

古水稻土与现代水稻土的供氮差异及其氮肥效应*

胡君利^{1,2,3} 林先贵^{1,2†} 褚海燕^{1,2} 尹睿^{1,2} 王俊华^{1,2}
张华勇^{1,2} 曹志洪^{1,2} 胡正义^{1,2}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学土壤与环境联合开放实验室, 南京 210008)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

DIFFERENT NITROGEN SUPPLY CAPACITIES AND NITROGENOUS FERTILIZER EFFICIENCIES IN ANCIENT AND PRESENT PADDY SOILS

Hu Junli^{1,2,3} Lin Xiangui^{1,2†} Chu Haiyan^{1,2} Yin Rui^{1,2} Wang Junhua^{1,2}
Zhang Huayong^{1,2} Cao Zhihong^{1,2} Hu Zhengyi^{1,2}

(1 State key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Joint Open Laboratory of Soil and the Environment, Institute of Soil Science and Hongkong Baptist University, Nanjing 210008, China)

(3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

关键词 古水稻土; 供氮能力; 氮肥效应

中图分类号 S158 文献标识码 A

根据最新的考古发现, 中国种植水稻的历史可以追溯到公元前 4 000 多年^[1]。据考证, 位于长江三角洲的昆山市正仪镇绰墩山古水稻土遗址的地下 42~ 57 cm 与 100~ 116 cm 均为古水稻土层, 历史耕作时间分别距今约 3 320 a 和 6 280 a^[2]。氮素是作物生长发育所需的重要营养元素^[3], 稻田土壤的供氮能力是影响水稻生长的关键因子, 是评价土壤肥力的主要指标之一^[4]。土壤供氮能力主要包括供氮量和供氮过程两个方面^[5], 而硝化活性又是评价土壤供氮能力的一个重要指标^[6]。研究发现^[2], 现代水稻土的矿质氮含量是古水稻土的 10 倍左右, 主要以 NO₃⁻ 形式存在, 且具有较强的硝化活性; 而古水稻土的 NO₃⁻-N 与 NH₄⁺-N 处于相对均衡状态, 基本不表现硝化活性。土壤含氮量较低势必会影响土壤的供氮能力, 此时施加氮肥往往是保障作物正常生长发育的重要措施^[3]。由于古水稻土样品的珍稀

性, 本研究设计的是温室小型盆栽试验, 旨在进一步比较古水稻土与现代水稻土供氮能力的差别, 及其在添加不同形态氮肥的条件下对水稻生长和氮素吸收的影响, 对揭示古水稻土在长期埋藏于土壤深层后的生态功能演变及相关微生物群落的演替状况具有积极的指示意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2003 年 12 月 10 日在绰墩山遗址的考古剖面采集水稻土(水耕人为土)样品。其中, 剖面的第 1 层(0~ 15 cm)为现代水稻土, 第 5 层(42~ 57 cm)和第 8 层(100~ 116 cm)分别为距今 3 320 a 和 6 280 a 的古水稻土。土样编号和 pH、有机碳、矿质氮含量如表 1 所示。

* 国家自然科学基金重点项目(40335047)资助

† 通讯作者, Tel: 025-86881589; E-mail: xglin@issas.ac.cn

作者简介: 胡君利(1982-), 男, 安徽绩溪人, 硕士研究生, 主要从事土壤微生物生态方向研究。E-mail: jllh@issas.ac.cn, njauhjl@sohu.com

收稿日期: 2005-10-24; 收到修改稿日期: 2006-02-20

表 1 供试土壤样品的有机碳和矿质氮含量

编号	土样名称	深度 (cm)	pH	有机碳 (g kg ⁻¹)	铵态氮		硝态氮 (mg kg ⁻¹)
					(mg kg ⁻¹)		
1	现代水稻土	0~ 15	5.77	20.52	3.61		41.74
5	3 320 a 古水稻土	42~ 57	6.07	9.75	2.44		1.20
8	6 280 a 古水稻土	100~ 116	6.17	22.31	4.17		1.20

供试水稻(*Oryza sativa* L.) 品种为粳稻 9915。

1.2 试验设计

采用完全组合设计, 取编号为 1、5、8 的 3 个土样, 设 4 个处理: 空白对照(不种水稻)、不施氮对照(种水稻)、施硫酸铵(种水稻)、施硝酸钠(种水稻), 分移栽 30 d 和 60 d 两次收获, 各有 3 个重复。称取风干土(过 2 mm 筛) 45 g 于经酒精消毒的单胞培养管中, 按每 9 kg 土添加 1 g 纯氮的标准添加氮肥营养液(对照为蒸馏水) 10 ml, 管口垫一中间开缝的海绵圆片。在盛蒸馏水的托盘(15 cm × 10 cm × 5 cm) 上架一泡沫板(18 cm × 12 cm), 同一土样同一处理的 6 根培养管插在同一泡沫板中, 管底靠近托盘底部。水稻种子经酒精和双氧水消毒, 蒸馏水育秧 7 d, 移栽生长均匀的健壮苗, 除空白外每管 1 株。在中国科学院南京土壤研究所光照温室里培养, 根据水位需求不定期往托盘中添加蒸馏水, 且收获第一批之后向每托盘添加 Hoag land 无氮营养液 100 ml。各处理每次收获 3 管植株(包括根系), 清水洗净; 回收绝大部分土样, 混匀后装入自封袋中, 4 °C 冰箱贮存。

1.3 测定方法

1.3.1 水稻株高、根长及生物量的测定

用直尺分别量取水稻植株地上部分和地下部分的拉直长度(株高与根长), 然后将植株样品装入纸袋中, 65 °C 烘干后称重。第一批植株样品茎叶与根部混在一起处理, 第二批植株样品地上茎叶部分和地下根部分开处理。

1.3.2 水稻全氮含量和氮吸收量的测定

采用包括硝态氮的半微量凯氏法^[4]。称取过 40 目筛的烘干样品约 0.1 g 于煮管底部, 先用水杨酸-浓硫酸将硝态氮转化为硝基水杨酸, 再用硫代硫酸钠将其还原为氨基水杨酸, 然后用混合加速剂消煮。最后采用蒸馏法, 用 H₃BO₃ 溶液吸收 NH₃, 标准酸溶液滴定。

1.3.3 土壤 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的测定

称取新鲜土样 10 g, 加入 40 ml 2 mol L⁻¹ KCl 溶液, 振荡 30 min, 提取过滤。滤液经稀释后, 采用荷兰生产的 SKALAR San^{plus} 流动分析仪, 根据标准溶液和待测溶

液的峰高测定 NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 浓度, 计算每克干土的 NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 含量^[7]。

1.4 数据处理

实验数据使用 SPSS 11.5 软件进行统计分析, 并使用 Duncan 检验进行多重比较($p < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 水稻株高、根长与生物量

图 1a 和图 1b 所示为古水稻土与现代水稻土上移栽 30 d 和 60 d 时的水稻平均株高。从图中可以看出, 在不施氮条件下, 古水稻土上水稻的株高明显低于现代水稻土上的水稻($p < 0.05$); 在施氮处理下, 古水稻土上的水稻植株显著增高($p < 0.05$), 并赶超现代水稻土上的水稻, 且两种施氮处理之间基本没有差异。6 280 a 古水稻土虽然含有与现代水稻土同样较高的有机碳含量(表 1), 但在不施氮条件下, 水稻的生长与 3 320 a 古水稻土上的同样较差。再从时间尺度来看, 水稻在移栽 30 d 后株高生长大幅减缓, 古水稻土上不施氮处理的水稻甚至停止了生长。水稻生长受到抑制, 一方面可能是盆栽土壤中可供养分的耗减, 另一方面可能是单胞培养管有效生长空间的限制。

图 1c 和图 1d 所示为古水稻土与现代水稻土上移栽 30 d 和 60 d 时的水稻的平均根长。在不施氮条件下, 3 320 a 古水稻土上水稻的根系在 30 d 和 60 d 时均比现代水稻土和 6 280 a 古水稻土上的长($p < 0.05$); 施加氮肥对水稻根系长度的影响在 30 d 时不很明显, 60 d 时现代水稻土和 3 320 a 古水稻土上水稻的根系在施硝酸钠处理下最长($p < 0.05$), 而 6 280 a 古水稻土上水稻的根系在施硫酸铵处理下最长($p < 0.05$)。有机碳是影响土壤生物学性质的重要组分^[8], 3 320 a 古水稻土的有机碳含量不足其他两个土样的 1/2(表 1), 这可能是导致水稻根系为吸收充足养分而相对较长的原因之一; 施氮处理在不同水稻土上对水稻根系长度的影响不同, 则应该是土壤性质影响水稻的养分吸收造成的。

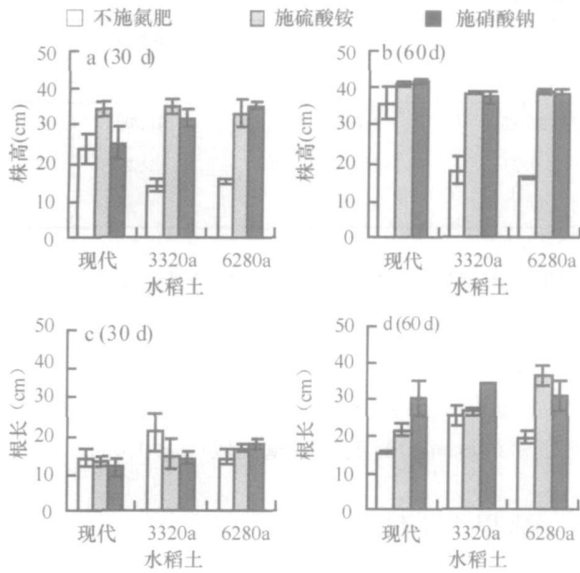


图1 古水稻土与现代水稻土中栽培的水稻在不同施氮处理下的株高与根长

图2所示为古水稻土与现代水稻土上移栽30 d和60 d时收获的水稻植株的平均生物量。在30 d时,大多数结果已显示出施加氮肥对水稻植株生物量的增重效果,现代水稻土中施加硫酸铵的效果更好($p < 0.05$),这与水稻是喜铵性作物有关^[9];3320 a古水稻土有相似的趋势,但6280 a古水稻土不表现这种差异。到60 d时,在不施氮条件下,现代水稻土上水稻植株的生物量显著高于古水稻土上的水稻($p < 0.05$);而施加氮肥对水稻植株生物量的提高在三种水稻土上全部达到显著水平($p < 0.05$),但两种施氮处理之间、三个水稻土之间均没有显著差异。

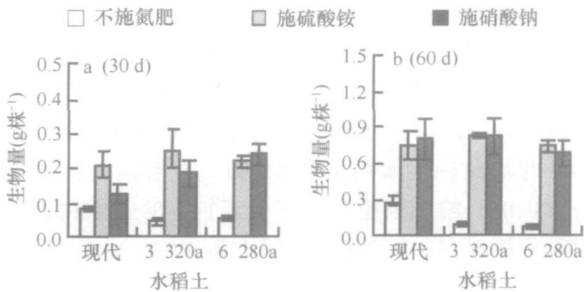


图2 古水稻土与现代水稻土中栽培的水稻在不同施氮处理下的生物量

2.2 植株全氮含量和氮吸收量

图3a和图3b所示为移栽30 d时收获的植株样品的全氮含量和氮吸收量测定结果。在不施氮条件下,古水稻土上水稻的全氮含量和氮吸收量均显著

低于现代水稻土上的水稻($p < 0.05$),与株高呈现一致的规律;施加氮肥不影响现代水稻土上水稻的全氮含量,而对古水稻土上水稻的全氮含量具有显著的提高作用($p < 0.05$),氮肥处理之间没有显著差异。施氮处理对水稻氮吸收量的影响与对植株生物量的影响一致,即在现代水稻土和3320 a古水稻土中施加硫酸铵效果更好($p < 0.05$),但在6280 a古水稻土中两种氮肥处理之间没有显著差异。

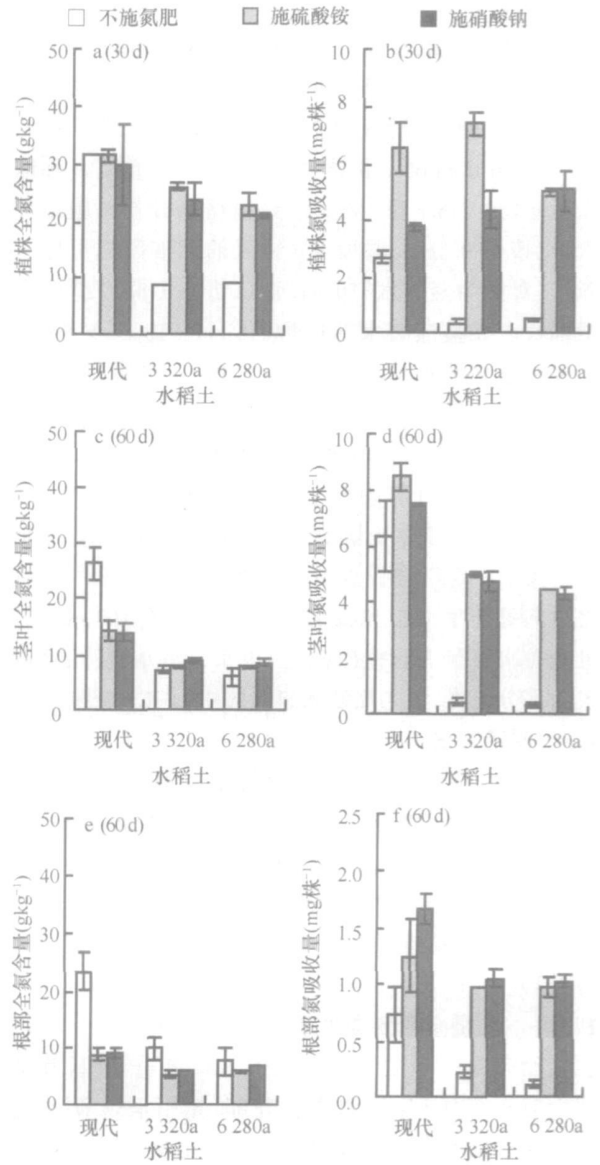


图3 古水稻土与现代水稻土中栽培的水稻在不同施氮处理下的全氮含量和氮吸收量

图3c和图3d所示为移栽60 d时收获的植株地上茎叶部分的全氮含量和氮吸收量测定结果,图3e和图3f为地下根部的测定结果。在不施氮条件下,古水稻土上栽培的水稻的地上茎叶部分和地下根部

的全氮含量和氮吸收量全部显著低于现代水稻土 ($p < 0.05$), 与 30 d 时收获的样品一致。对现代水稻土而言, 施加氮肥虽然降低了植株茎叶部分和根部的全氮含量 ($p < 0.05$), 但显著提高了它们的氮吸收量 ($p < 0.05$), 这与其对植株生物量的影响有关。对古水稻土而言, 两种氮肥等效地提高水稻地上茎叶部分和地下根部的氮吸收量 ($p < 0.05$), 两个古水稻土之间也没有差异; 施加氮肥对古水稻土上水稻的全氮含量在 60 d 时已基本没有影响, 只有 3 320a 古水稻土中水稻根部的全氮含量在不施氮处理下反而略高一些 ($p < 0.05$), 这可能是根系在贫营养条件下伸长、吸取并贮存相对较多氮素的结果。

水稻虽为较强的喜铵性作物, 但并不完全依赖于铵态氮, 其对铵态氮、硝态氮的相对吸收量表现出明显的阶段性: 在从移栽开始的营养生长期内吸收的铵态氮多于硝态氮, 而在接近生殖生长期时可以同等有效地吸收铵态氮和硝态氮^[10]。在本试验中, 现代水稻土和 3 320a 古水稻土上的水稻在移栽 30 d 时, 均能观察到施加硫酸铵效果最好(图 2a、图 3b), 而移栽 60 d 时, 不同形态氮肥的效果之间不如前期显著(图 2b、图 3d、图 3f), 这应是水稻在不同生长发育阶段对铵态氮和硝态氮的不同吸收特性所造成的。

2.3 土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量

图 4 所示为收获水稻植株后测定的土壤铵态氮和硝态氮含量, 其中图 4a 和图 4b 为 30 d 结果, 图 4c 和图 4d 为 60 d 结果。空白培养条件下, 现代水稻土的铵态氮含量随着培养时间的延长而缓慢升高, 硝态氮含量 30 d 时增高到原先的 300% 左右(图 4a),

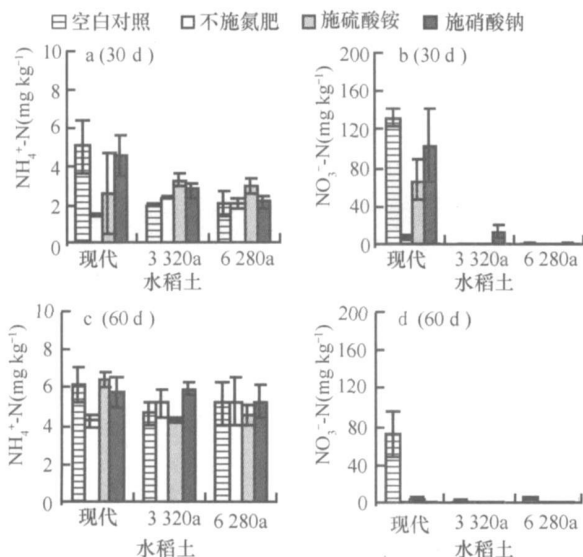


图 4 古水稻土与现代水稻土在不同处理下的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量

60 d 时维持在本底的 200% 左右(图 4c), 说明其具有较强的氮矿化作用和硝化作用; 古水稻土的铵态氮含量随着培养时间的延长也缓慢升高(图 4a、图 4c), 应该是微弱的氮矿化作用结果, 硝态氮含量基本不变化(图 4b、图 4d) 则表明其硝化功能并没有实现明显的恢复^[2]。

对现代水稻土而言, 在不施加氮肥的情况下, 水稻能够利用土壤中大部分硝态氮和铵态氮, 而施加氮肥能使土壤的矿质氮含量在 30 d 时维持与空白对照接近的水平, 到 60 d 时土壤硝态氮降到与不施氮对照相同的水平。而对古水稻土而言, 水稻栽培基本不影响土壤中的铵态氮含量(图 4a、图 4c), 但土壤的硝态氮在不施加氮肥的情况下 30 d 时已被利用殆尽(图 4b), 60 d 时施氮处理下的土壤硝态氮含量也全部降到与不施氮对照相同的水平(图 4d)。

3 结 论

1) 相对现代水稻土而言, 古水稻土的矿质氮含量很低, 其自身的供氮能力也明显弱于现代水稻土。水稻栽培会大幅度降低现代水稻土中的硝态氮和铵态氮含量, 施加氮肥只能在短期内使土壤的矿质氮含量维持相对较高水平; 而古水稻土的铵态氮含量基本不受水稻栽培的影响, 添加不同形态氮肥也不会改变水稻收获后的土壤铵态氮含量, 但土壤硝态氮的含量会逐渐降到非常低的水平。

2) 不施氮条件下, 古水稻土上水稻的株高、生物量、全氮含量及氮吸收量均显著低于现代水稻土上的水稻, 其中 3 320 a 古水稻土上水稻的根系明显长于现代水稻土和 6 280 a 古水稻土上的水稻; 6 280 a 古水稻土含有与现代水稻土同样较高的有机碳含量, 但水稻的生长与 3 320 a 古水稻土上的同样较差。施氮处理显著提高古水稻土上水稻的株高、生物量、全氮含量及氮吸收量, 并消除其在整体长势上与现代水稻土上水稻的差异。

3) 不同形态氮肥在古水稻土上对水稻株高和全氮含量的影响没有差异, 在现代水稻土上则因氮素在植株地上茎叶部分和地下根部的分异状况不同而略有差异; 在现代水稻土和 3 320 a 古水稻土上, 施硫酸铵在早期对水稻氮吸收量的提高明显大于施硝酸钠, 同时对植株生物量也有类似的效果, 而在后期施硝酸钠处理的水稻根系明显比施硫酸铵处理的长, 这皆与水稻的喜铵特性有关; 而在 6 280 a 古水

稻土上,施加氮肥对水稻的氮吸收量、生物量及根系长度的影响在不同形态氮肥之间没有差异。

致谢 中国科学院南京土壤研究所蔡贵信研究员对本研究提供宝贵指导意见,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 丁金龙. 长江下游新石器时代水稻田与稻作农业的起源. 东南文化, 2004, 178: 19~ 23
- [2] 胡君利, 林先贵, 褚海燕, 等. 古水稻土与现代水稻土硝化活性的比较. 土壤学报, 2005, 42(6): 1 044~ 1 046
- [3] 闫德知, 王德建. 土壤供氮能力研究方法进展. 土壤, 2005, 37(1): 20~ 24
- [4] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 146~ 312
- [5] 朱兆良, 文启孝主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. 48~ 52
- [6] 郭红祥, 刘卫群, 姜占省. 施用饼肥对烤烟根系土壤微生物的影响. 河南农业大学学报, 2002, 36(4): 344~ 347
- [7] 王连峰, 蔡祖聪. 水分和温度对旱地红壤硝化活力和反硝化活力的影响. 土壤, 2004, 36(5): 543~ 546
- [8] Li Z P, Zhang T L, Han F X, *et al.* Changes in soil C and N contents and mineralization across a cultivation chronosequence of paddy fields in subtropical China. *Pedosphere*, 2005, 15(5): 554~ 562
- [9] 王永锐编著. 水稻营养和合理施肥. 北京: 科学出版社, 1989. 30~ 32
- [10] 何文寿, 李生秀, 李辉桃. 水稻对铵态氮和硝态氮吸收特性的研究. 中国水稻科学, 1998, 12(4): 249~ 252