罩的净高度,m; $dC/dt$  是采样箱内温室气体浓度的变化率。

CH<sub>4</sub> 累积排放量  $T$  (mg/m<sup>2</sup>) 计算式为:

$$T = \sum (F_i + 1 + F_{i+1}) / 2 \times (t_{i+1} - t_i) \times 24。$$

式中: $F_i$ 、 $F_{i+1}$  为第  $i$ 、 $i+1$  次测定时 CH<sub>4</sub> 平均排放通量,mg/(m<sup>2</sup> · h);  $t_{i+1}$ 、 $t_i$  为第  $i$ 、 $i+1$  次测定的时间间隔,d;

以 100 年为时间尺度,单位产量 CH<sub>4</sub> 的全球增温潜势 GWP (Global Warming Potential) 为 CO<sub>2</sub> 的 25 倍<sup>[23]</sup>,即是指某一处理的 CH<sub>4</sub> 排放量的 GWP 与经济产量的比值。排放通量均值为累积排放量与水稻生育期天数的比值。早晚稻在成熟期收获时,每个小区取 1 m<sup>2</sup> 水稻进行产量测定,重复 3 次<sup>[24]</sup>。

### 1.4 统计分析

采用 Excel 进行数据处理、制表绘图,采用 Statistix 8.0 软件对早晚稻品种 CH<sub>4</sub> 累积排放量、产量之间进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 稻田 CH<sub>4</sub> 排放通量

2.1.1 不同早稻品种 CH<sub>4</sub> 排放通量季节变化 不同品种的早稻在不同时期的 CH<sub>4</sub> 排放通量存在显著差异,由图 1 可知,常规早稻的整体排放趋势为分蘖期至抽穗期所有常规品种的早稻均有 1 个甲烷排放峰值,其中湘早粳 24 排放通量峰值最高,约为中早 39 的 9 倍。从齐穗期开始甲烷排放趋势呈下降趋势,到成熟期甲烷的排放几乎为零,因此可判定在成熟期甲烷的排放是最小的。根据不同时期的甲烷排放通量的变化来考虑,以及出现峰值的时期作为判断水稻甲烷排放能力的关键时期,常规早稻品种中,中早 39 在整个稻季的 CH<sub>4</sub> 排放通量变化是最小的。杂交早稻各品种在生育期内的排放通量各个峰值的点也不一样,与常规早稻相比,部分杂交品种的排放通量峰值在孕穗期至抽穗期,出现峰值时的排放通量约为常规早稻的 1.3 倍。综合各个时期甲烷的排放通量,株两优 171、株两优 189、两优早 17、潭原优 4903 这 4 个品种甲烷排放通量变化是最小,在各个时期与其他几个品种相比,表现较为理想。

2.1.2 不同晚稻品种 CH<sub>4</sub> 排放通量季节变化 由图 2 可知,不同品种的晚稻在不同时期的甲烷排放通量存在差异,基本都在分蘖期排放通量达到峰值。4 个常规晚稻玉珍香、黄花占、湘晚粳 13、湘晚粳 17 的排放峰值分别为 51.20、64.78、67.81、111.64 mg/(m<sup>2</sup> · h),最大峰值与最小峰值相差约 2.2 倍。杂交晚稻中,康两优 380、深两优 1 号、准两优 608 这 3 个晚稻品种的峰值分别为 98.96、96.39、89.83 mg/(m<sup>2</sup> · h)。Y 两优 1 号、娄优 988、Y 两优 896 和凤两优 293 在分蘖期的排放通量相对于其他品种较低,分别为 23.43、25.08、29.29、29.38 mg/(m<sup>2</sup> · h)。杂交晚稻品种中娄优 988、Y 两优 896 这 2 个品种在不同生育期甲烷排放通量的变化率是最小的。各供试晚稻品种在生育前期排放通量较大,在生育后期排放最小。

### 2.2 稻田 CH<sub>4</sub> 累积排放量与综合温室效应 (GWP)

#### 2.2.1 早稻 CH<sub>4</sub> 累计排放量、产量及单位产量 GWP 比较

不同早稻品种的甲烷排放量间存在显著差异。由表 1 可知,各供试早稻品种中,湘早粳 24 的全生育期甲烷排放总量最高,达到 153.04 kg/hm<sup>2</sup>,其排放通量均值也显著高于其他品种。湘早粳 32、中早 39、湘早粳 45 的 CH<sub>4</sub> 排放量依次为 69.4、72.23、74.39 kg/hm<sup>2</sup>,显著低于其他早稻品种。杂交早稻中,排放量与排放均值最低的品种是株两优 189 (76.47 kg/hm<sup>2</sup>),其次是株两优 171 (87.28 kg/hm<sup>2</sup>),两者均显著低于其他杂交早稻品种。陆两优 4026、陆两优 996 的 CH<sub>4</sub> 排放量均显著高于其他杂交早稻品种,分别达到了 124.2、122.33 kg/hm<sup>2</sup>。除了潭原优 4903 (103.36 kg/hm<sup>2</sup>)、杰丰优 1 号 (104.14 kg/hm<sup>2</sup>) CH<sub>4</sub> 排放量在 100 kg/hm<sup>2</sup> 以上外,其余 5 个杂交早稻 CH<sub>4</sub> 排放量介于 90 ~ 100 kg/hm<sup>2</sup> 之间。

陆两优 996、陆两优 4026、潭源优 4903 的经济产量在所

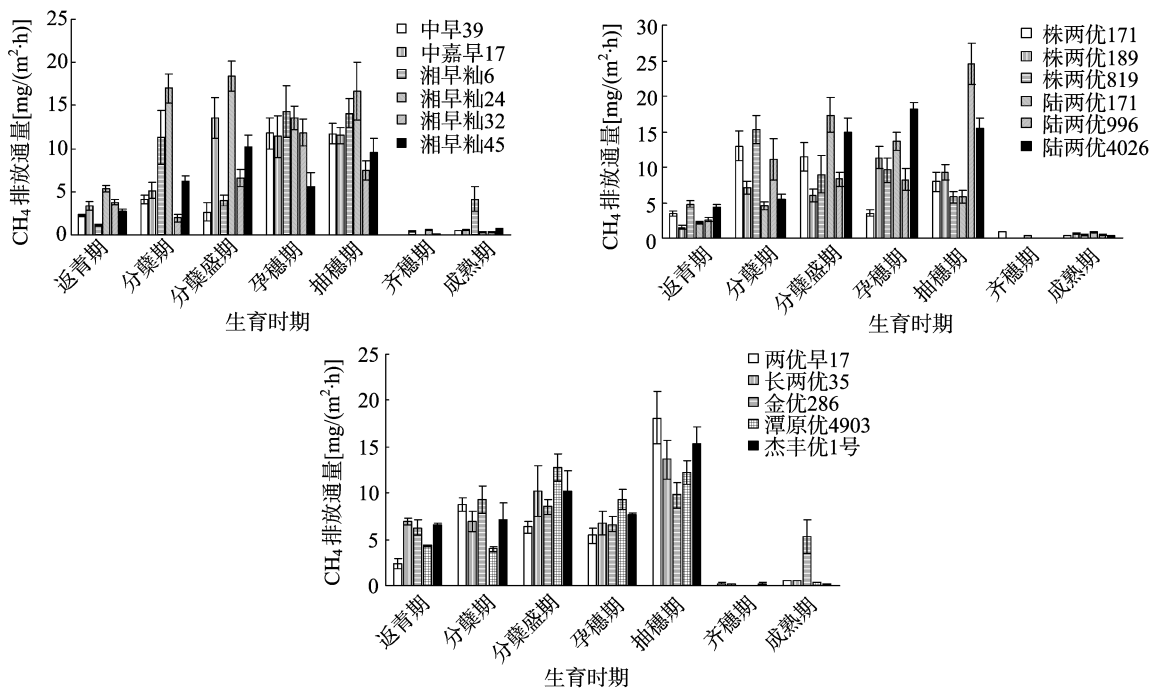


图1 不同供试早稻品种 CH<sub>4</sub> 排放通量季节变化

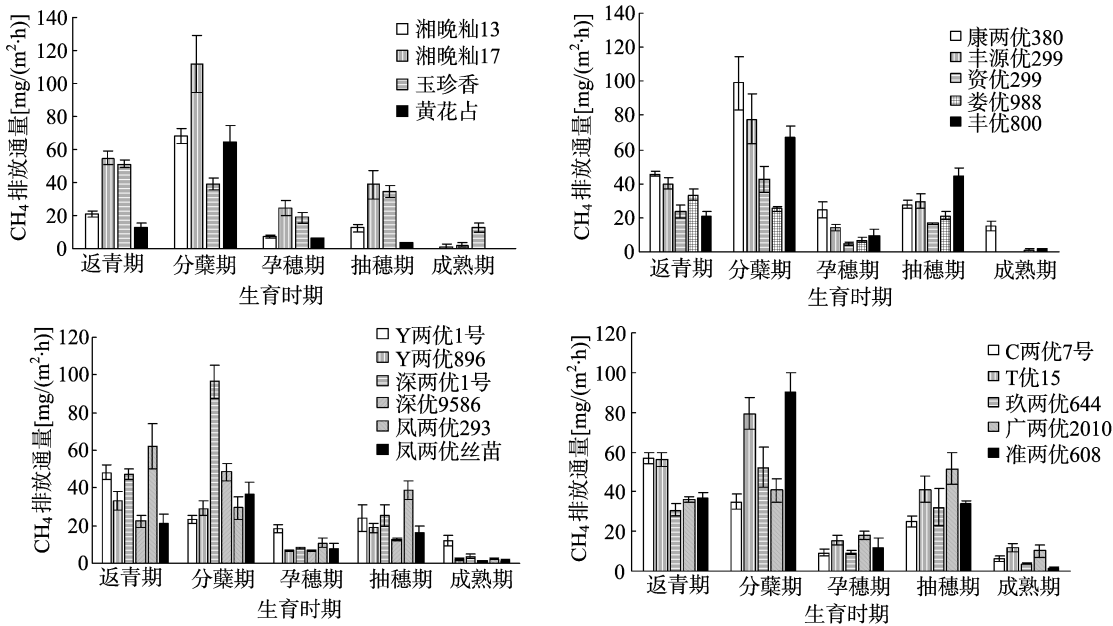


图2 不同供试晚稻品种甲烷排放通量季节变化

有早稻供试品种中是最高的,分别为 7 570.4、7 337.5、7 303.6 kg/hm<sup>2</sup>,显著高于其他品种。而湘早籼 6 的经济产量最低,为 3 902.1 kg/hm<sup>2</sup>。常规早稻中,中早 39 的经济产量最高,达到 6 436.6 kg/hm<sup>2</sup>,相对于所有供试早稻品种,也是比较高的。杂交早稻中的株两优 819、两优早 17、株两优 189 的产量相对较高。

单位产量综合温室效应大小主要取决于供试品种 CH<sub>4</sub> 排放量和经济产量,不同供试品种差异显著,其中中早 39 (0.280 kg/kg) 最低,最高的是湘早籼 6 (0.657 kg/kg)。相对较低的有潭源优 4903、株两优 189、株两优 819、两优早 17。其余供试早稻品种介于 0.390 ~ 0.510 kg/kg 之间。单位产

量综合温室效应较低的,其产量相对较高,排放量也相对较低,综合比较,中早 39、株两优 189、潭源优 4903、株两优 819、两优早 17 较为理想。

2.2.2 晚稻 CH<sub>4</sub> 累计排放量、产量及单位产量 GWP 比较  
由表 2 可知,在 20 个晚稻品种中,CH<sub>4</sub> 排放量最低的 6 个品种依次是 凤 两 优 丝 苗 (327.15 kg/hm<sup>2</sup>)、黄 花 占 (339.8 kg/hm<sup>2</sup>)、娄 优 988 (340.35 kg/hm<sup>2</sup>)、资 优 299 (341.78 kg/hm<sup>2</sup>)、Y 两 优 896 (350.2 kg/hm<sup>2</sup>)、深 优 9586 (356.78 kg/hm<sup>2</sup>),与其他供试晚稻品种存在显著性差异。CH<sub>4</sub> 排放量最高的是湘晚籼 17,达到了 903.0 kg/hm<sup>2</sup>,显著高于其他供试品种。康两优 380、T 优 15、深两优 1 号的 CH<sub>4</sub>

表 1 不同供试早稻品种 CH<sub>4</sub> 累计排放量、排放通量均值、产量和单位产量 GWP

类别	早稻品种	累计排放 (kg/hm <sup>2</sup> )	排放通量均值 [mg/(m <sup>2</sup> ·h)]	经济产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	单位产量排放强度 GWP (kg/kg)
常规早稻	中早 39	72.23g	3.67g	6 436.6b	0.280h
	中嘉早 17	95.77cde	4.86cde	5 402.7d	0.443bede
	湘早籼 6	102.25cd	5.19cd	3 902.1i	0.657a
	湘早籼 24	153.04a	7.77a	5 969.6c	0.643a
	湘早籼 32	69.40g	3.53g	4 435.6gh	0.390efg
	湘早籼 45	74.39g	3.78g	4 702.4fg	0.393defg
杂交早稻	株两优 171	87.28ef	4.43ef	4 802.4efg	0.460bc
	株两优 189	76.47fg	3.88fg	5 336.3d	0.360fg
	株两优 819	96.68cd	4.91cde	6 403.2b	0.376fg
	陆两优 171	90.57de	4.60de	5 002.5def	0.460bc
	陆两优 996	122.33b	6.21b	7 570.4a	0.400cdefg
	陆两优 4026	124.20b	6.31b	7 337.5a	0.423cdef
	两优早 17	92.60cde	4.70cde	6 169.8bc	0.373fg
	长两优 35	99.49cde	5.05cde	4 202.1hi	0.593a
	金优 268	92.22cde	4.68cde	5 069.2def	0.456bcd
	潭原优 4903	103.36c	5.25c	7 303.6a	0.353g
	杰丰优 1 号	104.14c	5.29c	5 135.9de	0.507b

注:同列不同英文字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。下表同。

表 2 不同供试晚稻品种 CH<sub>4</sub> 累计排放量、排放通量均值、产量和单位产量 GWP

类别	晚稻品种	累计排放量 (kg/hm <sup>2</sup> )	排放通量均值 [mg/(m <sup>2</sup> ·h)]	经济产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	单位产量排放强度 (kg/kg)
常规晚稻	湘晚籼 13	427.63hi	20.01hi	7 843.5def	1.38defgh
	湘晚籼 17	903.00a	42.25a	8 436.4cdef	2.74a
	玉珍香	598.08ef	27.99ef	8 893.4abcdef	1.71bcde
	黄花占	339.80j	15.90j	8 201.7def	1.06fgh
杂交晚稻	Y 两优 1 号	477.63h	22.35h	8 522.9bcdef	1.42defg
	Y 两优 896	350.20ij	16.38ij	8 319.1cdef	1.05fgh
	深两优 1 号	705.61cd	33.02cd	8 596.992bcdef	2.08bc
	深优 9586	356.78ij	16.69ij	9 690.1abcde	0.93gh
	凤两优 293	554.72fg	25.96g	7 627.4ef	1.82bcd
	凤两优丝苗	327.15j	15.31j	7 744.7def	1.08fgh
	C 两优 7 号	509.17gh	23.83gh	8 337.6cdef	1.53cdef
	T 优 15	783.95bc	36.68bc	6 781.2f	3.01a
	玖两优 644	495.59gh	23.19gh	9 968.1abcd	1.25efgh
	广两优 2010	599.27ef	28.04ef	10 888.3a	1.41defg
	准两优 608	678.10de	31.73de	9 004.6abcdef	1.88bcd
	康两优 380	816.23b	38.19b	9 406.0abcde	2.17b
	丰源优 299	631.09def	29.53def	10 783.3ab	1.51def
	资优 299	341.78j	15.99j	10 894.5a	0.83h
	娄优 988	340.35j	15.93j	10 011.3abcd	0.86h
	丰优 800	566.96fg	26.53fg	10 561.0abc	1.36defgh

排放量相对较高,介于 700 ~ 820 kg/hm<sup>2</sup> 之间。其余供试晚稻品种的 CH<sub>4</sub> 排放量都在 300 ~ 700 kg/hm<sup>2</sup> 之间。

供试晚稻品种中,产量最高的是资优 299 (10 894.5 kg/hm<sup>2</sup>),其次是广两优 2010、丰源优 299、丰优 800 及娄优 988,分别为 10 888.3、10 783.3、10 561.0、10 011.3 kg/hm<sup>2</sup>。产量最低的是 T 优 15 (6 781.2 kg/hm<sup>2</sup>)。玖两优 644、深优 9586、康两优 380、准两优 608 的产量相对较高。

单位产量 GWP 最低的 6 个品种依次是资优 299、娄优 988、深优 9586、Y 两优 896、黄花占、凤两优丝苗,分别为

0.834、0.862、0.932、1.050、1.056、1.077 kg/kg。综合不同供试晚稻品种 CH<sub>4</sub> 排放量、排放均值、单位产量 GWP 几个甲烷排放指标高低,黄花占、娄优 988、资优 299、Y 两优 896、凤两优丝苗、深优 9586 这 6 个品种表现较为理想。

3 讨论

水稻不同生育时期,稻田 CH<sub>4</sub> 排放通量存在一定的差异,在水稻生育前期,CH<sub>4</sub> 排放出现高峰,在水稻生长后期(齐穗至成熟期)排放最低。不同的水稻品种之间在不同的生育时期,其排放通量也不一致,其原因在于不同的水稻品种

生理机构、生长特性存在一定的差异,从而对稻田  $\text{CH}_4$  的产生、氧化和排放造成不同的影响。本研究结果表明,无论是早稻品种还是晚稻品种,在生育前期  $\text{CH}_4$  排放最高,在分蘖期出现峰值(个别品种出现在抽穗期),在生育后期排放最低,并且晚稻  $\text{CH}_4$  排放要比早稻排放高,这与前人的研究结果<sup>[23,25-28]</sup>基本一致。在水稻生育前期,长期处于淹水状态,特别是水稻分蘖盛期,植株生长发育旺盛,地上生物量增加,为  $\text{CH}_4$  产生和排放提供更多的有利条件。而在水稻生育后期,田间搁田基本处于无水状态, $\text{CH}_4$  排放极低,原因在于空气中的氧气进入稻田中,土壤的 Eh 值增加,从而使甲烷的氧化增强,降低甲烷的排放<sup>[22]</sup>。在晚稻的生育前期  $\text{CH}_4$  排放通量要比早稻排放通量高出 4 倍左右,可能是由于当年气温较高,稻田中淹水较深,从而为产甲烷菌提供了有利的条件。

不同水稻品种  $\text{CH}_4$  排放量、产量都存在一定的差异,这是由于不同水稻品种之间的生物量、生长特性、根系结构、根系分泌物及泌氧能力、植株通气组织的结构存在一定的差异<sup>[29]</sup>。本研究结果表明,不同水稻品种  $\text{CH}_4$  累计排放量存在差异性,供试晚稻品种的  $\text{CH}_4$  累计排放量显著高于供试早稻品种,晚稻介于  $300 \sim 910 \text{ kg/hm}^2$  之间,早稻在  $60 \sim 160 \text{ kg/hm}^2$  之间,相差 5 倍左右。水稻产量晚稻也普遍要高于早稻。单位产量 GWP 取决于稻田  $\text{CH}_4$  累计排放量与水稻产量的大小,较高的产量同时  $\text{CH}_4$  排放量也相对较大。在试验结果中,早稻品种中早 39 ( $0.280 \text{ kg/kg}$ ) 的单位产量 GWP 最低,具有较高的产量和一定的  $\text{CH}_4$  排放量,相对较低的还有潭原优 4903、株两优 189、株两优 819、两优早 17,介于  $0.350 \sim 0.400 \text{ kg/kg}$  之间,均优于其他早稻品种。晚稻品种中,也有类似的结果,杂交稻的产量及排放量普遍高于常规稻,但单位产量 GWP 要普遍低于常规稻,最高与最低相差  $2.2 \text{ kg/kg}$ ,相差比较大,差异显著,可能是由于土壤的理化性质、作物类型、水肥管理及栽培措施等不同造成的<sup>[24,30]</sup>,也有可能是双季稻作区地理环境因素差异导致的。有研究结果表明,水稻的种植既影响土壤甲烷产生也影响甲烷排放量,原因是水稻在生长过程中通过增加碳分配到根,进而有充足的底物促使根系氧化能力的释放,或者当水稻品种具有很高的产能时,甲烷的排放量就会减少,固定光合碳向地上部尤其是向籽粒转移,从而根部氧化能力减弱<sup>[31-32]</sup>。产量高的水稻品种,如超级稻,不仅在粮食生产力方面具有优势,在  $\text{CH}_4$  减排中也有一定的优势<sup>[33]</sup>。因此在早晚稻上,单位产量 GWP 以及甲烷排放量差异明显,通过合理的管理和选择,保持水稻产量,同时减少  $\text{CH}_4$  排放,保持高效高产减排是可行的。

#### 4 结论

不同水稻品种  $\text{CH}_4$  排放通量、排放量、产量差异性显著,早稻品种的  $\text{CH}_4$  累计排放量在  $60 \sim 160 \text{ kg/hm}^2$  之间,晚稻品种的  $\text{CH}_4$  排放量明显高于早稻,介于  $300 \sim 910 \text{ kg/hm}^2$  之间。早稻品种中,单位产量 GWP 都在  $0.28 \sim 0.657 \text{ kg/kg}$  之间,中早 39、株两优 189、潭源优 4903、株两优 819、两优早 17 的产量和单位产量 GWP 与其他品种差异显著。晚稻品种中,单位产量 GWP 介于  $0.83 \sim 3.01 \text{ kg/kg}$  之间,黄花占、娄优 988、资优 299、Y 两优 896、凤两优丝苗、深优 9586,单位产量 GWP 显著低于其他晚稻品种。不同双季稻品种的种植对稻

田综合温室效应的影响关系密切,在不同双季稻品种选择上选用低单位产量综合温室效应的品种能够达到一定减排增效的效果。

#### 参考文献:

- [1] Rodhe H. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect[J]. Science, 1990, 248 (4960): 1217 - 1219.
- [2] Sass R L, Fisher M F. Methane emissions from rice paddies: a process study summary[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1997, 49 (1/2/3): 119 - 127.
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2013: the physical science basis; working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 467 - 1031.
- [4] Metz B, Davidson O, Bosch P, et al. Climate change 2007: mitigation of climate change: contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 3 - 5.
- [5] IPCC Climate change 2007: Couplings between changes in the climate system and Biogeochemistry [EB/OL]. [2008 - 8 - 15]. [http://www.uwpcc.washington.edu/documents/IPCC/sci2007\\_summary.pdf](http://www.uwpcc.washington.edu/documents/IPCC/sci2007_summary.pdf).
- [6] Yu K W, Wang Z P, Chen G X. Nitrous oxide and methane transport through rice plants[J]. Biology and Fertility of Soils, 1997, 24 (3): 341 - 343.
- [7] 傅志强, 黄 璜, 何保良, 等. 水稻植株通气系统与稻田  $\text{CH}_4$  排放相关性研究[J]. 作物学报, 2007, 33 (9): 1458 - 1467.
- [8] 王增远, 徐雨昌, 李 震, 等. 水稻品种对稻田甲烷排放的影响[J]. 作物学报, 1999, 25 (4): 441 - 446.
- [9] 黄 耀. 中国的温室气体排放、减排措施与对策[J]. 第四纪研究, 2006, 26 (5): 722 - 732.
- [10] 刘红江, 郭 智, 张丽萍, 等. 有机 - 无机肥不同配比比例对稻季  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响[J]. 生态环境学报, 2016, 25 (5): 808 - 814.
- [11] 王 聪, 沈健林, 郑 亮, 等. 猪粪化肥配施对双季稻田  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放及其全球增温潜势的影响[J]. 环境科学, 2014, 35 (8): 3120 - 3127.
- [12] 李健陵, 李玉娥, 周守华, 等. 节水灌溉、树脂包膜尿素和脲酶/硝化抑制剂对双季稻温室气体减排的协同作用[J]. 中国农业科学, 2016, 49 (20): 3958 - 3967.
- [13] 张岳芳, 陈留根, 张传胜, 等. 水稻机械化播栽对稻田甲烷和氧化亚氮排放的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31 (14): 232 - 241.
- [14] 刘红江, 郭 智, 郑建初, 等. 不同栽培技术对稻季  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响[J]. 生态环境学报, 2015, 24 (6): 1022 - 1027.
- [15] 傅志强, 龙 攀, 刘依依, 等. 水氮组合模式对双季稻甲烷和氧化亚氮排放的影响[J]. 环境科学, 2015, 36 (9): 3365 - 3372.
- [16] 彭 华, 纪雄辉, 吴家梅, 等. 双季稻田不同种植模式对  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24 (2): 190 - 195.
- [17] Gogoi N, Baruah K K, Gupta P K. Selection of rice genotypes for lower methane emission [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2008, 28 (2): 181 - 186.

- [18] Bhullar G S, Iravani M, Edwards P J, et al. Methane transport and emissions from soil as affected by water table and vascular plants [J]. *BMC Ecology*, 2013, 13(1): 32.
- [19] Cheung F. The search for the rice of the future [J]. *Nature*, 2014, 514(7524): S60 – S61.
- [20] Zhang Y, Jiang Y, Li Z, et al. Aboveground morphological traits do not predict rice variety effects on CH<sub>4</sub> emissions [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2015, 208: 86 – 93.
- [21] Ding A, Willis C R, Sass R L, et al. Methane emissions from rice fields: effect of plant height among several rice cultivars [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(4): 1045 – 1052.
- [22] Lou Y, Inubushi K, Mizuno T, et al. CH<sub>4</sub> emission with differences in atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment and rice cultivars in a Japanese paddy soil [J]. *Global Change Biology*, 2008, 14(11): 2678 – 2687.
- [23] Bhatia A, Pathak H, Jain N, et al. Global warming potential of manure amended soils under rice – wheat system in the Indo – Gangetic plains [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(37): 6976 – 6984.
- [24] 孙会峰, 周 胜, 陈桂发, 等. 水稻品种对稻田 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2015, 34(8): 1595 – 1602.
- [25] 吴家梅, 纪雄辉, 霍莲杰, 等. 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性 [J]. *生态学报*, 2013, 33(15): 4599 – 4607.
- [26] Liu J J, Wu P P, Xie X L, et al. Methane emission from late rice fields in Human red soil under different long – term fertilizing systems

- [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2878 – 2886.
- [27] Ma J, Xu H, Cai Z C. Effect of fertilization on methane emissions from rice fields [J]. *Soils*, 2010, 42(2): 153 – 163.
- [28] Wang J, Zhang X, Xiong Z, et al. Methane emissions from a rice agroecosystem in South China: effects of water regime, straw incorporation and nitrogen fertilizer [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012, 93(1): 103 – 112.
- [29] 傅志强, 朱华武, 陈 灿, 等. 水稻根系生物特性与稻田温室气体排放相关性研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2012, 30(12): 2416 – 2421.
- [30] Li X, Yuan W, Xu H, et al. Effect of timing and duration of midseason aeration on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from irrigated lowland rice paddies in China [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, 91(3): 293 – 305.
- [31] Sass R L, Cicerone R J. Photosynthate allocations in rice plants: Food production or atmospheric methane? [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, 99(19): 11993 – 11995.
- [32] Tokida T, Adachi M, Cheng W, et al. Methane and soil CO<sub>2</sub> production from current – season photosynthates in a rice paddy exposed to elevated CO<sub>2</sub> concentration and soil temperature [J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(11): 3327 – 3337.
- [33] Jiang Y, Wang L, Yan X, et al. Super rice cropping will enhance rice yield and reduce CH<sub>4</sub> emission: a case study in Nanjing, China [J]. *Rice Science*, 2013, 20(6): 427 – 433.

(上接第 249 页)

交换离子含量多, 导致 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup> 等盐离子被交换, 土壤肥力下降。研究表明, 最适宜农作物生长的土壤呈中性为宜, 此时土壤中肥料养分最易于被农作物吸收利用, 且微生物的活动更为活跃。MSNF 可以作为一种土壤改良剂对土壤的酸碱度进行改善, 以达到外加添加剂的作用<sup>[6]</sup>。从图 5 可以看出, 酸碱不一的土壤溶液经 MSNF 处理后, 其 pH 值均被调节至 5.5 ~ 7.0 的范围内。因为在酸性土壤条件中, MSNF 中的抗衡离子 (Na<sup>+</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 可以与土壤中的 H<sup>+</sup> 交换发生反应; 而在碱性土壤条件中, MSNF 中含有的大量 –COOH、–SO<sub>3</sub>H 基团, 它们可以与土壤中的 OH<sup>–</sup> 发生中和反应。试验结果表明, MSNF 可以调节土壤的酸碱平衡, 从而有利于农作物的生长。

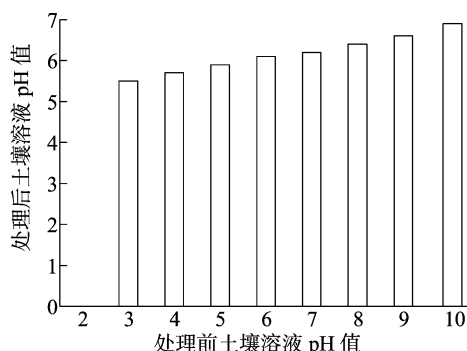


图5 MSNF 对土壤溶液 pH 值的影响

### 3 讨论

小麦秸秆基新型缓控释氮肥是基于现有肥料、小麦秸秆资源利用率低的问题研制的新型肥料。本试验先对小麦稻秆进行预处理, 通过水溶液自由基聚合, 制得 PTWS 高吸水树

脂样品, 然后对该样品进行表征分析和吸水能力研究, 通过吸附法制得多功能缓释氮肥 (MSNF), 对该肥料的性能进行了研究, 得出以下结论, 即 PTWS 高吸水树脂中 PTWS 含量对其吸水率有影响, 当含量为 10% 时具有最大吸水率, 说明使用该浓度的 PTWS 可以大大降低使用成本。

利用该 PTWS 高吸水树脂, 通过吸附法制备缓释氮肥, 操作简单, 且所制得的肥料具有一定的缓释性能, 可以提高土壤的持水量, 调节土壤溶液的 pH 值, 将 MSNF 施入土壤后, 将有望改善土壤的酸碱缓冲性, 使土壤环境更利于农作物的生长。小麦秸秆基新型缓控释氮肥在埋入土壤 10 d 后, 其释放率为 65%, 而普通肥料在埋入后 1 d 内释放率即达到 98%, 表明新型缓控释氮肥具有良好的缓释性, 可以提高土壤的持水量, 有望改善土壤的酸碱缓冲性, 使土壤环境更利于农作物对养分的充分吸收和生长。

### 参考文献:

- [1] 李卫华, 陈 超, 黄东风, 等. 缓/控释肥的最新研究动态及其展望 [J]. *水土保持研究*, 2008, 15(6): 263 – 266.
- [2] 崔英德, 黎新明, 尹国强. 绿色高吸水树脂 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 290 – 310.
- [3] 祝红福, 熊远福, 邹应斌, 等. 包膜型缓/控释肥的研究现状及应用前景 [J]. *化肥设计*, 2008, 46(3): 61 – 64.
- [4] 姚 蕾, 柯百胜, 张 艳, 等. 魔芋超强吸水剂对土壤保水性能的影响 [J]. *水土保持通报*, 2009, 29(4): 76 – 80.
- [5] 刘辰琛. 典型作物根际土壤溶液硝态氮浓度及淋失特征研究 [M]. 保定: 河北农业大学, 2011: 58 – 66.
- [6] 谢建军, 刘新容, 梁吉福, 等. 吸水树脂吸附分离研究进展 [J]. *高分子通报*, 2007(9): 52 – 58.