

施用、 Φ 、有机物含量与组成、质地与结构、耕作与利用、温度等诸多因素的影响^[1]，国内外对此进行了大量研究。但有关不同种类作物对 CH_4 排放的影响很少报道。本文对华北平原的A种主要夏季作物大豆、花生、玉米、棉花—潮土系统中 CH_4 排放量及其差异进行了初步研究，旨在为农田系统 CH_4 排放量的估算与减排提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 试验地点

田间试验设在中国科学院封丘农业生态试验站附近四块靠在一起的农户田中，土壤为黄淮海平原的潮土，土壤的理化性质除大豆地速效磷较高外其它性质基本一致(表1)。

表1 试验田土壤的理化性质

试验地	有机质	全氮	全磷	速效磷	全钾	速效钾
	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}
大豆地	15.2	0.12	0.08	12.5	18.7	15.3
花生地	14.8	0.11	0.07	11.9	18.2	14.7
玉米地	15.1	0.13	0.09	13.1	19.0	16.1
棉花地	14.9	0.12	0.08	12.7	18.5	15.5

2.2 供试作物

试验作物有大豆、花生、玉米和棉花A种，作物由农户按当地习惯板地播种，但未施肥。

2.3 田间设计

按照当地施肥习惯，待作物长到一定时候进行苗期施肥。在每种作物地上划出 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的小区，设施氮肥和不施氮肥两个处理，氮肥为尿素，穴施，每穴施肥量基本一致，总施肥量为 30 kg N ha^{-1} 。施肥时间为2024年4月15日，施肥后第10天开始采样测定土壤中 CH_4 排放通量，直至6月15日。

2.4 田间取样与分析方法

2.4.1 田间气样采集

试验选用原状土柱培养法，即采用 $\phi 10\text{ cm}$ 材料制作成 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的圆形培养桶，桶的底部密封，桶盖上有一取气孔，用橡皮塞塞住，桶与盖之间垫上一密封圈，用不锈钢螺丝使桶与盖密封。每个桶中放入 10 cm 个用内径 2 cm 的不锈钢土钻取出的 10 cm 长原状土柱，然后密封，埋在地里培养7d。取出后用注射器抽取 10 mL 气体注入 10 mL 的真空玻璃瓶中，带回室内进行测定。

2.4.2 室内分析

不同浓度的 CH_4 标准气体均由澳大利亚墨尔本大学提供。气体样品分析应用美国惠普公司产的 6890N 气相色谱，色谱柱为填充 $60/80$ 目 100 m 的填充柱，柱温 $60\text{ }^\circ\text{C}$ ，检测器温度 $250\text{ }^\circ\text{C}$ ， N_2 检测，定量六通阀进样，进样量 $1\text{ }\mu\text{L}$ ，载气为 1 mL min^{-1} N_2 ，流速 1 mL min^{-1} 。

3 结果与分析

3.1 不同作物系统中 CH_4 排放通量的时间变化

图1中可见，不施氮肥处理时玉米、棉花和花生作物系统中 CH_4 排放通量出现两个峰值，而且第1个峰值比第2个峰值要高得多；大豆作物中只出现1个峰值，而且峰值比其它2种作物的最高峰值低得多。作物间最高峰值出现的时间也有差异，大豆、玉米和棉花2种作物的峰值出现在4月15日，而花生作物的峰值出现在4月25日。玉米和棉花排放通量的时间变化趋势一致，大豆和花生作物则有所差异。总的看来，作物系统间 CH_4 的排放通量及其时间变化还是有一定的差异的。

图1 不施氮处理下A种作物系统 CH_4 排放通量变化

施氮肥处理A种作物系统中 CH_4 排放通量随着时间的推移而逐渐增加(见图2)，玉米作物在4月15日就出现第1个峰值，其它至4月25日出现排放高峰，这是由于尿素氮肥水解转化成铵态氮后，硝化作用和反硝化作用产生 CH_4 的结果。然后 CH_4 排放通量逐渐降低，但玉米作物在4月25日仍有1个排放峰值，呈双峰型，至6月15日A种作物系统的 CH_4 排放通量均很低，在这一期间作物进入了快速营养生长和生殖生长阶段，对氮素大量吸收，造成土壤中氮浓度降低的结果。大豆和花生作物系统 CH_4 排放通量变化趋势大致相同，而与玉米、棉花作物的变化不相

图 y 施氮处理下 A 种作物系统 $\vartheta_y\phi$ 排放通量变化

$$T\chi_{0.96}\sigma_y T_{0.92}\sigma_{\tau 3\tau}\vartheta_y\phi\sigma_1\chi_1\chi_2^{2.92}\rho\sigma_6 A\pi_{0.34}40\xi^{2.8}\chi_2\nu_{7378}\sigma_{171}\chi_0\phi\chi_2^{4.98}3\tau^2\chi_0^{63}\nu\sigma_2$$

同。作物间的排放通量在大量排放期差异较大。

图 z 中可见, 试验期间 $w-xB\pi_1$ 土层的温度保持在 $zww^\circ C-zA\iota B^\circ C$ 之间, 土温变化不大, 这一温度范围也是在土壤硝化作用和反硝化作用的适宜温度内, 因此不成为其制约因子。土壤温度与 $\vartheta_y\phi$ 排放通量之间无明显的关系(图 y 和图 $z\rho$ 。但土壤含水量对 $\vartheta_y\phi$ 排放量有一定的影响, Δ 月 yy 日— E 月 E 日之间土壤水分含量增加, $\vartheta_y\phi$ 排放通量也增加。但在 E 月 E 日— Z 月 Z 日期间, 虽然土壤水分也有过增加, 而 $\vartheta_y\phi$ 排放通量除玉米作物在 E 月 yE 日随水分增加外其它作物并未再增加, 这是因为在此期间作物大量吸收土壤氮素, 使土壤氮浓度降低。其实, 土壤温度、水分和氮含量都是影响土壤 $\vartheta_y\phi$ 排放的主要因子, 当某一因子较低时就成为限制因子。该区域夏季作物生长期间温度一般较高, 因此土壤水分和土壤有效氮含量是 $\vartheta_y\phi$ 产生和排放的主要限制因子。

$y.y$ 不同作物系统中 $\vartheta_y\phi$ 的排放总量及其差异

表 y 中显示 A 种作物系统的 $\vartheta_y\phi$ 排放总量。不施氮时, 作物间的排放量略有差异, 为 $w\iota B\Delta-x\iota\omega\omega\omega\vartheta_y\phi-\vartheta\cdot\varphi_1^{-\nu}$, 其大小次序是花生 Δ 玉米 Δ 棉花 Δ 大豆; 施氮时, 排放量为 $x\iota\omega E-z\iota\omega y\omega\omega\vartheta_y\phi-\vartheta\cdot\varphi_1^{-\nu}$, 作物间差异较大, 为玉米 Δ 花生 Δ 大豆 Δ 棉花。施氮肥处理比不施氮处理, $\vartheta_y\phi$ 排放总量增加

表 y A 种夏季作物—潮土系统中 $\vartheta_y\phi$ 排放总量

$$\alpha\xi_0\sigma_y\alpha_{38}\xi_0\tau_{0.92}\sigma_{\tau 3\tau}\vartheta_y\phi\sigma_1\chi_1\chi_2^{2.9631}$$

$$A_{79111}\sigma_0\pi_{0.34}-73\chi_0^{7378}\sigma_{171}$$

作物	施氮处理 $\omega\omega\vartheta\cdot\varphi_1^{-\nu}$	无氮处理 $\omega\omega\vartheta\cdot\varphi_1^{-\nu}$	氮肥产生量 $\omega\omega\vartheta\cdot\varphi_1^{-\nu}$	占施肥量 /%
大豆	$y\iota Ay$	$w\iota B\Delta$	$x\iota EB$	$x\iota yz$
花生	$y\iota\omega E$	$x\iota\omega\omega$	$x\iota\omega E$	$x\iota\omega Z$
玉米	$z\iota\omega y$	$w\iota\omega B$	$y\iota\omega\Delta$	$x\iota\omega E$
棉花	$x\iota\omega E$	$w\iota\Gamma z$	$w\iota EB$	$w\iota B\Delta$

图 z $w-xB\pi_1$ 土壤温度($^\circ C$) 和含水量变化($\circ\vartheta_0$ %)

$$T\chi_{0.96}\sigma_z\delta\xi_8\sigma_0\pi_{9.28}\sigma_{2.870}\vartheta_0\% \rho\xi_0\nu\xi\chi_2^{788}\sigma_{14}\sigma_0\xi_{896}\sigma(\ ^\circ C)$$

$$\xi_{88}\varphi\sigma\rho\sigma_{18}\varphi_{3\tau}w-xB\pi_1\chi_2^{8}\varphi\sigma_{73}\chi_0$$

$y\iota\omega\Gamma-A\iota yB$ 倍。肥料氮产生的 $\vartheta_y\phi$ 达 $w\iota\omega\Gamma-y\iota\omega\Delta\omega\omega\vartheta_y\phi-\vartheta\cdot\varphi_1^{-\nu}$, 占施氮量的 $w\iota B\Delta\%$ — $x\iota\omega E\%$, 其中玉米—土壤系统产生的 $\vartheta_y\phi$ 量最高, 大豆、花生次之, 棉花最低。可见, 氮肥施用在不同作物中产生的 $\vartheta_y\phi$ 量差异较大, 最高的比最低的高出近 z 倍, 这是一个值得注意的结果, 但为何作物间有如此大的差异以及其机理有待于进一步研究。

z 讨论

目前, 尚未见在同一地区、同一季节进行多种不同作物—土壤系统中 $\vartheta_y\phi$ 的排放量及其差异的报道, 开展这一研究可以了解作物对土壤中 $\vartheta_y\phi$ 产生和排放的影响。本研究结果显示, 在华北平原潮土上不同夏季作物系统间的 $\vartheta_y\phi$ 排放总量有较大差异。氮肥施用导致 $\vartheta_y\phi$ 排放量大大增加。关于施用的氮肥有多大比例转化成 $\vartheta_y\phi-\vartheta$, $\varepsilon\chi_2\nu^{\theta\Delta\kappa}$ 总结国内现有的资料统计是施氮量的 $w\iota\Gamma\%$ 转化成 $\vartheta_y\phi-\vartheta$; $\varepsilon_{37}\chi_0^6$ 等^{[9]Eκ} 报道在牧场上为 $w\iota B\%$ — $x\iota\omega\%$; $\Omega\sigma_{00}\sigma_6^{\theta Z\kappa}$ 报道香蕉种植园中氮肥的 $x\iota\omega\%$ — $y\iota Z\%$ 以 $\vartheta_y\phi-\vartheta$ 形式排放。可以认为, 由于不同地区的土壤、气候以及施肥管理等条件不同这一比例可能不同。本试验表明, 在华北平原大豆、花生、玉米和棉花作物系统中施氮量的 $w\iota B\Delta\%$ — $x\iota\omega E\%$ 产生 $\vartheta_y\phi$ 排放, 作物间差别较大。可以认为, 作物类型对 $\vartheta_y\phi$ 的产生与排放影响很大, 甚至有时作物种类似乎比施肥对土壤—作物系统 $\vartheta_y\phi$ 排放的影响更大^{[9]πκ}。我国氮肥施用量大, 种植的作物类型较多, 因此在研究农田土壤 $\vartheta_y\phi$ 排放和评价氮肥施用对大气中 $\vartheta_y\phi$ 排放的贡献时, 应考虑到一些主要作物系统间的 $\vartheta_y\phi$ 排放差异, 也只有通过加强这方面的研究才能全面地了解 $\vartheta_y\phi$ 产生和排