

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2015

第52卷 第3期

Vol.52 No.3



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

## 目次

### 综述与评论

- 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究····· 蔡祖聪 张金波 黄新琦等 (469)
- 土壤裂隙及其优先流研究进展····· 张中彬 彭新华 (477)

### 研究论文

- 东北典型黑土区农耕土壤团聚体流失特征····· 温磊磊 郑粉莉 沈海鸥等 (489)
- 青藏高原永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图····· 陈吉科 赵玉国 赵林等 (499)
- 贡嘎山海螺沟冰川退缩区土壤序列矿物组成变化····· 杨子江 邴海健 周俊等 (507)
- 成都典型区水稻土有机碳组分构成及其影响因素研究····· 廖丹 于东升 赵永存等 (517)
- 河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征····· 曹祥会 雷秋良 龙怀玉等 (528)
- 喀斯特小流域土壤饱和导水率垂直分布特征····· 付同刚 陈洪松 王克林 (538)
- 大沽河中游地区土壤水与浅层地下水转化关系研究····· 杨玉峥 林青 王松禄等 (547)
- 化学转化法测定水体中硝酸盐的氮氧同位素比值····· 王曦 曹亚澄 韩勇等 (558)
- <sup>13</sup>C脉冲标记定量研究施氮量对光合碳在水稻-土壤系统中分布的影响····· 刘萍 江春玉 李忠佩 (567)
- 垄作免耕对稻田垄埂土壤有机碳累积和作物产量的影响····· 慈恩 王莲阁 丁长欢等 (576)
- 施入<sup>15</sup>N标记氮肥在长期不同培肥土壤的残留及其利用····· 赵伟 梁斌 周建斌 (587)
- 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响····· 鲁艳红 廖育林 周兴等 (597)
- 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响····· 冀建华 侯红乾 刘益仁等 (607)
- 高粱分泌硝化抑制物对羟基苯丙酸与质子泵的关系研究····· 周金泉 张明超 魏志军等 (620)
- 钝化剂-锌肥降低烟草镉含量长期效果研究····· 曹晨亮 王卫 马义兵等 (628)
- 钾肥和腐殖酸互作对烤烟有机钾盐指数的影响····· 郑东方 许嘉阳 许自成等 (637)
- 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响····· 张凯 郑华 陈法霖等 (646)
- 荒漠区生物土壤结皮对土壤酶活性的影响····· 杨航宇 刘艳梅 王廷璞 (654)
- 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响····· 矫丽娜 李志洪 殷程程等 (665)
- 链霉菌JD211对水稻幼苗促生作用及土壤细菌多样性的影响····· 王世强 魏赛金 杨陶陶等 (673)

### 研究简报

- 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价····· 贡璐 张雪妮 冉启洋 (682)
- 铁膜对水稻根表面电化学性质和氮磷钾短期吸收的影响····· 郑芸芸 李忠意 李九玉等 (690)
- 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化····· 夏昕 石坤 黄欠如等 (697)
- 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征····· 王合云 李红丽 董智等 (706)

### 信息

- 2015国际土壤年····· (696)

封面图片：稻田裂隙二维与三维图像（由张中彬提供）

DOI: 10.11766/trxb201407260375

# 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响\*

鲁艳红<sup>1, 2</sup> 廖育林<sup>1, 2</sup> 周兴<sup>1, 3</sup> 聂军<sup>1, 2†</sup> 谢坚<sup>1, 2</sup> 杨曾平<sup>1, 2</sup>

(1 湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125)

(2 农业部湖南耕地保育科学观测实验站, 长沙 410125)

(3 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128)

**摘要** 利用长期定位施肥试验并结合盆栽试验, 研究长期不同施肥模式对双季稻产量和土壤基础地力的影响, 并分析水稻产量和肥料贡献率对土壤不同基础地力的响应。结果表明: 长期施用氮磷钾肥 (NPK) 或氮磷钾肥配施稻草 (NPKS) 有利于双季稻产量的增加。NPK 处理的早稻产量、晚稻产量和年总产量分别较对照 (CK) 处理增产 100.7%、67.0% 和 81.9%, NPKS 处理分别增产 113.8%、77.7% 和 93.7%。CK 处理早稻基础地力产量随试验年限的增加呈极显著下降趋势 ( $p < 0.01$ ), 晚稻基础地力产量在试验的前 9 年随年限增加呈极显著下降 ( $p < 0.01$ ), 之后基本维持稳定。长期施用氮磷钾肥或氮磷钾肥配施稻草有利于土壤基础地力的提升。土壤基础地力产量和基础地力贡献率均表现为 NPKS > NPK > CK。NPK 和 NPKS 处理早稻基础地力产量分别较 CK 提高 38.5% 和 68.1%, 晚稻分别提高 25.8% 和 49.0%。NPK 和 NPKS 处理早稻基础地力贡献率分别较 CK 提高 21.4% 和 54.9%, 晚稻分别提高 12.8% 和 22.8%。无论施肥或不施肥, 早晚稻产量均随土壤基础地力产量提高而增加; 肥料对早晚稻产量贡献率随基础地力产量提高而极显著降低。土壤有机质、全氮、速效钾是影响土壤基础地力的主要养分因子, 土壤全磷、全钾、碱解氮、有效磷对土壤基础地力也产生重要影响。

**关键词** 长期施肥; 红壤性水稻土; 水稻产量; 土壤基础地力

**中图分类号** S158.1 **文献标识码** A

中国是世界上最大的水稻生产国和消费国, 保证稻谷产量对国家粮食安全具有重大意义<sup>[1]</sup>。然而, 近年来由于城市化的快速发展和人口数量的急剧增加, 总耕地面积和人均耕地面积均呈“刚性”减少的趋势, 且在有限的耕地资源中, 中低产田比例大, 约占 70%, 严重制约我国粮食持续增产<sup>[2]</sup>。因此, 加强农田基础地力培育和挖掘农田生产潜力成为农业生产中急需探索和解决的科学问题。

施肥是水稻增产稳产最重要的农艺措施之一。然而, 由于气候、土壤肥力、耕作水平的差异, 施肥对水稻产量的影响不尽相同<sup>[3]</sup>。单纯地通过增加肥料施用量已不是增加产量的唯一途径, 在施肥

水平相对较高的农区已呈现报酬递减的现象。通过合理施肥培育耕地地力, 不仅可以挖掘农田生产潜力、增加水稻产量, 还可将肥料用量控制在适宜范围, 提高肥料利用率和减少对环境的风险<sup>[4]</sup>。因此, 探讨提升农田基础地力的途径对于保证作物产量和减少化肥投入具有重要的现实意义。

基础地力是指在特定立地条件、土壤剖面理化性状、农田基础设施建设水平下, 经过多年水肥培育后, 当季旱地无水肥投入、水田无养分投入时的土壤生产能力<sup>[5]</sup>。目前关于农田基础地力已有大量研究。已有研究大多基于长期定位试验的不施肥处理<sup>[6-7]</sup>, 然而长期不施肥处理土壤处于一种长期

\* 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2011CB100501-S05)、国家“十二五”科技支撑计划项目 (2012BAD05B05-3, 2013BAD07B11)、国际植物营养研究所 (IPNI) 资助项目 (Hunan-17) 共同资助

† 通讯作者, E-mail: junnie@foxmail.com

作者简介: 鲁艳红 (1974—), 女, 湖北武穴人, 博士, 副研究员, 主要从事植物营养与作物高效施肥研究。E-mail: luyanhong6376432@163.com

收稿日期: 2014-07-26; 收到修改稿日期: 2015-02-26

养分消耗状态,其产量只能反映长期不施肥条件下的土壤基础地力状况,而不能反映其他施肥措施下农田的实际基础地力状况。利用长期施肥的土壤,采用盆栽试验,以当季不施肥产量表示基础地力产量,以当季不施肥产量与施肥产量的比值表示基础地力贡献率,才能更加准确地表征长期不同施肥模式下的基础地力状况。因此有研究利用裂区法将原有长期施肥小区进行了划分,增设多年连续施肥与当年不施肥的处理来研究长期不同施肥对土壤基础地力的影响<sup>[8]</sup>。该方法可以较为客观地研究长期不同施肥措施下土壤基础地力的变化,但当前大部分长期定位试验的面积不大,尤其是我国南方水田长期定位试验。采用裂区法将对农艺操作带来诸多不便,也会对长期定位试验造成破坏。因此,通过采集长期不同施肥措施下的土壤进行施肥与不施肥的对比盆栽试验,研究长期不同施肥措施下土壤基础地力的演变规律显得更为现实。

平衡施肥和有机无机肥配施是土壤基础地力提升和水稻稳产增产的重要途径<sup>[9]</sup>。本文以红壤性水稻土长期定位施肥试验为基础,研究不施肥(CK)、施用氮磷钾肥(NPK)和氮磷钾肥与稻草配施(NPKS)三种长期施肥模式下双季稻产量和土壤基础地力产量的演变规律;并采集三种施肥模式下长期定位施肥试验的土壤进行盆栽试验,研究长期不同施肥模式下当季不施肥基础地力产量和基础地力贡献率的差异,进而分析长期不同施肥模式对红壤性水稻土基础地力的真实影响;并进一步探讨不同基础地力对水稻产量效应和肥料贡献率的影响,以及影响土壤基础地力的关键养分因子,以期对红壤性水稻土的地力提升与培育提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 长期定位试验区概况

长期定位施肥试验位于湖南省望城县黄金乡(28°16'24" N, 112°49'24" E, 海拔100 m)。试验区1981—2013年的年均降雨量为1 385 mm,年平均气温17℃,年平均无霜期约300 d。供试土壤为第四纪红土发育的水稻土(粉质轻黏土,土壤系统分类名称为普通筒育水耕人为土)。

### 1.2 长期定位施肥试验设计

本研究选择长期定位施肥试验中的3种处理:

不施任何肥料(CK)、施氮磷钾化肥(NPK)和氮磷钾化肥配施稻草(NPKS)。各处理设3次重复,随机区组排列。小区面积为66.7 m<sup>2</sup>,小区间用30 cm宽水泥埂隔开,区组间的排水沟宽度为50 cm,区组间用水泥埂隔开,以避免灌溉水串灌和处理之间的交叉污染。N、P、K化肥品种分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾。在1981—2013年期间,氮肥按早稻150 kg hm<sup>-2</sup>和晚稻180 kg hm<sup>-2</sup>施入;磷肥按早稻、晚稻各38.7 kg hm<sup>-2</sup>施入;钾肥按早稻、晚稻各99.6 kg hm<sup>-2</sup>施入;稻草按每年4.2 t hm<sup>-2</sup>(折合养分N 42.8 kg hm<sup>-2</sup>, P 5.6 kg hm<sup>-2</sup>和K 109.2 kg hm<sup>-2</sup>)施入。稻草在耕田时撒施,并混入土壤。磷肥、钾肥全部做基肥于插秧前一天施入。70%的氮肥于插秧前一天做基肥施入,余下30%在分蘖期做追肥施入。

供试水稻品种:早稻为常规水稻品种,晚稻为常规水稻品种或杂交水稻组合。早稻于4月底移栽,7月中旬收获;晚稻于7月中下旬移栽,10月下旬收获。移栽前秧苗生长期为30~35 d,常规稻每穴栽4~5株秧苗,杂交稻每穴栽1~2株秧苗,株行距20 cm×20 cm。晚稻收获后冬闲。其他田间管理措施与当地农民的大田管理相同。1981—2013年每年早稻和晚稻成熟期对长期定位施肥试验每个小区进行测产,小区单打单晒,分别称重测产。

### 1.3 盆栽试验设计

盆栽试验在湖南省农业科学院盆栽试验场进行。2011年晚稻收获后采集长期定位试验CK、NPK和NPKS三种处理的耕层土壤(0~15 cm)用于基本理化性状的测定。土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾含量采用常规分析法测定<sup>[10]</sup>。盆栽试验的土壤基本理化性状见表1。

盆栽试验是在长期施肥处理土壤基础上设置施肥(NPK化肥)和不施肥处理,3次重复。试验采用的陶瓷盆钵高32.0 cm,直径20.0 cm,每盆装土10.0 kg。盆栽土壤均过5 mm筛,混合均匀装盆后,浸水两天使土壤完全湿润后再施基肥。插秧时每盆3穴,水稻品种、农事操作方式和时间与长期定位施肥试验一致。试验采用早稻—晚稻—冬闲模式。2012年早稻和晚稻成熟后每盆钵水稻分别测产。

### 1.4 数据计算与处理

基础地力产量和基础地力贡献率是反映农田基础地力的综合性指标<sup>[11]</sup>。

基础地力产量=当季不施肥处理产量;

表1 不同长期施肥处理土壤的基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of paddy soils under different long-term fertilizer treatments

长期施肥处理 <sup>1)</sup> Long-term fertilizer treatments	有机质 OM (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkalytic N (mg kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total P (g kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	全钾 Total K (g kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Readily available K (mg kg <sup>-1</sup> )
CK	33.14	2.29	115.5	0.51	3.80	13.7	86.5
NPK	36.02	2.46	119.7	1.08	23.65	14.0	105.0
NPKS	38.55	3.02	136.6	1.16	24.35	14.1	136.5

1) CK: 不施任何肥料 No fertilizer application; NPK: 施氮磷钾化肥 N, P and K fertilizer application; NPKS: 氮磷钾化肥配施稻草 N, P and K fertilizer plus rice straw. 下同 The same below

基础地力贡献率 (%) = 当季不施肥处理产量 / 当季施肥处理产量 × 100%;

肥料贡献率 (%) = (当季施肥处理产量 - 当季不施肥处理产量) / 当季施肥处理产量 × 100%。

数据处理及分析采用Microsoft Excel 2003和DPS 7.5等数据处理软件进行。

## 2 结果

### 2.1 长期不同施肥处理对水稻产量的影响

长期定位施肥试验各处理早稻、晚稻产量及年总产量年间变化较大(图1)。从各处理产量随年份变化趋势来看,33年间早稻CK处理产量随试验年限增加呈极显著下降趋势(回归方程为:  $y = -0.0317x + 3.2705$ ,  $R^2 = 0.240^{**}$ ),NPK处理和NPKS处理早稻产量随试验年份增加变化不显著。33年间晚稻CK处理产量随试验年份增加变化不显著,而NPK和NPKS处理晚稻产量随试验年限增加呈极显著增加趋势(回归方程分别为:  $y = 0.0418x + 5.0417$ ,  $R^2 = 0.2562^{**}$ ;  $y = 0.0454x + 5.3483$ ,  $R^2 = 0.2729^{**}$ )。33年CK、NPK和NPKS处理稻谷年总产量总体上随试验年份增加变化均不显著。

33年间所有年份NPK和NPKS处理的早稻、晚稻及年总产量均极显著高于CK处理( $p < 0.01$ )。NPK和NPKS处理33年平均产量也极显著高于CK处理( $p < 0.01$ ),其中,NPK处理早稻、晚稻和年总产量分别较CK处理增产100.7%、67.0%和81.9%,NPKS处理分别较CK处理增产113.8%、77.7%和93.7%。NPKS处理33年平均早稻、晚稻

和年总产量较NPK处理分别增产6.5%、6.4%和6.5%,达到极显著水平( $p < 0.01$ )。试验结果表

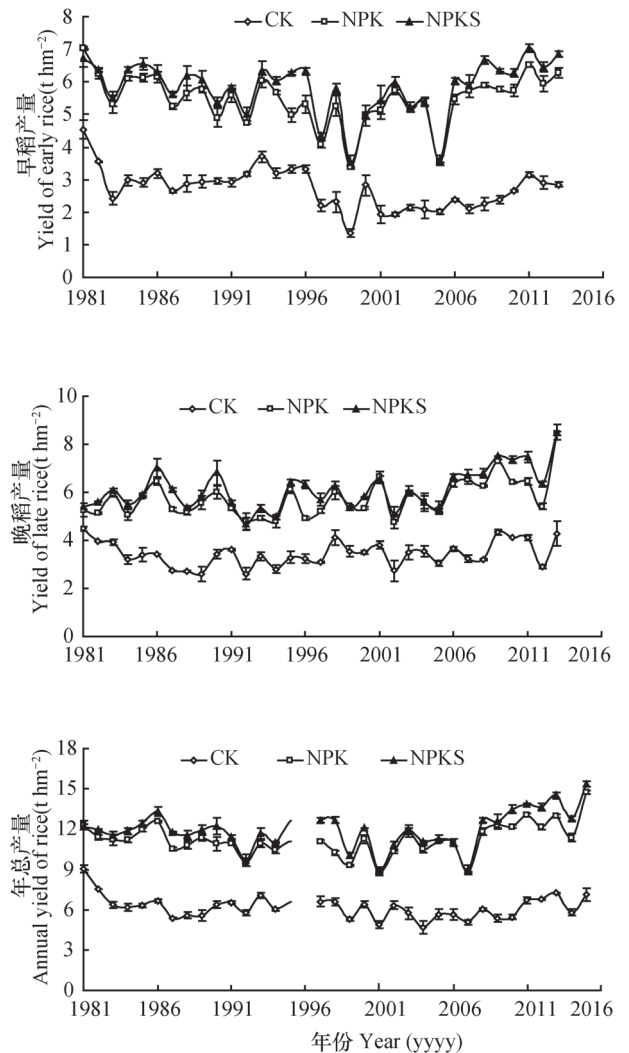


图1 不同施肥处理水稻产量随试验年限的变化

Fig 1 Changes in rice yield with the experiment going on in relation to treatment

明氮磷钾化肥配合施用及化肥氮磷钾与稻草配合施用是维持红壤性稻田持续高产的有效途径。

## 2.2 长期不施肥土壤基础地力产量的演变

长期不施肥处理 (CK) 产量的变化反映了长期不施肥条件下土壤基础地力的变化。由图2可见, 33年长期不施肥土壤早稻基础地力产量 ( $y$ ) 随试验年限 ( $x$ ) 的变化方程表明长期不施肥导致早稻土壤基础地力产量按  $0.0317 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$  的速率下降, 且随试验年限增加达到极显著水平 ( $p < 0.01$ )。

33年长期不施肥土壤晚稻基础地力产量总体上随试验年限增加无显著变化。但进一步分析发现, 试验的前9年不施肥土壤晚稻基础地力产量随试验年限增加呈极显著下降 ( $p < 0.01$ ); 之后的24年不施肥土壤晚稻基础地力产量基本维持稳定。长期不施肥处理的晚稻基础地力产量在试验前期 (前9年) 随年份急剧下降, 之后晚稻基础地力产量即使在不施肥的条件下也基本维持稳定, 说明长期不施肥导致晚稻土壤基础地力产量下降主要发生在试验的前期。

## 2.3 长期不同施肥处理对基础地力产量和施肥产量的影响

基于盆栽试验的长期不同施肥处理对基础地力产量 (不施肥产量) 的影响结果如图3所示, 早稻、晚稻三种长期不同施肥处理的土壤基础地力产量均表现为:  $\text{NPKS} > \text{NPK} > \text{CK}$ , 说明长期氮磷钾肥配合施用或氮磷钾化肥与稻草配施有利于维持或提高土壤基础地力产量, 长期不施肥则会导致土壤基础地力产量降低。经过1981—2011年31年62季水稻种植后, 长期施氮磷钾肥早稻基础地力产量较长期不施肥提高38.5%, 长期氮磷钾肥与稻草配施较长期不施肥提高68.1%; 长期施氮磷钾肥晚稻基础地力产量较长期不施肥提高25.8%, 长期氮磷钾肥与稻草配施较长期不施肥提高49.0%。

长期氮磷钾肥与稻草配施 (NPKS)、长期施氮磷钾肥 (NPK) 和长期不施肥 (CK) 三种不同基础地力土壤上, 施肥或不施肥的早晚稻产量均表现为:  $\text{NPKS} > \text{NPK} > \text{CK}$  (图3)。无论施肥或不施肥, 早晚稻产量均随土壤基础地力的提高而增加, 说明土壤基础地力越高, 作物的高产潜力就越大, 越容易获得高产。施用相同用量肥料对不同基础地力土壤上的早晚稻增产幅度不同。长期定位试验CK处理土壤上施用氮磷钾肥较其基础地力产

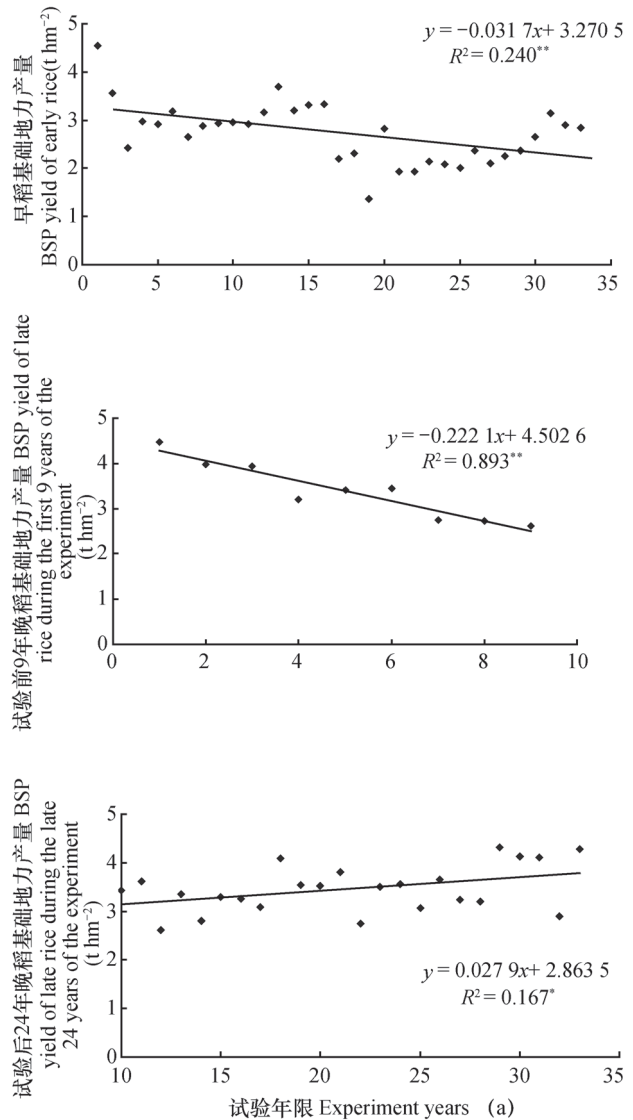


图2 长期不施肥处理早稻、晚稻土壤基础地力产量变化  
Fig 2 Changes in BSP yield of early rice and late rice in CK  
(long-term no fertilization)

量早晚稻分别提高265.3%和139.5%; NPK处理土壤上施用氮磷钾肥较其基础地力产量早晚稻分别提高180.1%和110.7%; NPKS处理土壤上施用氮磷钾肥较其基础地力产量早晚稻分别提高136.6%和89.6%。施肥对基础地力低的土壤的增产幅度大于基础地力高的土壤, 这一现象可能主要与基础地力低的土壤其基础地力产量过低有关。

## 2.4 长期不同施肥处理对基础地力贡献率和肥料贡献率的影响

经过31年62季水稻种植后, 长期不同施肥处理对红壤性水稻土基础地力贡献率的影响有明显差异 (图4)。早稻、晚稻土壤基础地力贡献率均表现为:  $\text{NPKS} > \text{NPK} > \text{CK}$ 。其中, NPK早稻基础地力

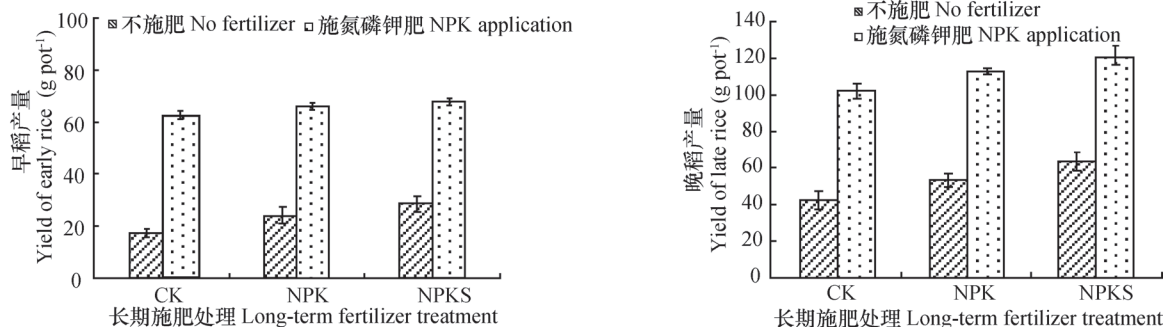


图3 长期不同施肥处理对土壤基础地力产量和施肥产量的影响

Fig 3 Effects of long-term fertilization on rice yield and BSP rice yield

贡献率较CK提高21.4%，NPKS较CK提高54.9%；NPK晚稻基础地力贡献率较CK提高12.8%，NPKS较CK提高22.8%。说明长期氮磷钾肥配施或长期氮磷钾肥配施稻草有利于土壤基础地力贡献率的维持或提高，而长期不施肥则导致土壤基础地力贡献率降低。

分析不同基础地力土壤的肥料贡献率（图4）可知，基础地力越高，早晚稻肥料对产量的贡献率越低。长期定位试验CK处理、NPK处理和NPKS处理土壤的早稻肥料对产量的贡献率分别为72.6%、64.3%和57.7%，晚稻肥料贡献率分别为58.3%、52.5%和47.3%，肥料贡献率均表现为：CK > NPK

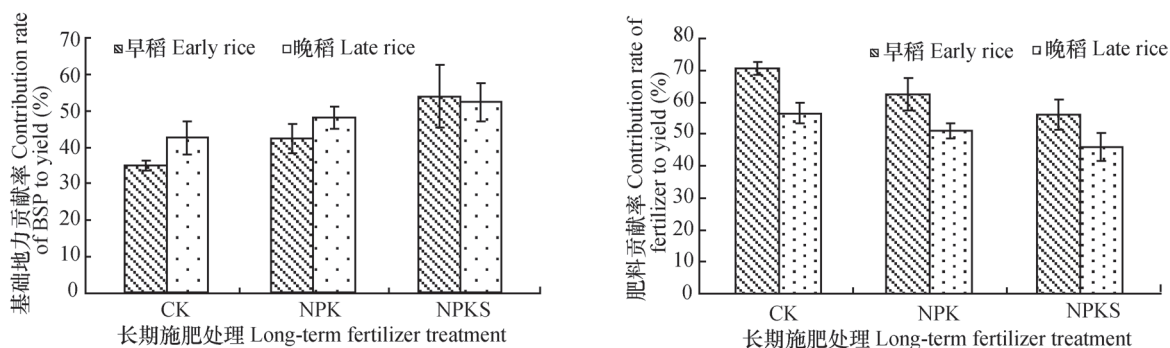


图4 长期不同施肥对土壤基础地力贡献率和肥料贡献率的影响

Fig 4 Effects of long-term fertilization on contribution rate of basic soil productivity and contribution rate of fertilizer to rice yield

> NPKS。

肥料贡献率（ $y$ ）随土壤基础地力产量（ $x$ ）的提高呈极显著（ $p < 0.01$ ）降低，回归方程为 $y = -0.5227x + 80.082$ ， $R^2 = 0.920^{**}$ ，表明提高土壤基础地力可以降低水稻产量对肥料的依赖，从而适当降低肥料施用量。因此，中低产田基础地力的培育和提升不但对保障粮食高产、稳产具有十分重要的意义，同时基础地力的提升还可以适量降低肥料用量，提高肥料利用效率。

### 2.5 双季稻田基础地力的主要影响因素

盆栽试验前土壤养分含量与早晚稻基础地力贡献率的相关性分析（表2）表明，土壤基础地力贡献率随土壤养分含量的增加而提高。其中，土壤

基础地力贡献率与土壤有机质、全氮、速效钾含量的相关性达到极显著水平（ $p < 0.01$ ），与土壤全磷、全钾、碱解氮、有效磷含量的相关性达显著水平（ $p < 0.05$ ）。表明土壤有机质、全氮、速效钾是影响土壤基础地力的主要养分因子，土壤全磷、全钾、碱解氮、有效磷也是影响土壤基础地力的次要养分因子。

## 3 讨论

作物产量是土壤肥力，气候条件及人为管理措施等因素的综合表现<sup>[12]</sup>，其中施肥是保证作物稳产增产的人为管理措施。已有长期定位试验结果表

表2 基础地力贡献率与土壤养分因子关系模型

Table 2 Experiential regression models between contribution rate of basic soil productivity and soil nutrient factors

土壤养分因子 Soil nutrient factors	拟合模型 Fitting model	显著性检验 Significance testing
有机质 OM	$y = 0.3267x + 22.066$	$R^2 = 0.804^{**}$
全氮 Total N	$y = 0.045x + 0.6831$	$R^2 = 0.767^{**}$
碱解氮 Alkalytic N	$y = 1.3055x + 68.661$	$R^2 = 0.753^*$
全磷 Total P	$y = 0.0383x - 0.7052$	$R^2 = 0.644^*$
有效磷 Available P	$y = 1.2028x - 33.677$	$R^2 = 0.586^*$
全钾 Total K	$y = 0.0238x + 12.926$	$R^2 = 0.720^*$
速效钾 Readily available K	$y = 3.0544x - 20.031$	$R^2 = 0.806^{**}$

注: \*\*表示在1%水平相关性显著, \*表示在5%水平相关性显著 Note: \*\* and \* mean significant at the 1% and 5% level, respectively

明长期施用化肥能使禾谷类作物持续高产<sup>[13]</sup>, 而有机无机肥长期配合施用更是作物稳产高产的可持续施肥模式<sup>[14]</sup>。李忠芳等<sup>[15]</sup>通过对我国21个长期定位试验的数据分析发现, 施NPK肥或NPK肥配施有机肥水稻产量较不施肥分别提高60%和75%, 有机无机肥配施的水稻产量较NPK处理也有所提高。本研究的结果也表明在定位试验的33年间所有年份NPK处理和NPKS处理的早稻、晚稻及年总产量均极显著高于CK处理 ( $p < 0.01$ ), 说明长期氮磷钾肥配合施用和氮磷钾化肥配施稻草有利于双季稻产量的提高。这主要可能是由于长期氮磷钾肥配施稻草兼顾了化肥施用有利于速效养分的供应、利用稻草有利于改善土壤理化性质和持续养分供应的优势, 二者产生叠加效应。这一结果进一步证明氮磷钾与稻草长期配合施用是维持南方红壤性稻田持续高产的有效途径。

长期不同施肥模式下作物产量的变化趋势一直以来受到许多研究者的关注<sup>[16]</sup>。对于长期不同施肥模式下水稻产量变化趋势存在不同的研究结果。有研究结果表明, 长期不施肥水稻产量随年限增加变化不大, 施NPK化肥作物产量呈下降趋势, 化肥配施有机肥能维持早晚稻产量稳定<sup>[17]</sup>或随时间无显著变化<sup>[15, 18]</sup>。在本研究中, 早稻CK处理产量随试验年限增加呈极显著下降 ( $p < 0.01$ ), NPK处理和NPKS处理随试验年份增加变化不显著, 而晚稻CK产量随试验年限增加变化不显著, NPK处理和NPKS处理晚稻产量呈极显著增加

( $p < 0.01$ )。

不施肥的作物产量是土壤基础地力和环境的综合表现, 在一定环境中不施肥产量可以反映土壤基础地力状况<sup>[19]</sup>。长期不施肥会导致土壤基础地力下降<sup>[20-21]</sup>, 有研究表明稻麦轮作19年不施肥的稻麦产量下降  $1462 \text{ kg hm}^{-2}$ , 基础地力贡献率下降  $15.6\%$ <sup>[21]</sup>。本试验早稻33年不施肥的产量随年限增加呈极显著下降, 这一结果说明长期不施肥导致红壤性水稻土基础地力下降, 主要是由于长期不施肥种植水稻过程中, 土壤养分不断被带走, 使养分处于长期消耗状态。晚稻33年总体上变化不显著, 然而, 分时段分析发现试验前9年晚稻不施肥处理产量随年限增加急剧下降, 之后基础地力产量基本维持稳定。这一结果说明长期不施肥晚稻土壤基础地力产量主要在试验前期下降, 当土壤基础地力产量下降到一定程度后会维持在较为稳定的水平。其原因可能与灌溉水带入的养分有一定关系。该试验点地处长沙市望城县城郊, 灌溉水中的养分对不施肥处理土壤养分的补充可能起一定的作用。因此, 城市化发展所导致农田生态环境变化可能也是今后长期定位试验研究需要关注的问题之一。

农田基础地力对于作物稳产高产有着重要作用, 长期不同施肥模式对农田基础地力有着重要影响。适当比例的秸秆与化肥配施对于农田地力提升有显著效果<sup>[22]</sup>。采用裂区法在砂姜黑土原有长期施肥小区上新增不施肥处理发现, 有机肥与化肥配施处理的基础地力产量 (当季不施肥时的产量)



高于单施化肥的基础地力产量<sup>[8]</sup>。利用作物生长 DSSAT (decision support system for agro-technology transfer) 模型模拟结果也表明有机肥或秸秆与化肥配施能有效提升农田基础地力<sup>[23]</sup>。本研究的盆栽试验结果也表明长期不同施肥模式下的土壤基础地力存在显著差异,与长期不施肥土壤相比,长期施肥的土壤基础地力产量、基础地力贡献率均显著提高,而长期氮磷钾肥配施稻草提高土壤基础地力产量的效果更为显著。这证明有机无机肥长期配施是维持或提高土壤基础地力的重要措施。

作物产量的构成按养分来源可分为基础地力产量和施肥产量<sup>[24]</sup>。基础地力高的土壤农作物获得高产的潜力较大,基础地力低的土壤只有在较高施肥水平下才能获得较高的产量<sup>[4, 25]</sup>,在本研究中,早晚稻产量均随土壤基础地力的提高而增加,说明土壤基础地力对水稻生长有“水涨船高”效应。因此,为了保障粮食稳产高产,应重视中低产田基础地力的培育和提升。本研究结果还表明肥料贡献率与基础地力产量呈极显著负相关,这说明土壤基础地力的提高有利于降低作物对肥料的依赖。

土壤基础地力是农田土壤基本素质和内在地力要素的外在反映,土壤养分对土壤基础地力具有重要影响。但是有关基础地力贡献率与土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾等土壤养分因子的相关关系不同研究者的研究结果有所不同。前人研究结果表明,夏熟作物的基础地力与土壤有机质、速效磷呈极显著相关,秋熟喜钾作物地力贡献率与土壤有机质、速效磷、速效钾呈极显著相关<sup>[25]</sup>;南方冬小麦地力贡献率与土壤速效磷呈正相关,北方冬小麦地力贡献率主要受土壤有机质的影响,地力贡献率和基础产量与土壤全氮相关性不显著<sup>[26]</sup>;水稻土基础地力起主导作用的是土壤有机质<sup>[27]</sup>。本试验结果表明土壤有机质、全氮、速效钾是影响双季稻田基础地力的主要养分因子,土壤全磷、全钾、碱解氮、有效磷也是影响土壤基础地力的重要养分因子。该结果与前人研究结果的差异原因是由于区域、作物种类或是其他原因造成还有待于进一步研究。

本文利用长期定位并采集长期不同施肥处理土壤开展盆栽试验,将长期不同施肥模式土壤作为一个整体研究土壤基础地力,使水稻产量随基础地力“水涨船高”效应现象变得直观和容易理解,规避了土壤基础地力变化的复杂化学行为,探讨了三种

施肥模式下土壤基础地力变化特征、土壤基础地力和肥料贡献率与产量和施肥量之间的变化关系,可以预测肥料施入后土壤基础地力的变化和不同基础地力土壤供给作物养分的本质特征。本文仅就三种施肥模式对水稻产量、土壤基础地力和肥料贡献率等的影响进行了初步探讨,对于促进南方双季稻区科学合理培肥具有一定的现实意义。但对33年三种施肥模式下土壤基础地力的动态变化机制,基础地力定向培育与合理施肥量的关系、土壤基础地力构成的土壤养分有效性时间长短或稳定性等均有待今后进一步研究。

## 4 结 论

长期不同施肥对南方双季水稻产量具有显著影响,长期施用氮磷钾肥或氮磷钾肥配施稻草有利于双季水稻产量的提高,尤其是长期氮磷钾肥配施稻草的增产效果更为明显。长期不施肥处理土壤早稻基础地力产量随试验年限推移呈极显著下降趋势,晚稻基础地力下降主要发在试验前9年,之后基本维持稳定。长期施用氮磷钾肥或氮磷钾肥配施稻草有利于土壤基础地力的提升,尤其是长期氮磷钾肥配施稻草。无论施肥或不施肥,早晚稻产量均随土壤基础地力提高而增加,且施用相同用量肥料基础地力低的土壤的增产幅度大于基础地力高的土壤。肥料对水稻产量贡献率随基础地力产量提高而极显著降低。在南方双季稻生产实践中,化肥与稻草配施不仅有利于水稻产量的稳产高产,还可培育和提升土壤基础地力,是南方水稻种植区一种较好的施肥模式。

## 参 考 文 献

- [1] Peng S, Tang Q, Zou Y. Current status and challenges of rice production in China. *Plant Production Science*, 2009, 12: 3—8
- [2] 曾希柏, 张佳宝, 魏朝富, 等. 中国低产田状况及改良策略. *土壤学报*, 2014, 51(4): 675—682. Zeng X B, Zhang J B, Wei C F, et al. The status and reclamation strategy of low-yield fields in China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(4): 675—682
- [3] 杨军, 陈新平, 张福锁, 等. 应用长期定位试验研究化肥施用的能量效率. *中国农业大学学报*, 2003, 8(3): 31—36. Yang J, Chen X P, Zhang

- F S, et al. Effect of mineral fertilizer application on energy efficiency in a long-term field experiment (In Chinese). *Journal of China Agricultural University*, 2003, 8 (3): 31—36
- [ 4 ] 张军, 张洪程, 段祥茂, 等. 地力与施氮量对超级稻产量、品质及氮素利用率的影响. *作物学报*, 2011, 37 (11): 2020—2029. Zhang J, Zhang H C, Duan X M, et al. Effects of soil fertility and nitrogen application rates on super rice yield, quality, and nitrogen use efficiency (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37 (11): 2020—2029
- [ 5 ] 付贡飞. 长期施肥条件下潮土区冬小麦-夏玉米农田基础地力的演变规律分析. 北京: 中国农业科学院, 2013. Fu G F. The basic soil productivity change under long-term fertilizations in winter wheat and summer maize cropping system in Fluvo-aquic soil area (In Chinese). Beijing: The Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013
- [ 6 ] 王飞, 林诚, 李清华, 等. 长期不同施肥方式对南方黄泥田水稻产量及基础地力贡献率的影响. *福建农业学报*, 2010, 25 (5): 631—635. Wang F, Lin C, Li Q H, et al. Effects of long-term fertilization on rice yield and contribution rate of basic soil productivity on the yellow paddy of southern China (In Chinese). *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 25 (5): 631—635
- [ 7 ] 李实焯, 王胜佳. 稻田多熟制中的地力贡献. *土壤通报*, 1988, 19 (4): 145—147. Li S Y, Wang S J. Soil fertility contribution of multiple cropping system in paddy field (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 1988, 19 (4): 145—147
- [ 8 ] 曹承富, 孔令聪, 张存岭, 等. 施肥对砂姜黑土基础肥力及强筋小麦产量、品质的影响. *中国生态农业学报*, 2008, 16 (5): 1073—1077. Cao C F, Kong L C, Zhang C L, et al. Effect of fertilization on soil fertility, wheat yield and quality in Shajiang black soil (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16 (5): 1073—1077
- [ 9 ] Zha Y, Wu X P, He X H, et al. Basic soil productivity of spring maize in black soil under long-term fertilization based on DSSAT model. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13 (3): 577—587
- [ 10 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. Lu R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [ 11 ] 汤勇华, 黄耀. 中国大陆主要粮食作物地力贡献率和基础产量的空间分布特征. *农业环境科学学报*, 2009, 28 (5): 1070—1078. Tang Y H, Huang Y. Spatial distribution characteristics of percentage of soil fertility contribution and its associated basic crop yield in mainland China (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28 (5): 1070—1078
- [ 12 ] 孙永健, 杨志远, 孙园园, 等. 成都平原两熟区水氮管理模式与磷钾肥配施对杂交稻冈优725产量及品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20 (1): 17—28. Sun Y J, Yang Z Y, Sun Y Y, et al. Effects of water-nitrogen management patterns and phosphorus and potassium fertilizer combined application on grain yield and quality of hybrid rice Gangyou 725 in rapeseed (wheat)-rice planting area of Chengdu plain (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20 (1): 17—28
- [ 13 ] 沈善敏. 长期土壤肥力试验的科学价值. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1 (1): 1—9. Shen S M. The scientific value of long-term soil fertility experiment (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1995, 1 (1): 1—9
- [ 14 ] 廖育林, 郑圣先, 聂军, 等. 长期施用化肥和稻草对红壤水稻土肥力和生产力持续性的影响. *中国农业科学*, 2009, 42 (10): 3541—3550. Liao Y L, Zheng S X, Nie J, et al. Effects of long-term application of fertilizer and rice straw on soil fertility and sustainability of a reddish paddy soil productivity (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42 (10): 3541—3550
- [ 15 ] 李忠芳, 徐明岗, 张会民, 等. 长期施肥下中国主要粮食作物产量的变化. *中国农业科学*, 2009, 42 (7): 2407—2414. Li Z F, Xu M G, Zhang H M, et al. Grain yield trends of different food crops under long-term fertilization in China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42 (7): 2407—2414
- [ 16 ] 黄欠如, 胡峰, 李辉信, 等. 红壤性水稻土施肥的产量效应及与气候、地力的关系. *土壤学报*, 2006, 43 (6): 926—933. Huang Q R, Hu F, Li H X, et al. Crop yield response to fertilization and its relations with climate and soil fertility in red paddy soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43 (6): 926—933
- [ 17 ] 王珊珊, 黄庆海, 徐明岗, 等. 长期不同施肥条件下红壤性水稻土双季稻氮肥回收率的变化特征. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19 (2): 297—303. Wang S N, Huang Q H, Xu M G, et al. The inter-annual characteristics of nitrogen recovery efficiency of double cropping rice system on paddy soil under long-term fertilization (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19 (2): 297—303
- [ 18 ] 黄晶, 高菊生, 张杨珠, 等. 长期不同施肥下水稻产量及土壤有机质和氮素养分的变化特征. *应用生态学报*,

- 2013, 24 (7): 1889—1894. Huang J, Gao J S, Zhang Y Z, et al. Change characteristics of rice yield and soil organic matter and nitrogen contents under various long-term fertilization regimes (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24 (7): 1889—1894
- [19] 李忠芳, 徐明岗, 张会民, 等. 长期施肥条件下我国南方双季稻产量的变化趋势. *作物学报*, 2013, 39 (5): 943—949. Li Z F, Xu M G, Zhang H M, et al. Yield trends of double-cropping rice under long-term fertilizations in southern China (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39 (5): 943—949
- [20] 杨延龄, 鲁玉石, 钱锦铭, 等. 平原多熟制高产稻田地力贡献特点及其培肥技术. *浙江农业科学*, 1995 (3): 134—137. Yang Y L, Lu Y S, Qian J M, et al. Characteristic of high yielding paddy soil fertility contribution and technology of fertility improving under multiple cropping regimens in plain terrain (In Chinese). *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 1995 (3): 134—137
- [21] 叶华斌, 刘芬, 丁伯玲, 等. 简析泰兴市土壤肥力的演变及其对策. *现代农业科技*, 2006 (1S): 74. Ye H B, Liu F, Ding B L, et al. Introduce of the evolution of soil fertility in Taixing City and its countermeasures (In Chinese). *Modern Agricultural Science and Technology*, 2006 (1S): 74
- [22] 郝建成, 刘洪蓬, 曲善功, 等. 德州市秸秆还田对提升耕地地力的研究. *农业科技通讯*, 2012 (10): 94—98. Hao J C, Liu H P, Qu S G, et al. Research on cropland fertility increasing effect of straw amendments in Dezhou City (In Chinese). *Agricultural Science and Technology Communication*, 2012 (10): 94—98
- [23] 贡付飞, 查燕, 武雪萍, 等. 长期不同施肥措施下潮土冬小麦农田基础地力演变分析. *农业工程学报*, 2013, 29 (12): 120—129. Gong F F, Zha Y, Wu X P, et al. Analysis on basic soil productivity change of winter wheat in fluvo-aquic soil under long-term fertilization (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29 (12): 120—129
- [24] 郭熙盛, 张辛未, 叶舒娅. 稻田地力贡献与合理施肥. *安徽农业科学*, 1994, 22 (1): 41—44. Guo X S, Zhang X W, Ye S Y. Study on the contribution of paddy soil fertility and optimum fertilization (In Chinese). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1994, 22 (1): 41—44
- [25] 夏圣益. 土壤基础地力、施肥水平与农作物产量的关系. *上海农业科技*, 1998 (1): 6—8. Xia S Y. Relations of soil basic fertility and fertilizer rate with crop yield (In Chinese). *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 1998 (1): 6—8
- [26] 汤勇华, 黄耀. 中国大陆主要粮食作物地力贡献率及其影响因素的统计分析. *农业环境科学学报*, 2008, 27 (4): 1283—1289. Tang Y H, Huang Y. Statistical analysis of the percentage of soil fertility contribution to grain crop yield and driving factors in mainland China (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27 (4): 1283—1289
- [27] 胡少宜. 漳州市水稻土的地力贡献率初探. *土壤*, 1992, 24 (1): 46—47. Hu S Y. Primary investigation on soil basic fertility contribution of paddy soil in Zhangzhou City (In Chinese). *Soils*, 1992, 24 (1): 46—47

## EFFECT OF LONG-TERM FERTILIZATION ON RICE YIELD AND BASIC SOIL PRODUCTIVITY IN RED PADDY SOIL UNDER DOUBLE-RICE SYSTEM

Lu Yanhong<sup>1, 2</sup> Liao Yulin<sup>1, 2</sup> Zhou Xing<sup>1, 3</sup> Nie Jun<sup>1, 2†</sup> Xie Jian<sup>1, 2</sup> Yang Zengping<sup>1, 2</sup>

(1 Soil and Fertilizer Institute of Hunan Province, Changsha 410125, China)

(2 Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Hunan), Ministry of Agriculture, Changsha 410125, China)

(3 College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract** Improvement of basic soil productivity (BSP) is crucial to reduction of fertilizer application rate and maintenance of stable and high crop yield, while fertilization is a major factor affecting BSP. The study on effects of long-term fertilization on evolution of BSP is of some important theoretical and practical significance to guiding soil building and guaranteeing national food security. A long-term fertilization

experiment coupled with pot experiments was carried out to explore effect of mode of long-term fertilization on yield of double-cropping rice and BSP and to analyze rice yield and fertilizer contribution rate to rice yield in relation to BSP. Results show that long-term chemical fertilizers application (NPK) or long-term chemical fertilizers application combined with rice straw (NPKS) increased rice yield. Compared with CK, NPK increased the grain yield of early rice, late rice and annual yield by 100.7%, 67.0% and 81.9% and NPKS did by 113.8%, 77.7% and 93.7%, respectively. BSP yield of early rice in CK decreased significantly with the experiment going ( $p < 0.01$ ). BSP yield of late rice decreased significantly with the experiment going on in the first nine years ( $p < 0.01$ ) and afterwards it remained stable. Long-term application of NPK and NPKS helps improve BSP. In terms of BSP and BSP contribution rate, the three treatments in the experiment followed an order of NPKS > NPK > CK. Compared with CK, NPK and NPKS increased BSP yield of early rice by 38.5% and 68.1%, and that of late rice by 25.8% and 49.0%, respectively. Compared with CK plot, NPK and NPKS plots were 21.4% and 54.9% higher, respectively, in BSP contribution rate to early rice yield and 12.8% and 22.8% higher, respectively, in BSP contribution rate to early rice yield. Whether fertilizers were applied or not, yields of both early and late rice crops increased with increasing BSP, while contribution rate of fertilizers to grain yield decreased significantly with increasing BSP. Soil organic matter, total nitrogen and readily available potassium are the major factors affecting BSP and soil total phosphorus, total potassium, alkalytic nitrogen and available phosphorus are also important factors affecting BSP. Long-term application of NPK with rice straw not only significantly increased rice yield, but also sustained or increased basic soil productivity (BSP). The findings suggest that combined application of chemical fertilizer with rice straw is a recommended fertilization practice for sustainable rice cultivation in South China.

**Key words** Long-term fertilization; Red paddy soil; Rice yield; Basic soil productivity

(责任编辑: 檀满枝)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Application of reductive soil disinfection to suppress soil-borne pathogens ..... Cai Zucong, Zhang Jinbo, Huang Xinqi, et al. ( 475 )  
 A review of researches on soil cracks and their impacts on preferential flow...Zhang Zhongbin, Peng Xinhua ( 488 )

**Research Articles**

- Characteristics of soil aggregate loss in croplands in the typical black soil region of Northeast China ..... Wen Leilei, Zheng Fenli, Shen Haiou, et al. ( 498 )  
 Construction of an index set for predicting thickness of active layer of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau and for mapping ..... Chen Jike, Zhao Yuguo, Zhao Lin, et al. ( 506 )  
 Variation of mineral composition along the soil chronosequence at the Hailuoguo Glacier foreland of Gongga Mountain ..... Yang Zijiang, Bing Haijian, Zhou Jun, et al. ( 515 )  
 Composition of organic carbon in paddy soil in typical area of Chengdu and its influencing factors ..... Liao Dan, Yu Dongsheng, ZhaoYongcun, et al. ( 526 )  
 Spatio-temporal variation of soil temperature and soil moisture regime in Hebei Province ..... Cao Xianghui, Lei Qiuliang, Long Huaiyu, et al. ( 536 )  
 Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity in a small karst catchment ..... Fu Tonggang, Chen Hongsong, Wang Kelin ( 546 )  
 Transformation between soil water and shallow groundwater in the middle reaches of the Dagu River ..... Yang Yuzheng, Lin Qing, Wang Songlu, et al. ( 556 )  
 Determination of nitrogen and oxygen isotope ratio of nitrate in water with a chemical conversion method ..... Wang Xi, Cao Yacheng, Han Yong, et al. ( 565 )  
 Quantitative research on effects of nitrogen application rate on distribution of photosynthetic carbon in rice-soil system using <sup>13</sup>C pulse labeling technique ..... Liu Ping, Jiang Chunyu, Li Zhongpei ( 574 )  
 Effects of no-tillage ridge-cultivation on soil organic carbon accumulation in ridges and crop yields in paddy fields ..... Ci En, Wang Liange, Ding Changhuan, et al. ( 585 )  
 Residual of applied <sup>15</sup>N fertilizer in soils under long-term different patterns of fertilization and its utilization ..... Zhao Wei, Liang Bin, Zhou Jianbin ( 595 )  
 Effect of long-term fertilization on rice yield and basic soil productivity in red paddy soil under double-rice system ..... Lu Yanhong, Liao Yulin, Zhou Xing, et al. ( 605 )  
 Effects of long-term fertilization on yield variation trend, yield stability and sustainability in the double cropping rice system ..... Ji Jianhua, Hou Hongqian, Liu Yiren, et al. ( 618 )  
 Relationship between exudation of nitrification inhibitor MHPP and plasma membrane proton pump of sorghum root ..... Zhou Jinquan, Zhang Mingchao, Wei Zhijun, et al. ( 527 )  
 Effects of long-term amendment with passivant and zinc fertilizer on cadmium reduction in tobacco growing in a Cd contaminated field ..... Cao Chenliang, Wang Wei, Ma Yibing, et al. ( 635 )  
 Effects of interaction between potassium and humic acid on index of organic potassium salt in flue-cured tobacco ..... Zheng Dongfang, Xu Jiayang, Xu Zicheng, et al. ( 645 )  
 Impacts of replacement of *Pinus* with *Eucalyptus* on soil nutrients and enzyme activities ..... Zhang Kai, Zheng Hua, Chen Falin, et al. ( 653 )  
 Effects of biological soil crusts on soil enzyme activities in desert areas ..... Yang Hangyu, Liu Yanmei, Wang Tingpu ( 663 )  
 Effect of incorporation of crop straw on composition of soil organic matter and enzyme activity in black soil relative to depth and rate of the incorporation ..... Jiao Lina, Li Zhihong, Yin Chengcheng, et al. ( 671 )  
 Effect of *Streptomyces* JD211 promoting growth of rice seedlings and diversity of soil bacteria ..... Wang Shiqiang, Wei Saijin, Yang Taotao, et al. ( 681 )

**Research Notes**

- Quality assessment of oasis soil in the upper reaches of Tarim River based on minimum data set ..... Gong Lu, Zhang Xueni, Ran Qiyang ( 689 )  
 Effect of iron plaque on surface electrochemical properties and short-term N, P and K uptake by rice roots .....Zheng Yunyun, Li Zhongyi, Li Jiuyu, et al. ( 695 )  
 The changes of microbial community structure in red paddy soil under long-term fertilization ..... Xia Xin, Shi Kun, Huang Qianru, et al. ( 705 )  
 Salinization characteristics of afforested coastal saline soil as affected by species of trees used in afforestation ..... Wang Heyun, Li Hongli, Dong Zhi, et al. ( 712 )

**Cover Picture:** Two dimensional and three dimensional images of soil cracks in paddy field ( by Zhang Zhongbin )

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：汪枳生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 3 May, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址:南京市北京东路71号 邮政编码:210008  
电话:025-86881237  
E-mail:actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025-86881237  
E-mail:actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717  
电话:010-64017032  
E-mail:journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010-64017032  
E-mail:journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京399信箱 邮政编码:100044

Foreign China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号:CN 32-1119/P

国内邮发代号:2-560

国外发行代号:BM45

定价:60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

