

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

土壤学报

第五十二卷

第一期

二〇一五年一月

科学出版社



中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第1期

Vol.52 No.1

《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: 汪枏生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948 年创刊)

第 52 卷 第 1 期 2015 年 1 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 1 Jan., 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

Editor-in-Chief Shi Xuezheng

主 管 中 国 科 学 院

Superintended by Chinese Academy of Sciences

主 办 中 国 土 壤 学 会

Sponsored by Soil Science Society of China

承 办 中国科学院南京土壤研究所

Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社

Published by Science Press

地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company

总 发 行 科 学 出 版 社

Distributed by Science Press

地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

电话: 010 - 64017032

Tel: 010 - 64017032

E-mail: journal@mail.sciencep.com

E-mail: journal@mail.sciencep.com

国 外 发 行 中国图书贸易总公司

Foreign China International Book Trading Corporation

地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

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



0 1 >

9 770564 392156

DOI: 10. 11766/trxb201311060519

四川省不同区域水稻氮肥施用效果研究*

张 智^{1,2} 王伟妮^{1,2} 李 昆³ 马红菊³ 苟 曦³ 鲁剑巍^{1,2}
李小坤^{1,2} 丛日环^{1,2†}

(1 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)
(2 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)
(3 农业部成都土壤肥料测试中心, 成都 610041)

摘 要 2005—2009 年, 在四川省不同区域布置水稻氮肥田间试验, 通过研究施氮对水稻生长的影响, 拟明确氮素吸收特征和氮肥利用效率, 为不同区域水稻推荐施氮提供理论依据。结果表明, 施用氮肥能明显提高水稻产量, 成都平原区、川中丘陵区、盆周山区和川西南山地区的增产率分别为 22.4%、33.7%、38.9% 和 33.1%。不同区域间由于地形、气候、土壤肥力等差异较大, 水稻对氮素的吸收利用存在一定的差异, 施用氮肥可使百千克籽粒吸氮量提高 0.19 kg, 当吸氮量为 281.8 kg hm⁻² 时, 川西南山区水稻产量可达 10.0 t hm⁻²。氮肥吸收利用率以成都平原区最低(32.2%), 盆周山区最高(36.7%), 不同区域农学效率平均变幅为 11.5 ~ 14.4 kg kg⁻¹。地形差异是影响四川省不同区域水稻氮肥施用效果的主要因素, 因此根据区域的地形差异合理调整氮肥用量是提高水稻氮肥利用率的有效途径。

关键词 水稻; 氮肥; 产量; 氮肥利用率; 区域差异
中图分类号 S147.5 **文献标识码** A

为了合理施用氮肥, 了解氮肥对水稻生长发育的影响, 人们在氮素对水稻的物质积累、养分吸收特征、肥料利用率、推荐施肥量等方面已进行了大量研究^[1-2]。传统的研究包括不同的施氮量、氮肥运筹模式、土壤类型、品种、气候条件等对施氮效果的影响^[3-4], 近年来, 越来越多的研究从宏观角度系统分析了不同地区作物对氮肥的响应、氮肥利用率的提高途径以及作物养分定量化模型等, 最终的目标都是为实现水稻的高产高效提供指导意见。中国从 70 年代初开始大量施用氮肥, 作物产量不断增加^[5], 据 2005 年彭少兵等^[6]统计, 我国稻田单季氮肥施用量平均为 180 kg hm⁻², 而产量已保持在一个稳定水平。农田过量施肥, 不仅造成肥料利用率低^[7], 而且会引起一系列环境问题^[8]。自 2005 年起, 国家在全国范围内开展测土配方施肥项目, 以推动粮食增产、农民增收和保护生态环境^[9]。四川省是我国水稻主要种植区之一, 但其地形复杂, 多

以丘陵和山地为主, 精准的养分管理是水稻增产的重要保障之一。因此, 比较四川省不同区域的水稻氮素吸收特征和氮肥利用效率, 对于明确氮肥在水稻生产中的区域差异, 系统研究四川省不同区域水稻推荐氮肥下的肥料效应, 以及实现精确的氮肥区域调控和提高养分利用率具有重大意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究选取 2005—2009 年国家测土配方施肥项目在四川省(东经 97°21' ~ 108°33', 北纬 26°03' ~ 34°19')布置的水稻田田间试验 292 个(表 1)。因该省地貌复杂, 土壤类型多样, 本文将四川省划分为四个水稻种植区域(图 1), 分别为成都平原区(Chengdu Plain, CP)、川中丘陵区(Hilly region of Central Sichuan, HCS)、盆周山区(Mountainous area

* 国家测土配方施肥技术项目、公益性行业(农业)科研专项(201103039)和中央高校基本科研业务费专项(2013PY113)资助
† 通讯作者, E-mail: congrh@mail.hzau.edu.cn
作者简介: 张 智(1990—), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 主要从事土壤肥力培育与养分平衡管理方面研究。E-mail: zz2012@webmail.hzau.edu.cn
收稿日期: 2013-11-06; 收到修改稿日期: 2014-01-17

around the Sichuan basin, MAS)(以上三个区域合称为四川盆地)和川西南山地区(Mountainous area of Southwest Sichuan, MSWS),川西北高原区(Plateau of Northwest Sichuan, PNWS)属高原气候区,不适于水稻生长。试验区年平均气温为 14 ℃(盆周山区)~18 ℃(川中丘陵区);年降水量 910 mm(成都平原

区)~1 200 mm(盆周山区);年日照时数 950 h(成都平原区)~2 070 h(川西南山地区)。供试土壤均为水稻土,土壤养分性状如表 2 所示,成都平原区肥力较高,川中丘陵区较为贫瘠。供试的水稻品种为当地生产较广泛的品种,其中主要有川香 9838、冈优 725、Q 优 6 号等。

表 1 四川省不同区域各年份试验样本数
Table 1 Number of samples collected in each region each year

区域 Area	年份 Year					总样本数 Total
	2005	2006	2007	2008	2009	
成都平原区 CP	3	12	19	13	3	50
川中丘陵区 HCS	2	46	44	61	18	171
盆周山区 MAS	4	5	18	16	10	53
川西南山地区 MSWS	—	1	8	5	4	18
四川省 All	9	64	89	95	35	292

注: CP,成都平原区;HCS, 川中丘陵区;MAS,盆周山区;MSWS,川西南山地区。下同 Note: CP,Chengdu Plain; HCS, Hilly region of Central Sichuan; MAS, Mountainous area around the Sichuan basin; MSWS,Mountainous area of Southwest Sichuan. The same below

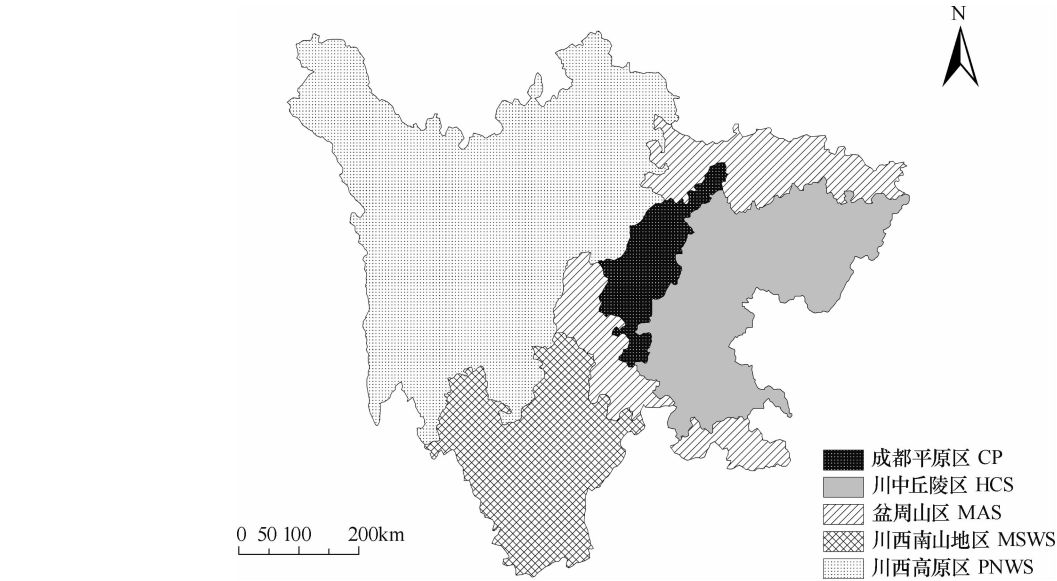


图 1 四川省分区地图
Fig. 1 Regionalization map of Sichuan Province

表 2 四川省不同水稻种植区域土壤基础养分状况
Table 2 Basic Soil properties of the rice growing regions in Sichuan Province

区域 Area	pH	有机质 SOM (g kg ⁻¹)	全氮 TN (g kg ⁻¹)	碱解氮 Alkalytic N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Readily available K (mg kg ⁻¹)
成都平原区 CP	6.5±0.8	31.7±9.5	1.80±0.61	161.7±43.9	24.7±12.3	84.6±40.7
川中丘陵区 HCS	6.7±1.1	22.7±9.7	1.28±0.58	127.4±41.5	13.9±12.0	93.4±32.1
盆周山区 MAS	6.4±1.0	24.9±9.5	1.43±0.49	133.9±68.3	13.0±12.2	82.9±37.6
川西南山地区 MSWS	6.0±0.5	28.8±13.5	1.62±0.66	144.0±54.4	12.7±11.6	108.0±44.2
四川省 All	6.6±1.0	25.1±10.4	1.41±0.60	134.6±50.1	15.6±12.7	90.8±36.0

1.2 试验设计

本研究选取不施氮肥(- N)和施氮肥(+ N)处理,两个处理均施用磷、钾肥。磷肥(P₂O₅)平均用量分别为成都平原区 72 ± 20 kg hm⁻²、川中丘陵区 72 ± 23 kg hm⁻²、盆周山区 72 ± 12 kg hm⁻²、川西南山地区 68 ± 20 kg hm⁻²;钾肥(K₂O)平均用量分别为成都平原区 106 ± 59 kg hm⁻²、川中丘陵区 69 ± 30 kg hm⁻²、盆周山区 73 ± 18 kg hm⁻²、川西南山地区 84 ± 38 kg hm⁻²。氮肥用量如表 3 所示。所用肥料分别为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)和氯化钾(含 K₂O 60%)。氮肥 70% 做基肥,30% 在插秧后 2 ~ 3 周追施,磷、钾肥全部基施,其他田间管理均与当地农民习惯保持一致。

1.3 样品采集与分析

水稻移栽前,各试验点取耕层(0 ~ 20 cm)土壤样品测定基本养分指标,测定方法均采用常规分析方法测定^[10],即土壤有机质采用外加加热重铬酸钾容量法;全氮采用半微量开氏法;碱解氮采用 1.0 mol L⁻¹ NaOH 扩散法;有效磷采用 0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃浸提 - 钼锑抗比色法;速效钾采用 1.0 mol L⁻¹ NH₄OAc 浸提 - 火焰光度法;pH 采用电位法(水土比 2.5:1)。

在水稻成熟期,各小区去边后进行实打实收;取样后分稻谷和稻草分别烘干、磨碎、过筛;植株全氮含量采用 H₂SO₄-H₂O₂消煮,开氏法测定。

1.4 数据处理

有关参数的计算^[11]:
氮肥贡献率(N contribution rate, NCR)(%) = (施氮区产量 - 不施氮区产量)/施氮区产量 × 100;
水稻总吸氮量(Total N absorption, TNA)(kg hm⁻²) = 收获期单位面积地上部干物质重 × 植株含氮量;
百千克籽粒吸氮量(N absorption per 100 kg seeds)(kg) = 植株总吸氮量/稻谷产量 × 100;
氮素收获指数(N harvest index, NHI) = 稻谷吸氮量/植株总吸氮量;
氮素内部利用效率(Internal N use efficiency, IE_N, kg kg⁻¹) = 稻谷产量/植株总吸氮量;
氮肥吸收利用率(N recovery efficiency, RE_N, %) = (施氮区植株总吸氮量 - 不施氮区植株总吸氮量)/施氮量 × 100;

氮肥农学利用率(Agronomic N use efficiency, AE_N, kg kg⁻¹) = (施氮区产量 - 不施氮区产量)/施氮量;

氮肥偏生产力(Partial factor productivity of applied N, PFP_N, kg kg⁻¹) = 施氮区产量/施氮量;

土壤氮素依存率(Soil N dependent rate, SNDR, %) = 不施氮区植株总吸氮量/施氮区植株总吸氮量 × 100。

试验数据采用 Microsoft Excel 2010 软件进行处理,Origin 8.0 软件进行制图和回归分析,SPSS 20.0 软件进行方差分析。

2 结果与讨论

2.1 施氮对水稻产量的影响

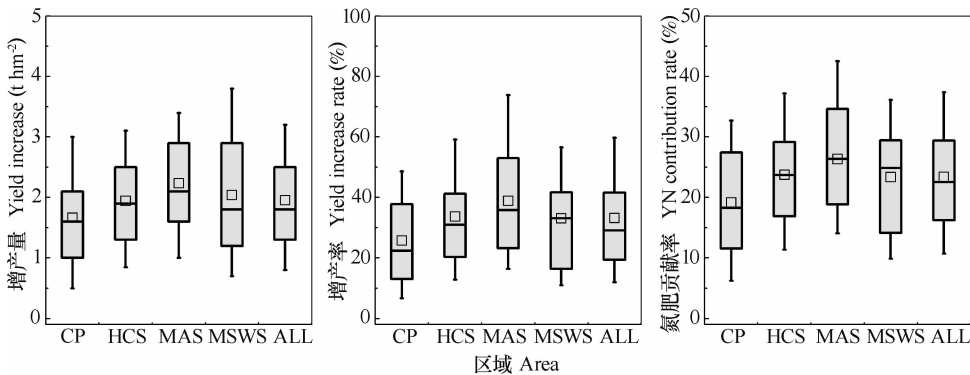
四川省水稻产量(表 3)结果显示,在施磷、钾肥的基础上,不施氮处理稻谷产量平均为 6.4 t hm⁻²,不同区域以成都平原区最高(7.0 t hm⁻²),川中丘陵区 和 盆 周 山 区 最 低 (6.2 t hm⁻²); 秸 秆 生 物 量 表 现 出 相 同 的 趋 势,即成都平原区最高(7.1 t hm⁻²),川中丘陵区最低(6.1 t hm⁻²)。施氮后,各区域稻谷产量和秸秆生物量均明显提高。施氮处理全省稻谷产量平均为 8.3 t hm⁻²,不同区域以成都平原区和川西南山地区最高(8.5 t hm⁻²),川中丘陵区最低(8.2 t hm⁻²);秸秆生物量平均为 8.5 t hm⁻²,不同区域以盆周山区和川西南山地区最高(9.0 t hm⁻²),川中丘陵区最低(8.2 t hm⁻²)。全省收获指数平均在 0.48 ~ 0.51 范围内。

不同区域水稻生长受地形、气候、土壤肥力等多因素的影响,各试验点施氮增产效果差异较大。如图 2 所示,四川省水稻施氮增产量 10% ~ 90% 点位分布为 0.8 ~ 3.2 t hm⁻²,平均增产 2.0 t hm⁻²,不同区域大小依次为盆周山区 > 川西南山地区 > 川中丘陵区 > 成都平原区;增产率 10% ~ 90% 点位分布为 12.1% ~ 59.1%,平均为 33.2%,不同区域大小依次为盆周山区 > 川中丘陵区 > 川西南山地区 > 成都平原区;氮肥贡献率 10% ~ 90% 点位分布为 10.8% ~ 37.2%,平均为 23.3%,不同区域表现的规律与增产率一致。表明氮肥对不同海拔高度的水稻增产效果有明显差异,相对贫瘠的山区增产效果较平原区更明显。

表 3 施氮对水稻产量及收获指数的影响

Table 3 Effects of N application on yields and harvest index (HI) of rice in different regions

区域 Area	处理 Treatment	氮肥用量 N application rate (kg hm ⁻²)	稻谷产量 Grain yield (t hm ⁻²)	秸秆生物量 Straw biomass (t hm ⁻²)	收获指数 HI
成都平原区	- N		7.0 ± 1.1	7.1 ± 1.3	0.50 ± 0.05
CP	+ N	148 ± 27	8.5 ± 1.0	8.9 ± 1.4	0.49 ± 0.03
川中丘陵区	- N		6.2 ± 1.1	6.1 ± 1.1	0.51 ± 0.04
HCS	+ N	144 ± 32	8.2 ± 1.0	8.2 ± 1.2	0.50 ± 0.04
盆周山区	- N		6.2 ± 1.1	6.8 ± 1.2	0.48 ± 0.02
MAS	+ N	159 ± 25	8.3 ± 1.2	9.0 ± 1.3	0.48 ± 0.01
川西南山地区	- N		6.5 ± 1.3	6.8 ± 1.4	0.49 ± 0.02
MSWS	+ N	164 ± 47	8.5 ± 1.5	9.0 ± 1.6	0.49 ± 0.01
四川省	- N		6.4 ± 1.1	6.4 ± 1.3	0.50 ± 0.04
All	+ N	148 ± 32	8.3 ± 1.1	8.5 ± 1.3	0.49 ± 0.03



注:□ 平均值 Mean;I 10%~90% 点位 10~90 percentile;■ 25%~75% 点位 25~75 percentile;
— 中值 Median;

图 2 不同试验区域水稻施氮增产量、增产率和氮肥贡献率分布图

Fig. 2 Distribution of yield increments and yield increase rates of rice applied with N and N contribution rates to yield of rice in different regions

2.2 施氮对水稻氮素吸收的影响

水稻氮素吸收结果如表 4 所示,施用氮肥对水稻籽粒和秸秆含氮量均有明显影响。四川省不施氮处理水稻籽粒含氮量平均为 1.11%, 秸秆含氮量平均为 0.64%, 各区域差异不显著。施氮后,水稻籽粒和秸秆含氮量均有所提高,分别达到 1.20% 和 0.73%。

地上部氮素的累积是以生物量的累积为基础,不同区域施氮均能极显著($p < 0.01$)提高水稻总吸氮量和百千克籽粒吸氮量。四川省不施氮处理水稻总吸氮量平均为 111.6 kg hm⁻²,不同区域表现为成都平原区 > 川西南山地区 > 盆周山区 > 川中丘

陵区,与不施氮处理水稻平均总生物量规律一致。施用氮肥后,四川省水稻总吸氮量可达到 161.3 kg hm⁻²,其中以盆周山区最高(167.4 kg hm⁻²),川中丘陵区最低(158.6 kg hm⁻²)。无论施氮与否,川中丘陵区水稻总吸氮量均是最低,原因可能与该区水稻生长期气温较高导致生育期缩短,物质的累积减少有关^[12]。四川省不施氮处理百千克籽粒吸氮量平均为 1.76 kg,施氮后提高了 0.19 kg,且施氮前后,盆周山区均为最高,成都平原区均最低,说明山区较平原区生产等量的稻谷需氮量更高。水稻氮素收获指数平均主要分布在 0.58~0.65 之间,各区域间无明显差异。

表 4 不同种植区域施氮对水稻氮素吸收的影响

Table 4 Effects of N fertilization on N uptake of rice relative to regions

区域 Area	处理 Treatment	含氮量 N content(%)		总吸氮量	百千克籽粒吸氮量	氮素收获指数 NHI
		籽粒 Grain	秸秆 Straw	Total N absorption	N absorption of	
				(kg hm ⁻²)	100 kg seeds (kg)	
成都平原区	- N	1. 11 ± 0. 12	0. 60 ± 0. 13	119. 9 ± 24. 8B	1. 73 ± 0. 24 B	0. 65 ± 0. 05
CP	+ N	1. 19 ± 0. 14	0. 70 ± 0. 19	163. 1 ± 31. 8A	1. 92 ± 0. 30 A	0. 63 ± 0. 06
川中丘陵区	- N	1. 12 ± 0. 17	0. 64 ± 0. 13	108. 6 ± 23. 9B	1. 75 ± 0. 28 B	0. 64 ± 0. 06
HCS	+ N	1. 20 ± 0. 14	0. 74 ± 0. 15	158. 6 ± 28. 4A	1. 95 ± 0. 28 A	0. 62 ± 0. 06
盆周山区	- N	1. 08 ± 0. 17	0. 66 ± 0. 15	112. 0 ± 30. 0B	1. 81 ± 0. 32 B	0. 60 ± 0. 05
MAS	+ N	1. 20 ± 0. 15	0. 75 ± 0. 19	167. 4 ± 36. 6A	2. 01 ± 0. 34 A	0. 60 ± 0. 05
川西南山地区	- N	1. 02 ± 0. 14	0. 72 ± 0. 24	115. 5 ± 30. 2B	1. 78 ± 0. 34 B	0. 58 ± 0. 09
MSWS	+ N	1. 18 ± 0. 18	0. 73 ± 0. 19	163. 9 ± 32. 5A	1. 95 ± 0. 38 A	0. 61 ± 0. 04
四川省	- N	1. 11 ± 0. 16	0. 64 ± 0. 15	111. 6 ± 25. 9B	1. 76 ± 0. 29 B	0. 63 ± 0. 06
All	+ N	1. 20 ± 0. 14	0. 73 ± 0. 17	161. 3 ± 30. 9A	1. 95 ± 0. 30 A	0. 62 ± 0. 06

注:数值后不同字母表示处理间差异达 1% 极显著水平 Note: Different letters affixed to the data mean significant difference ($p < 0. 01$) in total N uptake between treatments

2.3 水稻总吸氮量与产量的关系

通过一元二次模型拟合水稻总吸氮量和产量的关系(图 3)可见,施氮能同步提高水稻总吸氮量和产量,且二者达到极显著的正相相关关系($p < 0. 01$),根据图中拟合方程可求出,当水稻总吸氮量分别达到 228.1 kg hm⁻²(成都平原区)、282.6 kg hm⁻²(川中丘陵区)、284.5 kg hm⁻²(盆周山区)和 281.8 kg hm⁻²(川西南山地区)时,水稻产量最

高,分别为 9.4 t hm⁻²(成都平原区)、9.8 t hm⁻²(川中丘陵区)、9.8 t hm⁻²(盆周山区)和 10.0 t hm⁻²(川西南山地区),此后吸氮量持续增加,而产量则表现为平缓或略有降低的趋势。结果表明,随着氮素供应的增加,水稻吸氮量增多,氮素不再成为限制养分,其他养分或环境条件^[13]成为水稻生长的主要限制因子。

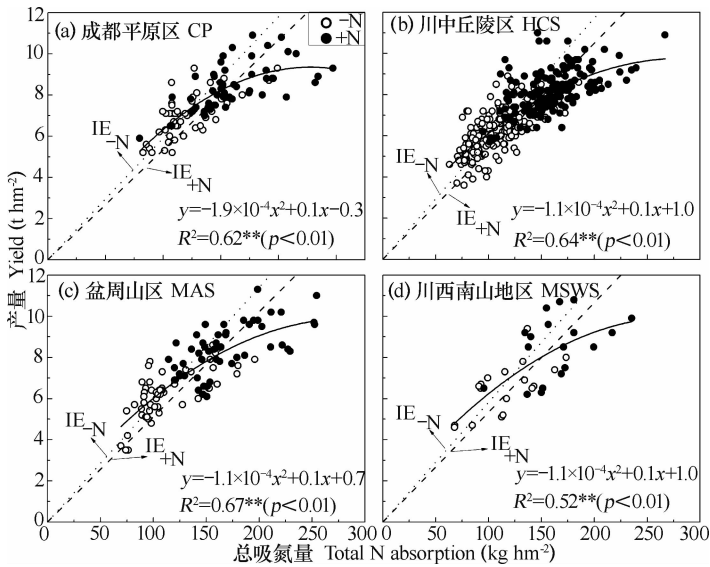


图 3 不同区域水稻总吸氮量与产量的关系

Fig. 3 Relationship between total N absorption and grain yield of rice relative to regions

氮素内部利用效率(IE_N)为稻谷产量与植株吸氮量的比值,如图 4 虚线所示,各区域 IE_N 均值分别为 59.0 kg kg^{-1} (成都平原区)、 58.6 kg kg^{-1} (川中丘陵区)、 57.0 kg kg^{-1} (盆周山区)和 58.2 kg kg^{-1} (川西南山地区)。施氮后,由于氮素的稀释作用, IE_{+N} 均有所降低,分别为 53.3 kg kg^{-1} (成都平原区)、 52.5 kg kg^{-1} (川中丘陵区)、 51.1 kg kg^{-1} (盆周山区)和 53.3 kg kg^{-1} (川西南山地区)。Witt 等^[14]研究发现亚洲水稻不施氮和农民习惯(施氮)处理的 IE_N 分别为 69 和 59 kg kg^{-1} ,其试验主要位于东南亚,为热带气候区,而 Haefele 等^[15]在非洲(热带气候区)的研究得出,不施氮和施氮处理的 IE_N 分别高达 77 和 65 kg kg^{-1} ,故分析不同地区 IE_N 的差异原因可能与气候有关。

2.4 施氮对水稻氮肥利用效率的影响

本研究从氮肥吸收利用率(RE_N)、农学利用率(AE_N)、偏生产力(PPF_N)和土壤氮素依存率(SNDR)4 个效率指标来描述四川省水稻氮肥利用

效率状况。结果显示(表 5),四川省 RE_N 变幅较大,平均为 35.1%,与农业部《中国三大粮食作物肥料利用率研究报告》^[16]中指出的我国水稻氮肥当季平均利用率 35% 相一致。不同区域间平均分布为 32.2%~36.7%,在四川盆地内表现为山区 > 丘陵 > 平原,而川西南山地区的 RE_N 低于四川盆地区域,这可能与其施氮量最高有关。四川省 AE_N 平均为 13.6 kg kg^{-1} ,每施入 1 kg 的氮肥水稻平均可增产 $11.5\sim14.4\text{ kg}$,不同区域 AE_N 总体表现为山区 > 丘陵 > 平原。全省 PPF_N 平均为 57.9 kg kg^{-1} ,不同区域平均分布为 $53.6\sim59.1\text{ kg kg}^{-1}$,盆周山区的 PPF_N 相对较低,这可能与其施氮处理产量不高,且施氮量较高有关。全省 SNDR 平均为 69.0%,不同区域平均分布为 66.0%~72.6%,反映了土壤氮素对水稻氮素吸收的比重较大,在四川盆地内表现为平原 > 丘陵 > 山区,川西南山地区与四川盆地整体水平较为一致。

表 5 不同区域水稻氮肥利用率
Table 5 N recovery rate of rice relative to regions

区域 Area	吸收利用率 RE_N (%)	农学利用率 AE_N (kg kg^{-1})	偏生产力 PPF_N (kg kg^{-1})	土壤氮素依存率 SNDR(%)
成都平原区 CP	32.2 ± 18.4	11.5 ± 6.9	59.1 ± 10.9	72.6 ± 11.3
川中丘陵区 HCS	35.7 ± 16.8	13.9 ± 6.4	58.9 ± 14.3	68.7 ± 12.1
盆周山区 MAS	36.7 ± 15.2	14.0 ± 6.4	53.6 ± 11.3	66.0 ± 10.8
川西南山地区 MSWS	32.7 ± 18.4	14.4 ± 10.0	57.4 ± 23.1	70.6 ± 12.3
四川省 All	35.1 ± 16.9	13.6 ± 6.8	57.9 ± 14.1	69.0 ± 11.9

3 结 论

四川省不同区域施用氮肥水稻产量可达到 $8.2\sim8.5\text{ t hm}^{-2}$,不同区域氮肥施用效果差异明显,增产率表现为盆周山区 > 川中丘陵区 > 川西南山地区 > 成都平原区。通过氮素吸收量与稻谷产量关系可求出,不同区域水稻吸收量达到 228.1 kg hm^{-2} (成都平原区)~ 284.5 kg hm^{-2} (盆周山区)时,水稻产量可达到 9.4 t hm^{-2} (成都平原区)~ 10.0 t hm^{-2} (川西南山地区)。四川省氮肥吸收利用率平均为 35.1%,不同区域表现的规律与增产率一致;农学利用率均值为 13.6 kg kg^{-1} ,不同区域表现为川西南山地区 > 盆周山区 > 川中丘陵区 > 成都平原区。因此,根据地形差异指导氮肥调控是提

高水稻氮肥施用效果的有效途径。

参 考 文 献

[1] Wang W N, Lu J W, Ren T, et al. Evaluating regional mean optimal nitrogen rates in combination with indigenous nitrogen supply for rice production. *Field Crops Research*, 2012, 137: 37—48

[2] 晏娟,尹斌,张绍林,等. 不同施氮量对水稻氮素吸收与分配的影响. *植物营养与肥科学报*, 2008, 14(5): 835—839. Yan J, Yin B, Zhang S L, et al. Effect of nitrogen application rate on nitrogen uptake and distribution in rice (In Chinese). *Plant Nutrition Fertilizer Science*, 2008, 14(5): 835—839

[3] Dobermann A, Witt C, Dawe D, et al. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crops Research*, 2002, 74(1): 37—66

[4] 王伟妮,鲁剑巍,鲁明星,等. 湖北省早、中、晚稻施氮增产效应及氮肥利用率研究. *植物营养与肥科学报*, 2011, 17

(3): 545—553. Wang W N, Lu J W, Lu M X, et al. Effect of nitrogen fertilizer application and nitrogen use efficiency of early, middle and late rice in Hubei Province (In Chinese). *Plant Nutrition Fertilizer Science*, 2011, 17(3): 545—553

[5] 吕殿青, 同延安, 孙本华, 等. 氮肥施用对环境污染影响的研究. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(1): 8—15. Lu D Q, Tong Y A, Sun B H. et al. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution (In Chinese). *Plant Nutrition Fertilizer Science*, 1998, 4(1): 8—15

[6] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略. *中国农业科学*, 2002, 35(9): 1095—1103. Peng S B, Huang J L, Zhong X H, et al. Research strategy in improving fertilizer nitrogen use efficiency of irrigated rice in China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(9): 1095—1103

[7] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. *土壤学报*, 2008, 45(5): 915—924. Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 915—924

[8] Tilman D, Cassman K G, Matson P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 2002, 418: 671—677

[9] 陈新平, 张福锁. 通过“3414”试验建立测土配方施肥技术指标体系. *中国农技推广*, 2006, 22(4): 36—39. Chen X P, Zhang F S. Establishing fertilization recommendation index based on “3414” field experiments (In Chinese). *China Agricultural Technology Extension*, 2006, 22(4): 36—39

[10] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000. Bao

S D. *Soil and agricultural chemical analysis* (In Chinese). Beijing: China Agricultural Press, 2000

[11] Rathke G W, Behrens T, Diepenbrock W. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 117(2): 80—108

[12] 杨沈斌, 申双和, 赵小艳, 等. 气候变化对长江中下游稻区水稻产量的影响. *作物学报*, 2010, 36(9): 1519—1528. Yang S B, Shen S H, Zhao X Y, et al. Impacts of climate changes on rice production in the middle and lower reaches of the Yangtze River (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(9): 1519—1528

[13] Janssen B H, Guiking F C T, van der Eijk D, et al. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma*, 1990, 46(4): 299—318

[14] Witt C, Dobermann A, Abdulrachman S, et al. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. *Field Crops Research*, 1999, 63(2): 113—138

[15] Haefele S M, Wopereis M C S, Ndiaye M K, et al. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. *Field Crops Research*, 2003, 80(1): 19—32

[16] 张福锁. 中国三大粮食作物肥料利用率研究报告. 北京: 农业部全国农业技术推广中心, 2013. Zhang F S. The report of nutrient use efficiencies of three major cereal crops in China (In Chinese). Beijing: National Agricultural Technology Extension Center, Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2013

EFFECTS OF NITROGEN FERTILIZATION ON RICE IN DIFFERENT REGIONS OF SICHUAN PROVINCE

Zhang Zhi^{1,2} Wang Weini^{1,2} Li Kun³ Ma Hongju³ Gou Xi³ Lu Jianwei^{1,2} Li Xiaokun^{1,2} Cong Rihuan^{1,2†}

(1 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(2 Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River), Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China)

(3 Chengdu Testing Center of Soil and Fertilizer, Chengdu 610041, China)

Abstract A total of 292 field experiments were laid out and conducted in different regions of Sichuan Province during the period of 2005 – 2009 to study effect of nitrogen (N) fertilization on rice relative to region, and further to specify features of the crop absorbing N and to lay down scientific basis for recommendation of N fertilization for rice. Results show that N application significantly increased rice yield by 22.4% in the Chengdu Plain (CP), by 33.7% in the hilly region of Central Sichuan (HCS), by 38.9% in the mountainous areas around the Sichuan basin (MAS) and by 33.1% in the mountainous area of Southwest Sichuan (MSWS), which shows that yield response of rice to N application varied with the region due to sharp differences between the regions in landform, climate and soil fertility, and hence in N absorption and utilization rate of the crop. N application increased N absorption per 100 kg grain by 0.19 kg. When N absorption of the crop reached 281.8 kg hm⁻², yield of the crop could be as high as 10.0 t hm⁻² in MSWS. In terms of average N recovery

rate (RE_N) CP was the lowest (32.2%) and MAS the highest (36.7%). Agronomic efficiencies (AE_N) of the regions varied from 11.5 to 14.4 kg kg⁻¹. Difference in landform between the regions is the major factor explaining the difference between the crops in different regions in N recovery rate. The findings of the study suggest that rational recommendation of N fertilization rate in light of landform of a region should be an effective way to improve N use efficiency of rice cultivation in Sichuan Province.

Key words Rice; Nitrogen fertilizer; Yield; Nitrogen use efficiency; Regional difference

(责任编辑:卢 萍)



《土壤学报》2013 年度优秀论文评选揭晓

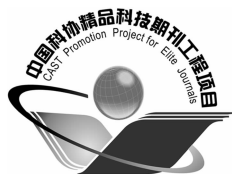
《土壤学报》2013 年度优秀论文评选活动已于近期结束。经本刊编委推荐和评选,共评出优秀论文奖 10 篇,涵盖土壤地理与土壤信息、土壤物理与土壤侵蚀、土壤化学、土壤生物、植物营养、土壤肥力、土壤污染、土壤管理等版块。现将获奖名单公布如下(详见附件),并授予年度优秀论文证书,给予适当奖励。

《土壤学报》编辑部
二〇一四年十二月二日

附件:

《土壤学报》2013 年度优秀论文奖获奖名单(以版块顺序排序)

序号	论文题目	论文作者	第一作者单位	卷期页码
1	土壤发育指标与气候因子的关系及辽西地区古气候重建	王秋兵,崔东,韩春兰,白晨辉,张寅寅,孙仲秀	沈阳农业大学土地与环境学院	50(2):244-252
2	徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析	赵明松,张甘霖,王德彩,李德成,潘贤章,赵玉国	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)	50(1):1-11
3	有限元模拟土壤孔隙对双针热脉冲法测量比热的影响	肖潇,刘刚,李保国	中国农业大学资源与环境学院	50(6):1138-1142
4	长期施肥下我国典型农田耕层土壤的 pH 演变	孟红旗,刘景,徐明岗,吕家珑,周宝库,彭畅,石孝君,黄庆海	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所农业部作物营养与施肥重点开放实验室	50(6):1109-1116
5	一个红壤剖面微生物群落的焦磷酸测序法研究	袁超磊,贺纪正,沈菊培,戴宇,张丽梅	中国科学院生态环境研究中心	50(1):138-149
6	生物有机肥对田间蔬菜根际土壤中病原菌和功能菌组成的影响	张鹏,王小慧,李蕊,冉炜,沈其荣	南京农业大学农业部长江中下游植物营养与施肥重点实验室	50(2):381-387
7	陕西关中灌区冬小麦施肥指标研究	刘芬,同延安,王小英,赵佐平	西北农林科技大学资源环境学院	50(3):556-563
8	中国农田重金属问题的若干思考	曾希柏,徐建明,黄巧云,唐世荣,李永涛,李芳柏,周东美,武志杰	中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所	50(1):186-194
9	氮肥用量对旱地冬小麦产量及夏闲期土壤硝态氮变化的影响	戴健,王朝辉,李强,李孟华,李富翠	农业部西北植物营养与农业环境重点实验室(西北农林科技大学资源环境学院)	50(5):956-965
10	长期施肥对潮土团聚体有机碳分子结构的影响	郭素春,郁红艳,朱雪竹,高彦征,丁维新	南京农业大学资源与环境学院	50(5):922-930



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 1 期 2015 年 1 月

目 次

综述与评论

农业土壤学研究:侯光炯学术思想形成之考察——纪念侯光炯先生诞辰 110 周年..... 申丽娟 丁恩俊 陈绍兰等(1)

土壤多样性研究趋势与未来挑战 任圆圆 张学雷(9)

土壤磷酸盐氧同位素分析方法和应用研究进展 张 晗 王佳妮 郭庆军等(19)

研究论文

土壤制图多等级代表性采样与分层随机采样的对比研究 杨 琳 朱阿兴 张淑杰等(28)

河南省典型淋溶土土系划分研究 鞠 兵 吴克宁 李 玲等(38)

黄土坡面细沟侵蚀发育过程与模拟 吴淑芳 刘政鸿 霍云云等(48)

黄土丘陵区小流域土壤有效水空间变异及其季节性特征 高晓东 吴普特 张宝庆等(57)

科尔沁沙丘-草甸相间地区表土饱和和导水率的土壤传递函数研究 孙 丽 刘廷玺 段利民等(68)

砒砂岩风化物对土壤水分特征曲线及蒸发的影响 张 磊 齐瑞鹏 张应龙等(77)

稳定同位素²⁰²Hg 稀释技术测定土壤汞有效性——与化学提取方法比较 郑顺安 徐志宇 王 飞等(87)

土壤提取液中酰基高丝氨酸内酯的气相色谱-质谱检测方法优化 生弘杰 宋 洋 卞永荣等(95)

复合污染土壤中土霉素的吸附行为及其对土壤重金属解吸影响的研究 陈励科 马婷婷 潘 霞等(104)

污染区千金子和酢浆草根际土壤中 PAHs 结合态残留的梯度分布 王意泽 高彦征 彭安萍等(112)

土壤磷解吸特性对菜稻轮作田间渗漏水总磷浓度的影响 章明清 李 娟 孔庆波(120)

湖区小麦-玉米轮作模式下不同施肥措施调控氮磷养分流失研究 谭德水 江丽华 谭淑樱等(128)

鄱阳湖洲滩湿地土壤-水-植物系统中磷的静态迁移研究 徐 进 徐力刚 丁克强等(138)

菇菜套作对土壤微生物群落的影响 陈 敏 王军涛 冯有智等(145)

黄土高原油松根际土壤酶活性及真菌群落多样性研究——以黄龙山林场为例 褚洪龙 李 莎 唐 明(154)

硅介导番茄青枯病抗性的土壤定量蛋白质组学研究 陈玉婷 林威鹏 范雪滢等(162)

有机无机肥配施对红壤旱地花生生理特性、产量及品质的影响 许小伟 樊剑波 陈 晏等(174)

氮素富集对青藏高原高寒草甸土壤有机碳迁移和累积过程的影响 李林森 程淑兰 方华军等(183)

长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究 何翠翠 王立刚 王迎春等(194)

火烧和保留采伐剩余物对土壤有机碳矿化的影响 吴君君 杨智杰 刘小飞等(203)

研究简报

碳氮稳定同位素检测能力的验证——2013 年实验室间比对分析结果的汇总 曹亚澄 韩 勇 唐昊冶等(212)

土壤厚度的划分标准与案例研究 易 晨 李德成 张甘霖等(220)

积盐条件下土壤酸化过程的特异性研究 王媛华 段增强 赵 宇等(228)

四川省不同区域水稻氮肥施用效果研究 张 智 王伟妮 李 昆等(234)

小叶锦鸡儿灌丛化对退化沙质草地土壤孔隙特征的影响 李宗超 胡 霞(242)

信息

《土壤学报》2013 年度优秀论文评选揭晓 (241)

封面图片:黄土坡面细沟形态发育过程(由吴淑芳提供)

CONTENTS

Reviews and Comments

Agricultural soil science research: Formation of Hou Kuangchun's academic thought—Celebrate 110th anniversary of Mr Hou Kuangchun's birth	Shen Lijuan, Ding Enjun, Chen Shaolan, et al. (8)
Study on pedodiversity: Status quo and future challenges	Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei(17)
Advance in study on method for oxygen isotopic analysis of phosphate in soil and its application	Zhang Han, Wang Jiani, Guo Qingjun, et al. (26)

Research Articles

A comparative study of multi-grade representative sampling and stratified random sampling for soil mapping	Yang Lin, Zhu A-xing, Zhang Shujie, et al. (37)
Classification of Typical Argosols of Henan Province at soil series level of Chinese Soil Taxonomy	Ju Bing, Wu Kening, Li Ling, et al. (47)
Development of rill erosion on loess slope and its simulation	Wu Shufang, Liu Zhenghong, Huo Yunyun, et al. (55)
Spatial variability of available soil moisture and its seasonality in a small watershed in the hilly region of the Loess Plateau	Gao Xiaodong, Wu Pute, Zhang Baoqing, et al. (66)
Prediction of saturated hydraulic conductivity of surface soil in sand-dune-and-meadow interlaced region of Horqin with pedo-transfer functions method	Sun Li, Liu Tingxi, Duan Limin, et al. (75)
Effects of amendment of aeolian sandy soil and loess with soft sandstone on soil water retention curve and evaporation	Zhang Lei, Qi Ruipeng, Zhang Yinglong, et al. (85)
Comparison between stale isotope ²⁰² Hg dilution technique and chemical extraction in determining Hg availability in two typical soils of China	Zheng Shunan, Xu Zhiyu, Wang Fei, et al. (94)
Optimization of determination of N-acyl-homoserine lactones in soil solution with Gas-Chromatography-Mass Spectrometry	Sheng Hongjie, Song Yang, Bian Yongrong, et al. (102)
Sorption behavior of oxytetracycline in complex contaminated soil and its effects on desorption of heavy metals in the soil	Chen Like, Ma Tingting, Pan Xia, et al. (111)
Gradient distribution of bound-PAH residues in different layers of rhizosphere soils of moleplant and wood sorrel growing in polluted regions	Wang Yize, Gao Yanzheng, Peng Anping, et al. (118)
Soil P desorption characteristics and their effects on total P concentration in percolating water in fields under vegetable-rice rotation system	Zhang Mingqing, Li Juan, Kong Qingbo(127)
Effects of fertilization controlling nitrogen and phosphorus loss from farmland under wheat-maize rotation in Nansi Lake region	Tan Deshui, Jiang Lihua, Tan Shuying, et al. (137)
Static transfer of phosphorus in the soil-water-plant system of beach wetlands in Poyang Lake	Xu Jin, Xu Ligang, Ding Keqiang, et al. (144)
Changes in soil microbial community in response to tomato- <i>Agaricus bisporus</i> interplanting	Chen Min, Wang Juntao, Feng Youzhi, et al. (152)
Soil enzyme activity and fungal community diversity in rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Carr. growing on Loess Plateau— A case study of Huanglongshan forest farm	Chu Honglong, Li Sha, Tang Ming(161)
Soil quantitative proteomic analysis of silicon-mediated resistance of tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) to <i>Ralstonia solanacearum</i>	Chen Yuting, Lin Weipeng, Fan Xueying, et al. (172)
Effect of manure combined with chemical fertilizer application on yield, kernel quality and physiological characteristics of peanut to red soil in subtropical China	Xu Xiaowei, Fan Jianbo, Chen Yan, et al. (181)
Effects of nitrogen enrichment on transfer and accumulation of soil organic carbon in alpine meadows on the Qinghai-Tibetan Plateau	Li Linsen, Cheng Shulan, Fang Huajun, et al. (192)
Effect of long-term fertilization on labile organic matter in and carbon pool management index of black soil	He Cuicui, Wang Ligang, Wang Yingchun, et al. (202)
Effect of prescribed burning and reservation of logging residues on soil organic carbon mineralization	Wu Junjun, Yang Zhijie, Liu Xiaofei, et al. (210)

Research Notes

Testing of proficiency for measurement of carbon and nitrogen stable isotopes ...	Cao Yacheng, Han Yong, Tang Haoye, et al. (218)
Criteria for partition of soil thickness and case studies	Yi Chen, Li Decheng, Zhang Ganlin, et al. (227)
Specificity of soil acidification affected by salt accumulation	Wang Aihua, Duan Zengqiang, Zhao Yu, et al. (233)
Effects of nitrogen fertilization on rice in different regions of Sichuan Province	Zhang Zhi, Wang Weini, Li Kun, et al. (240)
Effects of shrub (<i>Caragana microphylla</i> Lam) encroachment on soil porosity of degraded sandy grassland	Li Zongchao, Hu Xia(248)

Cover Picture: Rill morphological development process on loess slope (by Wu Shufang)