

宁运旺, 张 辉, 张永春. 江苏省水稻种植行为的南北差异及其对化肥投入的影响——以苏州、盐城为例[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(3): 533-539.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2018.03.008

## 江苏省水稻种植行为的南北差异及其对化肥投入的影响——以苏州、盐城为例

宁运旺, 张 辉, 张永春

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 为摸清江苏省水稻种植行为的南北差异及其对化肥投入的影响,以苏州市和盐城市为例,以户为单位对2013~2015年的水稻种植规模、品种、插秧方式、有机肥施用量、配方肥使用比例、机械施肥比例、施肥次数、化肥投入数量等进行了实地调查。结果表明,苏州市的规模种植比例、机械插秧比例和机械施肥比例显著高于盐城,而盐城市的人工插秧比例、配方肥使用比例和施肥次数显著高于苏州市。苏州市和盐城市的化肥投入年度间差异不显著,苏州市水稻的氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为(294.4±70.0) kg/hm<sup>2</sup>、(82.7±34.7) kg/hm<sup>2</sup>、(103.7±65.6) kg/hm<sup>2</sup>和(480.7±106.0) kg/hm<sup>2</sup>,氮、磷、钾投入比例为1.00:0.28:0.35(质量比);盐城市水稻氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为(397.1±84.3) kg/hm<sup>2</sup>、(76.6±37.6) kg/hm<sup>2</sup>、(49.8±31.6) kg/hm<sup>2</sup>和(523.4±99.2) kg/hm<sup>2</sup>,氮、磷、钾投入比例为1.00:0.19:0.13(质量比)。苏州市水稻施氮量显著低于盐城市,而施钾量显著高于盐城市。与江苏省水稻推荐施肥量比较,苏州市氮肥和磷肥投入分别超过39.1%和10.3%,盐城市氮肥投入超过54.1%、钾肥投入不足44.7%。施肥次数多是苏州市和盐城市水稻氮肥投入过量的主要原因之一,当苏州市水稻施肥超过3次、盐城市水稻施肥超过4次时,氮肥投入均显著增加。苏州市水稻磷肥投入偏高主要缘起于直播稻比例较高,盐城市水稻钾肥投入偏低主要缘起于规模种植户、配方肥和人工栽秧的比例较高。因此,减少施肥次数应是目前江苏省水稻化肥减施的主要着力点。

**关键词:** 种植行为; 水稻; 化肥投入

中图分类号: S147.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2018)03-0533-07

## North and south difference of rice planting behavior in Jiangsu province and its influences on input of chemical fertilizer: a case study in Suzhou and Yancheng

NING Yun-wang, ZHANG Hui, ZHANG Yong-chun

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Jiangsu), Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** To find out north and south differences of rice planting behavior in Jiangsu province and its influence on chemical fertilizer input, taking Suzhou and Yancheng as example, rice planting scale, varieties, transplanting methods, application

收稿日期: 2017-09-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200805); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(16)1001]

作者简介: 宁运旺(1966-), 男, 安徽望江人, 本科, 研究员, 从事大田作物养分管理与施肥研究。(Tel)025-84390205; (E-mail) ningyunwang460@sina.com

通讯作者: 张永春, (Tel)025-84390242; (E-mail) yczhang1966@sina.com

rate of organic manure, formula fertilizer proportion, mechanical fertilization proportion, fertilizer times and amount of chemical fertilizer were investigated from 2013 to 2015. Results showed that proportion of scale-planting, proportion of mechanical transplanting and proportion of mechanical fertilization in Suzhou were significantly higher than those in Yancheng, however, proportion of rice transplantation by hand, proportion of formula fertilizer and fertilization times in

Yancheng were significantly higher than those in Suzhou. The difference between the annual input of chemical fertilizer in Suzhou and Yancheng was not significant. The pure input amounts of nitrogen, phosphorus, potassium and chemical fertilizer for rice in Suzhou were  $(294.4 \pm 70.0)$  kg/hm<sup>2</sup>,  $(82.7 \pm 34.7)$  kg/hm<sup>2</sup>,  $(103.7 \pm 65.6)$  kg/hm<sup>2</sup> and  $(480.7 \pm 106.0)$  kg/hm<sup>2</sup>, respectively, and the input ratio of nitrogen, phosphorus and potassium was 1.00 : 0.28 : 0.35. The pure input amounts of nitrogen, phosphorus, potassium and chemical fertilizer for rice in Yancheng were  $(397.1 \pm 84.3)$  kg/hm<sup>2</sup>,  $(76.6 \pm 37.6)$  kg/hm<sup>2</sup>,  $(49.8 \pm 31.6)$  kg/hm<sup>2</sup> and  $(523.4 \pm 99.2)$  kg/hm<sup>2</sup>, and the input ratio of nitrogen, phosphorus and potassium was 1.00 : 0.19 : 0.13. Lower rate of nitrogen fertilizer was applied in Suzhou than that in Yancheng, and higher potassium fertilizer was applied in Suzhou than that in Yancheng. Compared to recommended fertilization of rice in Jiangsu, the input of nitrogen and phosphorus in Suzhou were more than 39.1% and 10.3%, respectively. The input of nitrogen fertilizer in Yancheng was over 54.1%, and the input of potassium fertilizer in Yancheng was less than 44.7%. Whether in Suzhou or in Yancheng, more fertilization times was one of the dominant reason for excessive input of nitrogen fertilizer. When fertilization times was more than three in Suzhou or four in Yancheng, amounts of nitrogen fertilizer were apparently increased. Excessive amount of phosphorus fertilizer in Suzhou was mainly derived from a large proportion of direct seedling rice, and deficient amount of potassium fertilizer in Yancheng was mainly derived from a considerable proportion of scale-planting, formula fertilizer and transplantation by hand. It was suggested that reducing fertilization times should be the main focus of reduction of chemical fertilizer in Jiangsu.

**Key words:** planting behavior; rice; chemical fertilizer input

江苏省农业生产以高投入、高产出著称,其化肥投入和粮食单产在国内都名列前茅。据统计年鉴数据,2014年江苏省单位耕地面积化肥投入713 kg/hm<sup>2</sup>,居全国第4位,水稻单产8484 kg/hm<sup>2</sup>,居全国第3位。江苏省化肥投入量过高的问题早就引起一些学者的关注,其造成的环境风险程度也位居全国前列<sup>[1]</sup>。但是,对于江苏省水稻化肥施用量的确切数值,近20年报道差别极大。根据文献报道<sup>[2-10]</sup>,1995-2010年江苏省水稻施氮量实地调查数值均超过320 kg/hm<sup>2</sup>,而农业部门的统计数据则为260~290 kg/hm<sup>2</sup>。近几年来鲜有关于江苏省水稻施氮量的文献报道。由于2005年在全国开展测土配方施肥行动,中国统计年鉴中记录的江苏省氮肥消费总量也从2010年之前的 $1.80 \times 10^6$  t下降至2013年的 $1.65 \times 10^6$  t,据此估计江苏省水稻施氮量在250 kg/hm<sup>2</sup>至300 kg/hm<sup>2</sup>之间。另外,江苏省水稻种植面积较大(超过 $2.0 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>),分布于全省各个区域,而苏南和苏北在经济、文化、土壤、气候和种粮意愿等方面都有明显差异,这些差异是否会对水稻种植习惯产生影响,并进而影响化肥投入,也鲜有相关报道。本研究通过对2013-2015年江苏省苏州市和盐城市水稻施肥现状调查,对江苏省南部和北部地区水稻化肥投入给出相对准确估计,同时对水稻化肥投入的南北差异及影响因素进行分析,以期从事化肥减施研究的同行和相关部门提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查内容

调查内容主要涉及水稻种植,重点在化肥投入。具体指标包括:农户地址、水稻种植规模、品种、籽粒产量、插秧方式(直播、机械插秧、人工插秧、人工抛秧)、是否使用有机肥、是否使用配方肥、是否使用机械施肥、施肥次数、化肥投入数量。

### 1.2 调查方法

以苏州市和盐城市分别作为江苏省南、北代表地级市,从苏州市的9个区县市和盐城市的9个区县中随机选择6个和5个进行调查。每个区县随机选择1~4个乡镇,每个乡镇随机选择2~6个村,每个村随机选择3~15户,以表格问卷形式对2013-2015年的水稻施肥状况进行调查。苏州市共调查6个区县、11个乡镇、24个自然村、145户,获得442份有效调查问卷;盐城市共调查5个区县、12个乡镇、23个自然村、185户,获得555份有效调查问卷。具体样点分布见表1。

### 1.3 数据处理

用SPSS19.0软件分析和处理数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 苏州市、盐城市水稻种植习惯差异

表2列举了苏州市、盐城市与水稻化肥投入相关的6类水稻种植行为及占比,包括种植规模、插秧方

式、品种、肥料结构、施肥方式和施肥次数。可以看出,除直播稻、人工抛秧和有机肥使用外,其他种植行为都有显著差异,具体为规模种植比例,苏州市远高于盐城市;插秧方式,苏州市机械插秧比例明显高于盐城市,而人工栽秧比例明显低于盐城市;肥料结构,苏州市配方肥使用比例明显低于盐城市;施肥方式,

苏州市机械施肥比例明显高于盐城;施肥次数,苏州市93.21%的种植户为3~4次,而盐城市超过4次施肥的比例达27.75%。比较苏州市和盐城市水稻种植行为差异,苏州市水稻种植存在“三多”:规模种植多、机械插秧多、机械施肥多;盐城市水稻种植也存在“三多”:人工栽秧多、配方肥使用多、施肥次数多。

表1 水稻施肥调查样点分布

Table 1 Distribution of sampling points of rice fertilization

地级市	区县	乡镇	自然村	调查户数	调查样本数
苏州	吴江	盛泽镇、汾湖镇	前跃村、星谊村;大潮村、雪巷村	17	37
		张家港	园区镇、杨舍镇	常东村、常西村;南新村、东莱村	49
	太仓	双凤镇、沙溪镇	庆丰村、新闾村;凡山村、项桥村	40	120
	相城	望亭镇、北桥镇	迎湖村、何家角村;石桥村、丰泾村	9	48
	昆山	陆家镇、千灯镇	陈巷村、夏桥村、邹家角村;陶桥村、大潭村、新泾村	10	30
常熟	虞山镇	永红村;三星村	20	60	
	盐城	滨海	滨淮镇、正红镇	新岭村、合新村;仁杰村、大滩村、陈坍村、复兴村、朱集村	36
	响水	南河镇、小尖镇	太平村、薛荡村;毕圩村、朱圩村	40	120
	射阳	四明镇、临海镇	建华村、建中村;盐店村、六垛村	39	117
	建湖	恒济镇、近湖镇	居委会村、建河村;太平村、裕丰村	40	120
	东台	福安镇、安丰镇、五烈镇、梁垛镇	建团村;同明村;谢庄村;梁西村	30	90

表2 苏州市、盐城市的水稻种植行为

Table 2 Rice planting behavior in Suzhou and Yancheng

行为习惯	行为习惯占比(%)			方差分析					
	苏州	盐城	总体	平方和	自由度	F值			
种植规模	3.3 hm <sup>2</sup> 以上的规模种植			84.65	19.02	48.23	108.552	1	772.434***
插秧方式	直播稻			41.40	38.33	39.71	0.229	1	0.955
	机械插秧			58.60	34.44	45.32	14.179	1	60.634***
	人工栽秧			0	26.67	14.66	17.284	1	164.400***
	人工抛秧			0	0.54	0.31	0.008	1	2.464ns
品种	粳稻			98.42	100.00	99.29	0.061	1	8.817**
肥料结构	有机肥			5.43	5.77	5.62	0.003	1	0.092ns
	配方肥			12.22	21.98	17.65	2.346	1	16.372***
施肥方式	机械施肥			7.61	0	3.16	1.336	1	45.645***
施肥次数	2次			2.26	0	1.00	0.073	1	5.690*
	3次			17.19	22.88	20.36	0.784	1	4.981*
	4次			76.02	49.37	61.18	17.473	1	79.276***
	5次			4.52	15.68	10.73	3.059	1	32.924***
	6次			0	12.07	6.72	3.586	1	60.563***

变量赋值:种植规模(规模种植1,分散种植0)、插秧方式(直播稻1、机械插秧2、人工栽秧3、人工抛秧4)、水稻品种(粳稻1,非粳稻0)、肥料结构(有机肥1、化肥0;配方肥1、普通肥0)、施肥方式(机械施肥1、人工撒施0)、施肥次数(2~6)。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在0.05、0.01、0.001水平上差异显著。

## 2.2 苏州市、盐城市水稻化肥投入的总体描述

由表3可见,苏州市水稻氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为(294.4±70.0) kg/hm<sup>2</sup>、(82.7±34.7) kg/hm<sup>2</sup>、(103.7±65.6) kg/hm<sup>2</sup>和(480.7±106.0) kg/hm<sup>2</sup>,氮、磷、钾投入比例为1.00:0.28:0.35(质量比);盐城市水稻氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为(397.1±84.3) kg/hm<sup>2</sup>、(76.6±37.6) kg/hm<sup>2</sup>、(49.8±31.6) kg/hm<sup>2</sup>和(523.4±99.2) kg/hm<sup>2</sup>,氮、磷、钾投入比例为1.00:0.19:0.13(质量比)。根据苏州市和盐城市的水稻平均籽粒产量[分别为(8.57±0.76) t/hm<sup>2</sup>和(9.17±0.90) t/hm<sup>2</sup>],对照江苏

省水稻施肥量推荐[苏州市和盐城市水稻适宜施氮(N)量分别为91.6~211.6 kg/hm<sup>2</sup>和137.7~257.7 kg/hm<sup>2</sup>,适宜施磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)量均为52.5~75.0 kg/hm<sup>2</sup>,适宜施钾(K<sub>2</sub>O)量均为90.0~120.0 kg/hm<sup>2</sup>]<sup>[11-12]</sup>,即使按照最高推荐量,苏州市和盐城市的氮肥投入分别超过39.1%和54.1%,磷肥投入分别超过10.3%和2.1%;而苏州市的钾肥投入量较为合理,盐城市的钾肥投入比推荐下限还不足44.7%。说明在水稻化肥投入量上,苏州市、盐城市均存在过量,但存在的问题不同,苏州氮、磷投入过量,盐城氮严重过量、钾严重不足。

表3 苏州市、盐城市水稻化肥投入的总体描述

Table 3 Overall description of rice chemical fertilizer input in Suzhou and Yancheng

区域	项目	极小值	极大值	平均数	标准差
苏州	籽粒产量(t/hm <sup>2</sup> )	3.00	10.50	8.57	0.76
	氮(N)投入量(kg/hm <sup>2</sup> )	141.5	613.5	294.4	70.0
	磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )投入量(kg/hm <sup>2</sup> )	30.0	168.8	82.7	34.7
	钾(K <sub>2</sub> O)投入量(kg/hm <sup>2</sup> )	30.0	371.3	103.7	65.6
	化肥折纯投入量(kg/hm <sup>2</sup> )	272.3	829.7	480.7	106.0
盐城	籽粒产量(t/hm <sup>2</sup> )	6.75	11.25	9.17	0.90
	氮(N)投入量(kg/hm <sup>2</sup> )	196.5	681.8	397.1	84.3
	磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )投入量(kg/hm <sup>2</sup> )	0	271.5	76.6	37.6
	钾(K <sub>2</sub> O)投入量(kg/hm <sup>2</sup> )	0	140.3	49.8	31.6
	化肥折纯投入量(kg/hm <sup>2</sup> )	310.5	920.0	523.4	99.2

## 2.3 区域和种植行为对水稻化肥投入量的影响

方差分析结果表明,不同种植行为下苏州市和盐城市的水稻氮肥和钾肥投入量均呈显著差异(氮: $F=142.029\sim 440.074$ ,  $P<0.001$ ;钾: $F=6.656\sim 334.996$ ,  $P<0.05\sim 0.001$ )。除是否使用有机肥和配方肥外,在其他种植行为下苏州市和盐城市的水稻磷肥投入量呈显著差异( $F=7.415\sim 58.411$ ,  $P<0.01\sim 0.001$ )。除5次施肥外,在其他种植行为下苏州市和盐城市的水稻化肥折纯投入量也呈显著差异( $F=5.389\sim 89.650$ ,  $P<0.05\sim 0.001$ )。

但同一种种植行为对不同区域化肥投入量的影响有所不同(表4)。在氮肥投入方面,苏州市规模种植显著大于分散种植,不使用有机肥显著大于使用有机肥,而盐城市规模种植和有机肥使用对氮肥投入量没有影响。盐城市直播稻氮肥投入量显著低于非直播稻,而苏州市是否直播稻对氮肥投入没有影响,苏州市3次以下施肥行为的氮肥投入量显著降低,而盐城市则是4次以下施肥行为的氮肥投入量

显著降低,苏州市和盐城市使用配方肥均显著增加氮肥投入量。在磷肥投入量方面,苏州市规模种植显著低于分散种植,非直播稻显著低于直播稻,使用配方肥显著低于不使用配方肥,而盐城市种植规模、是否直播稻和配方肥对磷肥投入没有影响,有机肥使用对苏州市和盐城市的磷肥投入量都无影响。在钾肥投入方面,苏州市和盐城市的规模种植均显著低于分散种植,使用有机肥均显著高于不使用有机肥,使用配方肥均显著低于不使用配方肥,苏州市直播稻钾肥投入量显著高于非直播稻,而盐城市没有差异。在化肥折纯投入量方面,苏州市规模种植显著低于分散种植,而盐城市种植规模对化肥折纯投入量没有影响,苏州市直播稻化肥折纯投入量显著高于非直播稻,使用配方肥显著低于不使用配方肥,而盐城市则相反,盐城市使用有机肥的化肥折纯投入量显著高于不使用有机肥,而苏州市没有差异,苏州市3次以下施肥的化肥折纯投入量显著降低,盐城市4次以下施肥的化肥折纯投入量显著降低。

表 4 不同区域和种植行为的水稻化肥投入量

Table 4 Chemical fertilizer input in rice with different regions and planting behavior

种植行为	样本数		氮(N)投入量 (kg/hm <sup>2</sup> )		磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )投入量 (kg/hm <sup>2</sup> )		钾(K <sub>2</sub> O)投入量 (kg/hm <sup>2</sup> )		化肥折纯投入量 (kg/hm <sup>2</sup> )		
	苏州	盐城	苏州	盐城	苏州	盐城	苏州	盐城	苏州	盐城	
	种植规模	规模种植户	376	105	298.1±74.0a	380.4±63.2a	75.2±29.6b	81.0±41.7a	98.3±66.5b	59.7±21.8b	470.1±108.2b
	分散种植户	63	447	272.0±32.3b	399.2±87.9a	126.9±30.8a	75.3±36.3a	136.2±51.6a	47.1±32.9a	535.1±74.6a	521.6±101.6a
品种	粳稻	435	549	292.5±4.56b	396.8±84.0	82.8±34.8a	76.4±37.5	104.3±66.0a	49.5±31.5	479.4±106.1b	522.6±98.0
	非粳稻	7	0	415.2±68.6a	/	73.2±17.0a	/	73.2±17.0a	/	561.5±65.1a	/
插秧方式	直播稻	183	207	289.5±47.3a	357.9±52.7b	93.3±39.3a	77.4±34.8b	128.4±86.9a	47.1±34.5a	511.4±111.6a	482.4±82.5b
	机械插秧	259	186	297.8±82.4a	382.2±67.2b	75.2±28.8b	74.3±40.4b	86.3±35.9b	56.4±24.5ab	459.2±96.3b	512.9±89.1b
	人工栽秧	0	144	/	469.4±97.4a	/	80.7±34.5b	/	38.1±27.8ab	/	588.2±98.9a
	人工抛秧	0	3	/	363.8±0b	/	147.8±0a	/	78.8±0a	/	590.3±0a
有机肥	使用有机肥	24	32	238.1±73.7b	396.5±63.9a	78.2±30.2a	77.4±61.4a	145.4±12.0a	90.8±38.4a	461.6±101.7a	564.6±68.7a
	不使用有机肥	418	523	297.6±68.7a	397.2±85.5a	83.0±35.0a	76.5±35.7a	101.3±66.6Bb	47.3±29.4b	481.8±106.2a	521.0±100.2b
配方肥	使用配方肥	54	122	320.7±70.1a	440.0±97.2a	62.4±23.1b	71.9±35.0a	63.5±16.4b	28.2±20.1b	446.7±84.5b	539.9±109.5a
	不使用配方肥	388	433	290.7±69.3b	385.1±76.2b	85.5±35.1a	77.9±38.3a	109.4±68.0Aa	55.8±31.7a	485.4±107.9a	518.7±95.7b
施肥方式	械施肥	30	0	294.3±46.7a	/	86.3±20.7a	/	88.5±18.2a	/	468.9±49.4a	/
	人工撒施	364	555	306.8±66.5a	397.1±84.3	84.6±37.1a	76.5±37.7	101.6±70.8a	49.8±31.7	492.8±110.3a	523.5±99.2
施肥次数	2次	10	0	179.7±32.4c	/	69.8±10.8c	/	90.5±22.4b	/	339.9±24.9c	/
	3次	76	127	212.7±22.5c	365.3±51.3c	61.7±9.8bc	64.5±24.3c	102.2±41.1ab	49.5±21.8a	376.5±47.1c	479.4±62.1c
	4次	336	274	313.4±60.3b	370.7±63.2c	75.8±30.2b	75.0±32.9b	103.1±72.2ab	51.0±35.4a	501.3±95.6b	496.7±83.3c
	5次	20	87	352.1±45.5a	441.5±78.9b	132.5±20.4a	84.8±36.3b	132.5±20.4a	50.4±30.9a	617.1±76.7a	576.6±94.4
	6次	0	67	/	508.1±99.9a	/	95.6±62.1a	/	44.1±31.7a	/	647.7±93.9a

同一种植行为下,同列数字后不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

### 2.4 种植行为影响水稻化肥投入量的相关分析

偏相关分析结果(表 5)表明,苏州市水稻氮肥投入量与施肥次数、种植规模、插秧方式和有机肥使用均呈显著正相关,与品种和种植年份呈显著负相关,配方肥使用和机械施肥对苏州市水稻氮肥投入量无显著影响,对苏州市水稻氮肥投入量影响最大的前 3 个种植行为依次是施肥次数、种植规模和水稻品种。苏州市水稻磷肥投入量与施肥次数和有机肥使用均呈显著正相关,与种植规模、插秧方式、配方肥使用和种植年份均呈显著负相关,水稻品种和机械施肥对磷肥投入量均无显著影响,对苏州市水稻磷肥投入量影响最大的前 3 个种植行为依次是种植规模、施肥次数和插秧方式。苏州市水稻钾肥投入量与施肥次数呈显著正相关,与插秧方式、种植规模和配方肥使用呈显著负相关,种植年份、品种、有机肥使用和机械施肥对苏州市水稻钾肥投入量无影响,影响苏州市水稻钾肥投入最大的前 3 个种植行为依次为插秧方式、种植规模和配方肥使用。苏州市水稻化肥折纯投入量与施肥次数和有机肥使用呈

显著正相关,与插秧方式、种植规模、配方肥使用和种植年份呈显著负相关,水稻品种和机械施肥对化肥折纯投入量无影响,影响苏州市水稻化肥折纯投入量的前 3 个种植行为依次为施肥次数、插秧方式和种植规模。

盐城市水稻氮肥投入量与施肥次数、插秧方式和配方肥使用呈显著正相关,种植年份、种植规模和有机肥使用对盐城市水稻氮肥投入量均无显著影响,影响盐城市水稻氮肥投入量的前 3 个种植行为依次为插秧方式、施肥次数和配方肥使用。盐城市水稻磷肥投入量与施肥次数和有机肥使用呈显著正相关,与配方肥使用呈显著负相关,种植年份、种植规模和插秧方式对盐城市水稻磷肥投入量无显著影响,影响盐城市水稻磷肥投入量的前 3 个种植行为依次是施肥次数、有机肥和配方肥使用。盐城市水稻钾肥投入量与有机肥使用、种植规模和种植年份呈显著正相关,与配方肥使用呈显著负相关,插秧方式和施肥次数对盐城市水稻钾肥投入量无显著影响,影响盐城市水稻钾肥投入量的前 3 个种植行为

依次为配方肥使用、有机肥使用和种植规模。盐城市水稻化肥折纯投入量与施肥次数、插秧方式、有机

肥使用、种植年份和配方肥使用均呈显著正相关,种植规模对盐城水稻化肥折纯投入量无显著影响。

表 5 水稻种植行为对化肥投入量影响的偏相关分析

Table 5 Partial correlation analysis of effect of rice planting behavior on fertilizer input

区域	化肥种类	年份	种植规模	品种	插秧方式	有机肥使用	配方肥使用	机械施肥	施肥次数
苏州	氮	-0.120 *	0.227 ***	-0.226 ***	0.188 ***	0.140 **	0.093	-0.053	0.442 ***
	磷	-0.102 *	-0.513 ***	0.043	-0.249 ***	0.154 **	-0.246 ***	0.003	0.352 ***
	钾	-0.045	-0.229 ***	0.054	-0.385 ***	0.057	-0.216 ***	-0.052	0.207 ***
	化肥折纯	-0.136 **	-0.180 ***	-0.089	-0.215 ***	0.174 **	-0.165 **	-0.064	0.520 ***
盐城	氮	0.052	-0.066	/	0.489 ***	-0.024	0.271 ***	/	0.531 ***
	磷	0.070	0.048	/	0.059	0.175 ***	-0.092 *	/	0.247 ***
	钾	0.098 *	0.187 ***	/	-0.083	0.192 ***	-0.369 ***	/	-0.047
	化肥折纯	0.101 *	0.018	/	0.417 ***	0.104 *	0.085 *	/	0.534 ***

变量赋值见表 2 注。\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 0.05、0.01、0.001 水平上差异显著。

### 3 讨论

苏州市和盐城市分别地处长三角洲平原和苏北滨海平原,土壤物理和化学性质均有明显差异<sup>[13]</sup>,直接导致水稻种植习惯有明显差异。盐城市土壤质地偏轻,土壤保水保肥能力较差;苏州市土壤质地黏,土壤保水保肥能力强。在水稻施肥习惯上盐城市的施肥次数就一直高于苏州市。本次调查中,苏州市和盐城市的施肥次数分别为(3.83±0.53)次和(4.17±0.92)次( $F=48.421, P<0.001$ ),而无论是苏州市还是盐城市,施肥次数都与氮肥投入量呈极显著正相关(苏州市 $r=0.602, P<0.001$ ;盐城市 $r=0.532, P<0.001$ )。进一步分析结果显示,当盐城市的水稻施肥超过 4 次、苏州市水稻施肥超过 3 次时,氮肥投入量均显著增加。说明施肥次数过多既是苏州市和盐城市水稻氮肥投入过量的主要原因之一,也是盐城氮肥投入量超过苏州的主要原因之一。

施肥的目的是为了提高产量和经济效益,如果按照氮肥(N)价格 1 kg 4.33 元、水稻籽粒价格 1 kg 2.90 元计算,当投入 1 kg N 增加的水稻籽粒产量不足 1.49 kg 时(即边际产量不足 1.49 kg/kg),施肥行为就不经济。回归分析结果表明,苏州市的施氮量与水稻籽粒产量无典型显著相关( $Y=-0.368N+578.267, F=0.473, P>0.05$ ),其边际产量为负数;而盐城市的施氮量与水稻籽粒产量呈极显著正相关( $Y=1.780N+565.678, F=10.861, P<0.001$ ),其边际产量高于临界值。说明苏州市水稻氮肥投入效果低于盐城市,可能也是导致苏州市氮肥投入量低于盐城

市,水稻籽粒产量也低于盐城市的主要原因之一。

测土配方施肥和有机肥部分替代化肥是化肥减量的 2 条主要技术途径,也是中国政府和相关部门大力推动的重大农业科技措施,但由于受农民年龄、文化程度、家庭收入等影响,测土配方施肥真正应用到田的仅为 15%左右,有的地方还不到 10%<sup>[14]</sup>;有机肥虽然农户使用比例较高<sup>[15]</sup>,但用于水稻田的非常少,甚至几乎不用<sup>[16]</sup>。近年来,随着农业规模化种植比例不断扩大<sup>[17]</sup>,人们对农业新技术包括测土配方施肥和有机肥推广应用抱有更多期待。前人调查指出,新技术的接受程度主要受农户年龄结构和文化程度影响,受种植规模的影响较小<sup>[9-10]</sup>,本次调查的随机样本也显示种植规模和新技术推广无必然联系,苏州市和盐城市的规模种植户比例分别为 84.65%和 19.02%,而采用配方肥的水稻种植户分别为 12.22%和 21.98%,采用有机肥的农户比例分别为 5.43%和 5.77%。另一方面,从本次调查结果看,苏州市规模种植户的氮肥投入量反而显著高于分散种植户,分别为(298.1±74.0) kg/hm<sup>2</sup>和(272.0±32.3) kg/hm<sup>2</sup>,盐城市的规模种植户氮肥投入量则与分散种植户无差异。说明苏州市规模种植户增多反而成为氮肥投入过量的主要原因之一。

事实上,近年来随着测土配方施肥技术的推广,化肥投入不减反增<sup>[18]</sup>。本次调查结果也显示,配方肥的使用既显著增加了苏州地区水稻氮肥投入量,也显著增加了盐城地区水稻氮肥投入量,同时也减少了苏州市和盐城市磷、钾肥投入量。不使用配方肥时,苏州市和盐城市的氮、磷、钾投入比例分别为 1.00 : 0.29 : 0.38

(质量比)和1.00:0.20:0.14(质量比);使用配方肥时,其比例则分别为1.00:0.19:0.20(质量比)和1.00:0.16:0.06(质量比)。鉴于江苏省在推广配方肥的过程中一直强调“控氮、减磷、补钾”,配方肥的使用对苏州市的磷、钾养分有一定调控作用,却反而加剧了盐城市水稻投入养分不平衡。因此,苏州市和盐城市配方肥推广的效果存在明显差异,也可能是造成区域化肥投入差异的原因之一。

人工栽秧是21世纪初及以前江苏省水稻生产上最主要的栽培方式,1998年江苏省人工栽秧面积占水稻种植面积的62%,之后随着人们对轻简栽植方式需求的增加,人工栽秧面积逐渐减少,2012年只占水稻种植面积的23%左右<sup>[19]</sup>。可能与区域社会发展水平有关,本次调查中苏州市没有发现人工栽秧农户,而盐城市的人工栽秧农户比例达到25.9%。调查结果显示,采用人工栽秧的氮肥投入量高达(469.4±97.4) kg/hm<sup>2</sup>,显著高于不采用人工栽秧的氮肥投入量(369.3±60.9) kg/hm<sup>2</sup>。说明人工栽秧也是盐城市水稻氮肥投入量过高的主要原因之一。

苏州市水稻氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为(294.4±70.0) kg/hm<sup>2</sup>、(82.7±34.7) kg/hm<sup>2</sup>、(103.7±65.6) kg/hm<sup>2</sup>和(480.7±106.0) kg/hm<sup>2</sup>,氮、磷、钾投入比例为1.00:0.28:0.35(质量比);盐城市水稻氮、磷、钾和化肥折纯投入量分别为(397.1±84.3) kg/hm<sup>2</sup>、(76.6±37.6) kg/hm<sup>2</sup>、(49.8±31.6) kg/hm<sup>2</sup>和(523.4±99.2) kg/hm<sup>2</sup>,氮、磷、钾投入比例为1.00:0.19:0.13(质量比)。与江苏省水稻推荐施肥量比较,苏州市氮、磷投入量偏高;盐城市氮肥投入量偏高,而钾肥投入量不足。

比较苏州市和盐城市水稻种植行为差异,苏州市水稻种植中存在“三多”:规模种植户多、机械插秧多、机械施肥多;盐城市水稻种植中也存在“三多”:人工栽秧多、配方肥使用多、施肥次数多。施肥次数过多是水稻氮肥投入过量的主要原因之一,当盐城市的水稻施肥超过4次和苏州市水稻施肥超过3次时,氮肥投入量均显著增加。盐城市水稻施肥次数多、氮肥效益高和人工栽秧比例大是其氮肥投入量高于苏州市的主要原因。规模种植对水稻施肥量的影响较小,苏州市规模种植户的氮肥投入量反而显著高于分散种植户。苏州市和盐城市配方肥推广的效果存在明显差异,配方肥的使用对苏州市

的磷、钾养分有一定调控作用,却反而加剧了盐城市水稻投入养分不平衡。

#### 参考文献:

- [1] 刘钦普. 中国化肥投入区域差异及环境风险分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3596-3605.
- [2] 许学宏,戴其根,方瑾. 江苏省水稻施肥现状存在问题及对策[J]. 江苏农业科学, 2000(4): 44-46.
- [3] 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[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1095-1103.
- [4] 刘红江,肖敏,张丽萍,等. 前氮后移对水稻氮素吸收和利用效率的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(3): 550-554.
- [5] 丁震乾,周兴根,孙克新,等. 施氮水平对4个日本梗稻品种(系)产量及蒸煮食味品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 85-88.
- [6] 黄春祥,徐巡军,顾志权,等. 江苏省张家港市水稻施肥现状、存在问题及对策[J]. 江苏农业科学, 2011(1): 90-92.
- [7] 杜森,马常宝,高祥照. 我国水稻施肥现状和特征[J]. 中国农技推广, 2004(3): 50-51.
- [8] 陈风波,丁士军. 水稻投入产出与稻农技术需求——对江苏和湖北的调查[J]. 农业技术经济, 2007(6): 44-50.
- [9] 杨慧. 影响太湖流域农户化肥投入的因素分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [10] 马立珩,张莹,隋标,等. 江苏省水稻过量施肥的影响因素分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2011, 32(2): 48-52.
- [11] 殷广德. 江苏省水稻施肥方案[J]. 农资应用, 2013(9): 44-46.
- [12] 农业部测土配方施肥技术专家组. 2014年春夏季主要作物科学施肥技术[EB/OL]. (2014-05-23)[2017-03-31]. <http://nw.jiangsu.gov.cn/>.
- [13] 廖启林,刘聪,金洋,等. 江苏土壤地球化学分区[J]. 地质学刊, 2011, 35(3): 225-235.
- [14] 苏毅清,王志刚. 农户施用测土配方肥及效果满意度的影响因素[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2014, 15(6): 25-31.
- [15] 杨泳冰,胡浩,王益文. 农户以商品有机肥替代化肥的行为分析[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2012, 13(6): 1-7.
- [16] 陶俊生,徐粉粉,李明华. 农户生态行为的影响因素研究[J]. 江南论坛, 2016(4): 27-29.
- [17] 肖龙锋,张兵. 土地流转与农户内部收入差距扩大[J]. 财经论丛, 2017(9): 10-18.
- [18] 张福锁. 测土配方实施多年,化肥用量为啥还增? [N]. 农民日报, 2011-11-14(2).
- [19] 孙统庆,杨洪建,李杰,等. 江苏省直播稻发展历程回顾[J]. 中国稻米, 2014, 20(6): 5-9.

(责任编辑:张震林)