

# 淹水土壤有机酸积累与秸秆碳氮比及氮供应的关系\*

单玉华<sup>1,2</sup> 蔡祖聪<sup>2</sup> 韩勇<sup>2</sup> Sarah E Johnson<sup>3</sup> Roland J Buresh<sup>3</sup>

(1 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225009)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(3 International Rice Research Institute, DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines)

**摘要** 有机酸积累和毒害是稻田秸秆还田中受到广泛关注的问题。本文以水稻与小麦秸秆为材料, 采用淹水培养研究了甲酸、乙酸、丙酸及丁酸在土壤中的积累及其与秸秆碳氮比、氮肥添加量的关系。结果表明, 在不施用氮肥的情况下, 随秸秆用量的增加, 秸秆处理的有机酸积累均显著增多。与稻秸处理相比, 麦秸处理的有机酸(尤其是丙酸)积累量显著较高, 土壤溶液中  $\text{NH}_4^+$  浓度显著较低。加入尿素明显减少有机酸积累, 促进  $\text{CH}_4$  排放, 但对  $\text{CO}_2$  的排放无显著影响; 氮素的影响在麦秸处理中表现的尤为明显。上述结果说明麦秸的高碳氮比增加了无机氮的生物固定, 抑制有机酸向  $\text{CH}_4$  转化, 从而导致麦秸处理有机酸积累量高于稻秸处理。施用氮肥是减少麦秸还田后有机酸积累的有效措施之一, 但此措施将可能促进  $\text{CH}_4$  的排放。

**关键词** 淹水土壤; 有机酸; 秸秆; 碳氮比; 气体排放; 氮肥

中图分类号 S141.9; S153.5 文献标识码 A

秸秆是重要的农业资源。据估算, 我国秸秆年产量约为  $6 \times 10^8$  t, 其中水稻、小麦及玉米秸秆占 75%<sup>[1~3]</sup>, 能否合理利用秸秆资源直接影响生态环境及农业的可持续发展。但我国不少地区田间焚烧秸秆的现象仍很严重<sup>[1,4]</sup>, 既造成资源浪费又污染环境<sup>[5]</sup>。秸秆直接还田是合理利用秸秆资源的重要途径, 但也可引发养分固定、有害物质积累等而影响下茬作物的生长, 其中秸秆厌氧腐解过程中产生的低分子量有机酸的植物毒性早已引起人们的关注。20 世纪中期, 即有不少研究报道涉及淹水稻田低分子量有机酸(主要是甲酸、乙酸、丙酸及丁酸)积累对水稻生长的影响及其机理与控制措施等<sup>[6~13]</sup>。但以往的研究多针对东南亚一带长期淹水的连作稻田, 研究材料也以该地区常见有机肥源(水稻秸秆、绿肥及厩肥等)为主。稻麦轮作是我国农田重要的轮作方式, 麦秸直接还田正日益普及<sup>[14,15]</sup>。然而, 对于麦秸在淹水

土壤分解过程中有机酸的积累、转化及其影响因子等目前仍不清楚。本试验以稻麦轮作地区最常见的小麦及水稻秸秆为材料, 研究淹水培养条件下两种秸秆腐解过程中有机酸积累的差异, 并探讨有机酸积累与秸秆碳氮比及氮肥施用的关系。

## 1 材料与方法

本研究包括两个独立的淹水培养试验(试验 1 和试验 2), 分别在国际水稻研究所及扬州大学进行。

### 1.1 供试土壤

试验 1 所用土壤为粘质土, 采自国际水稻研究所水稻试验田的耕层(0~15 cm); 试验 2 的土壤采自扬州大学实验农场水稻田耕层, 土质为轻壤土。两土壤基本性质列于表 1。

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of the soils used for incubation

土壤 Soil	采样地点 Sampling site	pH	总碳 Total C (%)	总氮 Total N (%)	有效磷 Olsen-P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	CEC ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )
土壤 1 Soil 1	国际水稻研究所 IIRRI	6.5	1.845	0.158	79.7	36.4
土壤 2 Soil 2	扬州大学 Yangzhou University	6.8	1.623	0.147	65.3	28.6

\* 国际合作项目(IIRRI Ref. DPPC2001-11)、江苏省教育厅高校科研基金及江苏省环境材料与工程重点实验室基金资助

作者简介: 单玉华(1963~), 男, 中国科学院南京土壤研究所博士后, 从事农业资源利用研究。E-mail: shanyuhua@hotmail.com

收稿日期: 2006-04-30; 收到修改稿日期: 2006-08-08

土样采集后,去除根等杂物,取部分土样测定水分含量及土壤基本性质,其余土壤搅成匀浆备用。

## 1.2 供试秸秆

供试的水稻及小麦秸秆分别取自成熟期的

IR68 及扬麦 158,其成份列于表 2。将经自然风干的秸秆剪碎(1~ 2 cm),混匀备用。

表 2 供试秸秆材料的成份  
Table 2 Composition of straw materials used

秸秆材料 Straw material	碳氮比 C N ratio	糖 Sugar (%)	半纤维素 Hemi-cellulose (%)	纤维素 Cellulose (%)	木质素 Lignin (%)
小麦秸秆 Wheat straw	82.77	10.86	38.47	39.96	16.23
水稻秸秆 Rice straw	42.52	15.85	35.02	33.69	15.20

## 1.3 试验设计

试验 1 主要研究淹水条件下水稻秸秆与小麦秸秆有机酸积累的差异及其与秸秆用量的关系,供试土壤为土壤 1,设置秸秆类型(麦秸、稻秸)及秸秆用量(0.5%, 1%, 2%)两个因素。试验 2 的目的在于探讨有机酸积累与秸秆碳氮比及施用氮肥的关系,供试土壤为土壤 2,处理为秸秆类型(麦秸、稻秸,用量均为 1%,以不加秸秆为对照)及氮肥用量(尿素 0, 0.2, 0.4 g kg<sup>-1</sup>)。试验 1 与试验 2 均设置 3 次重复。

将相当于 200 g 干土(按含水量折算)的新鲜土壤置于高 12 cm、直径 10.5 cm 的塑料容器,按设定比例加入秸秆与尿素,充分混匀。将土壤溶液采样器的微孔聚酯管横向埋入土壤,微孔聚酯管离土面约 4 cm。加水使水土比为 1.5: 1,容器内水层厚度约为 2 cm。将容器置于 30℃ 恒温培养箱中培养,培养过程中及时补充因蒸发等而损失的水分。

## 1.4 测定内容与方法

试验 1 与试验 2 均测定土壤溶液中有有机酸(甲酸、乙酸、丙酸及丁酸)浓度,采样时间为培养开始后 7、10、14 d。试验 2 同时测定土壤溶液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 以及 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的释放速率,采样时间均为培养后 1、3、5、7、10、14、21 d。

土壤溶液用非破坏性真空负压法采集<sup>[16~18]</sup>,采集前弃掉存留于微孔聚酯采样器内的土壤溶液。每次采样量控制在 5 ml 左右。土壤溶液中有有机酸浓度用高效液相色谱法测定,色谱条件同 Angel 等<sup>[18]</sup>的报道。测定前将土壤溶液用 0.45 μm 滤膜过滤,以防堵塞色谱柱。土壤溶液中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 用靛酚兰比色法测定。

采集气样前,用玻璃棒轻搅土壤赶出在培养过程中形成并束缚在土壤中的气泡,以防其在采样过程中破裂、释放气体而干扰测定。用橡皮塞塞紧塑料容器,并用玻璃胶密封,用 10 ml 聚乙烯注射针管进行第一次采样,30 min 后进行第二次采样。气样中 CH<sub>4</sub> 与 CO<sub>2</sub> 用气相色谱法测定<sup>[19]</sup>。CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的释放速率由两次样品中各自的浓度差、塑料容器内液面与橡皮塞间有效空间的体积及土壤重量计算而得。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机酸浓度变化

土壤溶液中有有机酸浓度与淹水培养时间关系密切,由图 1 可见,无论是添加麦秸还是稻秸处理,培养 7 d 或 10 d 时土壤溶液中有有机酸积累水平较高,而在培养 14 d 时,有机酸浓度很低或消失。培养过程的不同阶段,不同有机酸种类、浓度变化随秸秆类型而异,培养 14 d 时,麦秸处理的土壤溶液中已不能检出甲酸,稻秸处理中则不能检出甲酸和乙酸(图 1)。秸秆加入量对土壤有机酸浓度具有明显影响,无论是麦秸还是稻秸处理,土壤溶液有机酸浓度均随秸秆加入量的增加而提高。秸秆添加量也影响土壤溶液有机酸种类,当秸秆加入量为 0.5% 时,稻秸处理的土壤溶液中未检出甲酸和乙酸的积累,而在麦秸处理中,仅在秸秆加入量为 2% 时才有甲酸的积累。总体而言,麦秸处理土壤溶液有机酸浓度明显高于稻秸处理,尤其在秸秆加入量较高的情况下更是如此(图 1)。

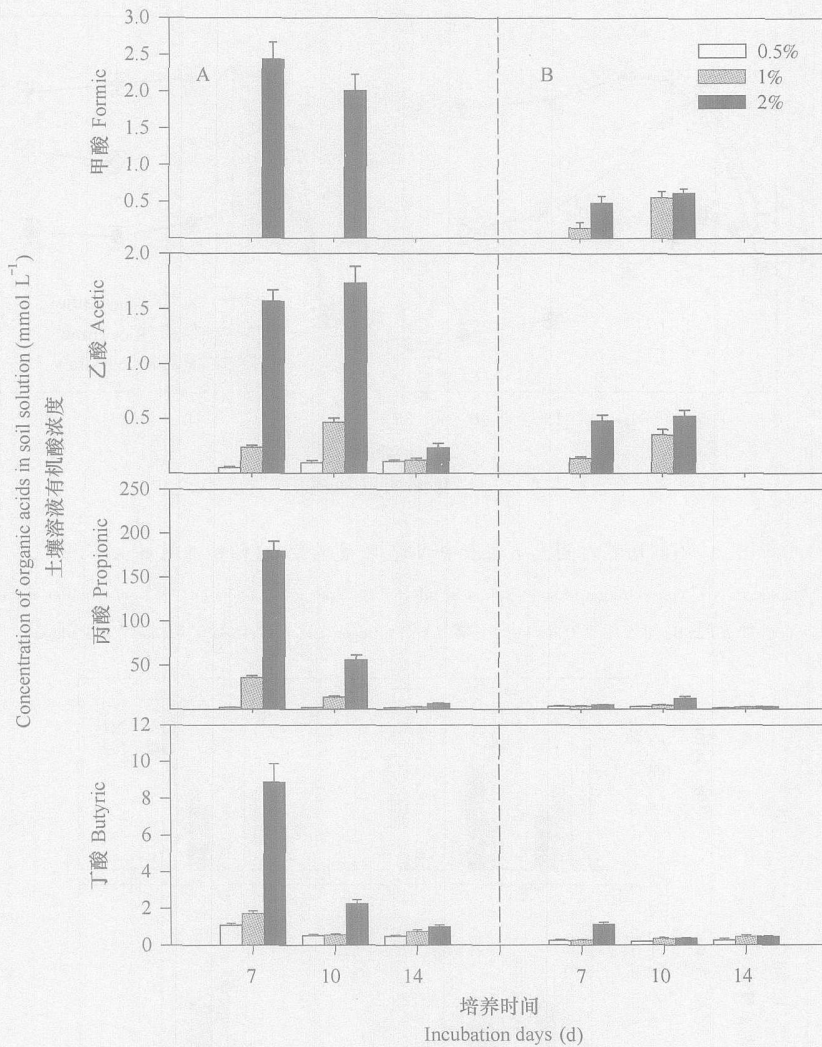


图 1 不同培养过程中土壤溶液有机酸浓度及其与秸秆类型及用量的关系

Fig 1 Concentration of organic acids in soil solution as affected by straw type and rate incorporated  
 平均值+ 标准误; A: 麦秸, B: 稻秸 Means+ S. E.; A: Wheat straw, B: Rice straw

## 2.2 施氮对土壤溶液有机酸浓度的影响

土壤溶液  $\text{NH}_4^+$  变化可作为淹水土壤秸秆分解初期有效氮水平的指标。由图 2A 可见, 不施氮情况下, 稻秸处理土壤溶液  $\text{NH}_4^+$  在淹水培养 5 d 前与对照 (不加秸秆) 接近, 甚至略高于对照, 培养 5 d 后则明显低于对照。添加麦秸处理的  $\text{NH}_4^+$  浓度在培养开始即明显低于对照, 且整个培养过程中麦秸处理的土壤溶液  $\text{NH}_4^+$  浓度显著低于稻秸处理。可见, 与稻秸相比, 麦秸在分解过程中对土壤有效氮的生物固定作用更为强烈。由于生物固定作用, 添加氮肥时秸秆处理土壤溶液  $\text{NH}_4^+$  浓度仍明显低于不加秸秆的对照, 且麦秸处理  $\text{NH}_4^+$  浓度较稻秸处理更低 (图 2B)。但与不施氮相比, 施氮明显提高了土壤溶液中  $\text{NH}_4^+$  浓度。

由试验 1 可知, 麦秸处理土壤溶液有机酸浓度明显高于稻秸处理 (参见图 1), 这一结论在试验 2 中得到了证实 (图 3)。由图 3 可见, 土壤溶液中有有机酸浓度与施氮水平关系密切。培养 7 d 与 10 d 的麦秸处理中, 各种有机酸浓度均随施氮量的增加而显著降低 (图 3A)。在培养 10 d 时, 不施氮的麦秸处理甲酸、乙酸、丙酸及丁酸的浓度分别为 1.1、0.9、98.3 及 6.3  $\text{mmol L}^{-1}$ , 施入尿素 0.4  $\text{g kg}^{-1}$  后则分别降至 0.7、0.4、36.0 和 2.6  $\text{mmol L}^{-1}$ , 降幅分别为 36%、56%、63% 及 59%。在培养 14 d 的麦秸处理中, 施氮也均降低了所测定的各种有机酸浓度, 但除甲酸外, 其余三种有机酸在尿素 0.2 及 0.4  $\text{g kg}^{-1}$  两个施氮处理间差异未达显著水平 (图 3A)。稻秸处理中, 施氮对培养 7 d 及 14 d 的有机酸浓度无显著影响

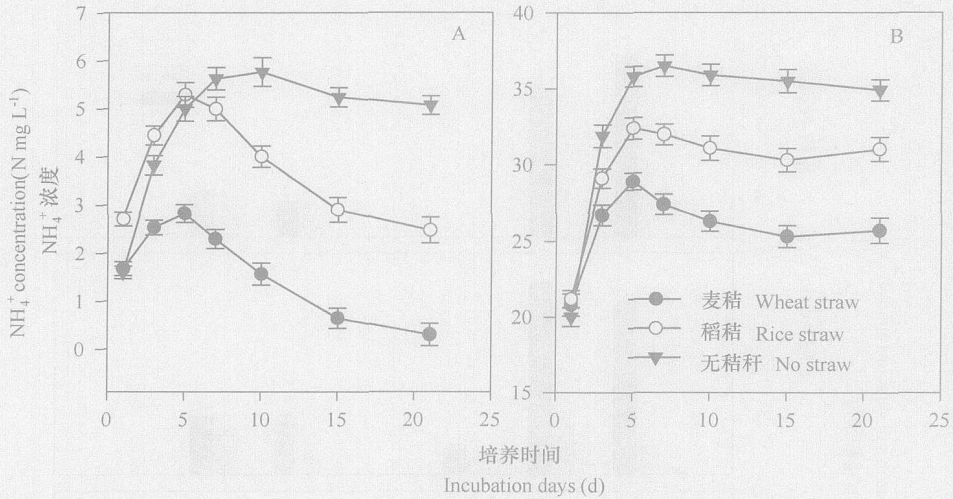


图2 不同培养时间土壤溶液中 $\text{NH}_4^+$ 浓度的变化(秸秆加入量:1%)

Fig 2 Change in  $\text{NH}_4^+$  concentration in soil solution as affected by straw type (added at 1%) and addition of nitrogen

A: 不加氮肥; B: 加入尿素  $0.4 \text{ g kg}^{-1}$  土壤 A: No nitrogen added; B: Urea  $0.4 \text{ g kg}^{-1}$  soil added

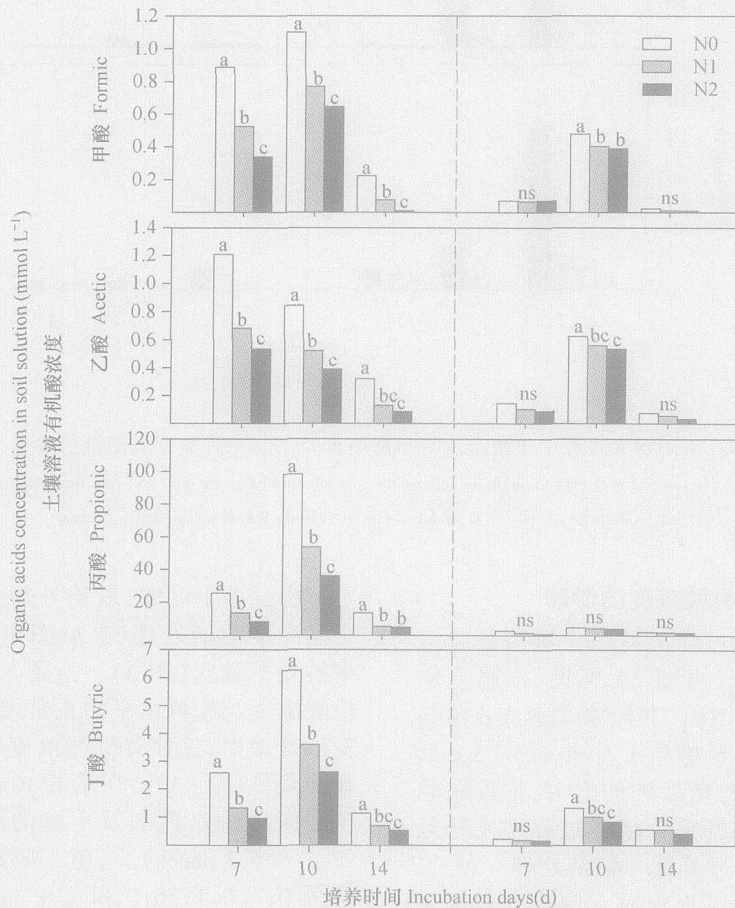


图3 施氮对两种秸秆处理土壤溶液中有机酸浓度的影响

Fig 3 Response of organic acids concentration to nitrogen addition

注: 每一培养时间具相同字母表示差异不显著, 字母不同者差异显著,

ns: 无差异,  $LSD, p < 0.05$ ; A: 麦秸, B: 稻秸; N0、N1、N2表示尿素用量分别为  $0, 0.02, 0.4 \text{ g kg}^{-1}$

Note: For each sampling time, bars with different letters mean significant difference, ns: no difference,

$LSD, p < 0.05$ ; A: Wheat straw, B: Rice straw; N0, N1 and N2 represent urea  $0, 0.02$  and  $0.4 \text{ g kg}^{-1}$  soil added, respectively

(图 3B)。除丙酸外, 施氮降低了培养 10 d 的有机酸浓度, 但降幅很小。可见, 麦秸处理土壤溶液有机酸浓度对施氮的反应较稻秸处理更为敏感。

### 2.3 施氮对 CH<sub>4</sub> 及 CO<sub>2</sub> 排放速率变化的影响

试验 2 中不同培养时间 CH<sub>4</sub> 及 CO<sub>2</sub> 的排放速率见图 4。麦秸与稻秸处理 CH<sub>4</sub> 排放速率随培养时间的变化趋势基本一致, 均在培养 14 d 达到最大排放速率。但麦秸处理与稻秸处理 CH<sub>4</sub> 排放速率对施氮

的反应不同。不施氮时稻秸处理 CH<sub>4</sub> 的排放速率高于麦秸处理, 施氮显著提高了麦秸处理 CH<sub>4</sub> 的排放速率(图 3A)。培养 14 d 时, 施尿素 0.2 及 0.4 g kg<sup>-1</sup> 麦秸处理的 CH<sub>4</sub> 排放速率分别较不施氮提高 40% 及 62%。施氮也能促进稻秸处理 CH<sub>4</sub> 的排放速率, 但幅度较小。麦秸与稻秸处理 CO<sub>2</sub> 排放速率的变化趋势接近, 但稻秸处理 CO<sub>2</sub> 排放高峰早于麦秸处理。施氮对麦秸与稻秸处理 CO<sub>2</sub> 排放速率均无明显影响。

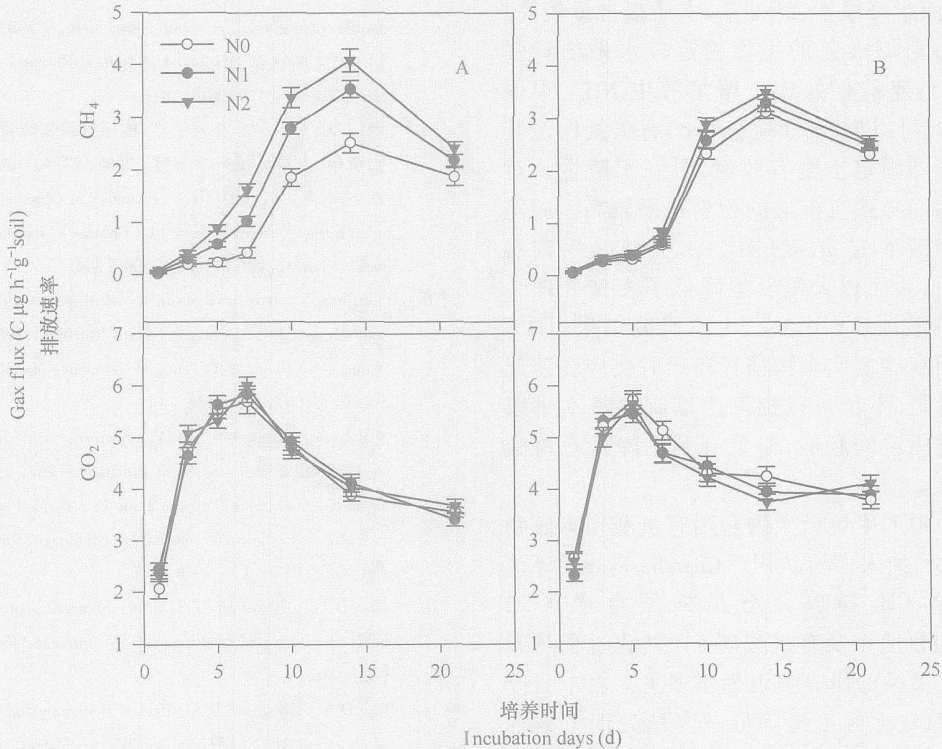


图 4 施氮对 CH<sub>4</sub> 及 CO<sub>2</sub> 排放速率的影响

Fig 4 Effects of nitrogen addition on CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> flux during the incubation

A: 麦秸, B: 稻秸; N0, N1, N2 表示尿素用量分别为 0, 0.2, 0.4 g kg<sup>-1</sup>

A: Wheat straw, B: Rice straw; N0, N1 and N2 represent urea 0, 0.2 and 0.4 g kg<sup>-1</sup> soil added

## 3 讨论

水稻根对有机酸较敏感, 有机酸对稻根伸长抑制顺序为: 丁酸 > 丙酸 > 乙酸 > 甲酸<sup>[6]</sup>。有机酸致毒浓度与 pH 有关, 在 pH 较低时, 有机酸浓度达到 10 mmol L<sup>-1</sup> 即严重抑制水稻幼苗的生长, 而当 pH 较高时有机酸达到 40 mmol L<sup>-1</sup> 对水稻也未产生不利影响<sup>[10, 11]</sup>。由本研究结果可见, 当麦秸加入量大时有机酸(尤其是丙酸)可积累至较高的水平(图 1、图 3)。我国目前麦秸还田量一般不超过 5

t hm<sup>-2</sup><sup>[14, 15]</sup>, 远低于本试验及以往研究报道的秸秆加入量, 从这点看, 发生有机酸毒害的可能性不大。然而, 在缺乏劳动力及相应农机具地区, 存在秸秆还田不均匀现象<sup>[24]</sup>, 麦秸在局部土壤堆积可增加有机酸毒害的危险性。

以往的报道表明, 淹水土壤有机酸浓度随水稻秸秆加入量的增加而提高, 其峰值浓度出现在淹水培养后 15~20 d<sup>[9, 20]</sup>, 本研究结果与此相近(图 1)。但由本试验结果可知, 麦秸处理土壤溶液有机酸浓度明显高于稻秸处理, 这一趋势在不同土壤上表现一致(图 1、图 3), 说明在淹水稻田中麦秸还田较稻



秸还田更易导致有机酸积累。

有机酸是秸秆厌氧腐解过程中的中间产物,可被微生物用作有效碳源转化为  $\text{CH}_4$  等气体而消耗<sup>[20,21]</sup>。有机酸积累水平取决于其产出与消耗间的平衡。水稻秸秆在淹水培养中有机酸消耗过程较其产出过程对一些环境条件更为敏感<sup>[20]</sup>。Paul 等<sup>[22]</sup>认为,秸秆的组成与性质直接影响秸秆的腐解过程、土壤微生物的活性及群体大小。由表 2 可见,小麦秸秆的碳氮比高出水稻秸秆近 1 倍,且可溶性糖含量较低,而半纤维素、纤维素、木质素含量较高。小麦秸秆分解对有效氮的生物固定较水稻秸秆强烈;不施氮时小麦秸秆处理土壤溶液中  $\text{NH}_4^+$  很低(图 2A)。由此可以推测,小麦秸秆的高碳氮比使其腐解过程中强烈固定土壤有效氮,限制了微生物对有机酸的利用而导致有机酸的积累水平较高。施氮提高了土壤溶液  $\text{NH}_4^+$  浓度(图 2B),促进微生物对有机酸的利用,从而较大幅度地降低了麦秸处理土壤溶液中有机酸浓度(图 3)。由本研究结果可见,淹水稻田采用高碳氮比作物秸秆还田时更应注意配合施用化学氮肥,不仅可以提高土壤有效氮水平以减轻氮素生物固定的影响,而且有利于降低有机酸毒害的危险性。

淹水土壤中产甲烷微生物利用有机酸作为底物而生成  $\text{CH}_4$  早已为人们所认识。Chandrasekaran 等认为,稻田土壤  $\text{CH}_4$  释放是有机酸解毒途径之一<sup>[20,21,23]</sup>。但目前涉及有机酸向  $\text{CH}_4$  转化过程与有机物料碳氮比关系的研究报道尚不多见。由本研究结果可见,施氮较大幅度地降低了麦秸处理土壤溶液有机酸浓度并同步提高了麦秸处理  $\text{CH}_4$  的释放速率,而对  $\text{CO}_2$  释放无明显影响(图 3、图 4)。土壤溶液有机酸浓度及  $\text{CH}_4$  释放速率对氮肥反应的同步性一方面说明有机酸可被土壤产甲烷微生物利用,另一方面则提示产甲烷微生物对土壤有效氮水平敏感,氮肥施用促进了产甲烷细菌对有机酸的利用从而减少了有机酸的积累。

$\text{CH}_4$  系温室效应气体。施氮时,稻秸处理  $\text{CH}_4$  释放速率增加幅度较小,而麦秸处理增加幅度则较大(图 4)。但在本试验中,培养时间为 3 周时,麦秸处理不同施氮量间  $\text{CH}_4$  释放速率已相差不大。可见,施氮对  $\text{CH}_4$  释放的促进效应主要发生于秸秆分解的初期,对秸秆分解全程  $\text{CH}_4$  释放总量的贡献尚待进一步探讨。

## 参考文献

[1] 王秋华. 我国农村作物秸秆资源化调查研究. 农村生态环境,

1994, 10(4): 67~ 71. Wang Q H. Investigation of rural straw utilization in China (In Chinese). Rural Eco-environment, 1994, 10(4): 67~ 71

- [2] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆资源利用现状分析. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 242~ 247. Gao X Z, Ma W Q, Ma C B, *et al.* Analysis on current status of utilization of crop straw in China (In Chinese). Journal of Huazhong Agricultural University, 2002, 21(3): 242~ 247
- [3] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国秸秆资源及其利用现状. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87~ 92. Han L J, Yan Q J, Liu X Y, *et al.* Straw resources and their utilization in China (In Chinese). Journal of Chinese Agricultural Engineering, 2002, 18(3): 87~ 92
- [4] Chen H, He X W. Handbook of Natural Resources in China. Beijing: Science Press, 1990. 616~ 617
- [5] 曹国良, 张小曳, 王丹, 等. 秸秆露天焚烧排放的 TSP 等污染物清单. 农业环境科学学报, 2005, 24(4): 800~ 804. Cao G L, Zhang X Y, Wang D, *et al.* Inventory of emissions of pollutants from open burning crop residues (In Chinese). Journal of Agro-environment Science, 2005, 24(4): 800~ 804
- [6] Takijima Y. Status of roots in the rhizosphere and the occurrence of root damage. Soil Science and Plant Nutrition, 1965, 11: 204~ 211
- [7] Wang T S, Cheng S Y, Tung H. Dynamics of soil organic acids. Soil Science, 1967, 104: 138~ 144
- [8] Tanaka A, Navasero S A.  $\text{CO}_2$  and organic acids in relation to growth of rice. Soil Science and Plant Nutrition, 1967, 13: 25~ 30
- [9] Gotoh S, Onikura Y. Organic acids in a flooded soil receiving added rice straw and their effect on the growth of rice. Soil Science and Plant Nutrition, 1971, 17: 1~ 8
- [10] Rao D N, Mikkelsen D S. Effect of acetic, propionic and butyric acids on young rice seedlings growth. Agronomy Journal, 1977a, 69: 923~ 928
- [11] Rao D N, Mikkelsen D S. Effect of rice straw additions on production of organic acids in a flooded soil. Plant and Soil, 1977b, 47: 303~ 311
- [12] Lynch J M. Organic acid from the anaerobic decomposition of Agropyron repens rhizomes. Phytochemistry, 1980, 19: 1 846~ 1 847
- [13] Tsutsuki K. Volatile products and low molecular weight phenolic products of the anaerobic decomposition of organic matter. In: Ponnamperuma F N, Banta S. eds. Organic Matter and Rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 1984. 329~ 343
- [14] 曾木祥, 张玉洁, 单秀枝, 等. 我国主要农区的秸秆还田模式. 土壤肥料, 2001(4): 33~ 36. Zeng M X, Zhang Y J, Shan X Z, *et al.* Options of returning straw into field of main agricultural areas in China (In Chinese). Soils and Fertilizers, 2001(4): 33~ 36
- [15] 曾木祥, 王蓉芳, 彭世琪, 等. 我国主要农区秸秆还田试验总结. 土壤通报, 2002, 33(5): 336~ 339. Zeng M X, Wang R F, Peng S Q, *et al.* Summary of returning straw into field of main agricultural areas in China (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(5): 336~ 339
- [16] 宋静, 骆永明, 赵其国. 土壤溶液采样技术进展. 土壤, 2000, 32(2): 102~ 106. Song J, Luo Y M, Zhao Q G. Advances in soil solution sampling. Soils, 2000, 32(2): 102~ 106

- [17] Alberto M C R, Arah J R M, Neue H U, *et al.* A sampling technique for the determination of dissolved methane in soil solution. *Chemosphere: Global Change Science*, 2000, 2(1): 57~ 63
- [18] Angeles O R, Johnson S E, Buresh R J. Soil solution sampling for organic acids in rice paddy soils. *American Journal of Soil Science Society*, 2006, 70: 48~ 56
- [19] Ding W X, Cai Z C, Tsuruta H, *et al.* Effect of standing water depth on methane emissions from freshwater marshes in northeast China. *Atmospheric Environment*, 2002, 36: 5 149~ 5 157
- [20] Adharya C N. Studies on the anaerobic decomposition of plant materials, II. Some factors influencing the anaerobic decomposition of rice straw. *Biochemical Journal*, 1935, 29: 953~ 960
- [21] Jones D L, Darrah P R. Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere. *Plant and Soil*, 1994, 166: 247~ 257
- [22] Paul E A, Clark F E. *Soil Microbiology and Biochemistry*. San Diego: Academic Press, CA, 1996. 340
- [23] Chandrasekaran S, Yoshida T. Effects of organic acid transformations in submerged soils on growth of the rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1973, 19: 39~ 45
- [24] 田仲和, 高善民, 朱恩, 等. 麦秸还田不均匀对直播稻生长的影响及对策. *土壤肥料*, 2002 (1): 26~ 29 Tian Z H, Gao S M, Zhu E, *et al.* Effect of non-uniform returning of wheat straw to field on direct-sown rice and countermeasures concerned (In Chinese). *Soils and Fertilizers*, 2002 (1): 26~ 29

## ACCUMULATION OF ORGANIC ACIDS IN RELATION TO C: N RATIOS OF STRAWS AND N APPLICATION IN FLOODED SOIL

Shan Yuhua<sup>1,2</sup> Cai Zucong<sup>2</sup> Han Yong<sup>2</sup> Sarah E Johnson<sup>3</sup> Roland J Buresh<sup>3</sup>

(1 College of Environment Sciences and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

(2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(3 International Rice Research Institute, DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines)

**Abstract** Accumulation of organic acids and their phytotoxicity in paddy rice fields incorporated with crop straws have been widely concerned. Laboratory incubation was conducted to investigate the accumulation of organic acids, including formic, acetic, propionic and butyric acid in soil solution under flooded conditions and the effects of C: N ratios of straw materials and N application. Results showed that the concentration of organic acids in soil solution increased with the rate of straws incorporated. The overall accumulation of organic acids (especially propionic acid) was significantly higher in soil incorporated with wheat straws than with rice straws, while  $\text{NH}_4^+$  concentration in the soil solution was the other way round due to wider C: N ratio in wheat straw. Addition of urea significantly reduced concentration of organic acids in soil solution and enhanced  $\text{CH}_4$  flux but had no obvious influence on  $\text{CO}_2$  flux in the wheat straw treatment, while in the rice straw treatment, the concentration of organic acids and  $\text{CH}_4$  flux were less sensitive to N addition. Results obtained in this study indicated that wider C: N ratio of wheat straw enhanced the immobilization of inorganic N and inhibited the transformation of organic acids to  $\text{CH}_4$  which led to higher accumulation of organic acids. N application can serve as one of the effective ways to reduce the accumulation of organic acids in rice fields incorporated with wheat straw, but may enhance  $\text{CH}_4$  emission.

**Key words** Flooded soil; Organic acids; Crop straws; C: N ratio; Gas emission; N application