

# 吉林省中部一季稻区推荐施肥方法研究

刘奕<sup>1</sup>, 王寅<sup>1</sup>, 李春林<sup>1</sup>, 焉莉<sup>1</sup>, 冯国忠<sup>1</sup>, 刘烁然<sup>1</sup>, 高强<sup>1</sup>, 何萍<sup>1,2</sup>

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林省商品粮基地土壤资源可持续利用重点实验室, 长春 130118;

2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

**摘要:** 基于 2013—2016 年在吉林省永吉县、九台区、梨树县和前郭县开展的 40 组田间试验, 通过研究稻谷产量、养分吸收量、肥料利用效率及养分平衡等指标, 比较了测土配方(ST)与 NE 养分专家系统(NE)两种推荐施肥方法在吉林省中部一季稻区的应用效果与适用性。结果表明: 农民习惯施肥(FP)处理稻谷产量平均为 9.17 t/hm<sup>2</sup>, ST(9.21 t/hm<sup>2</sup>)和 NE(9.24 t/hm<sup>2</sup>)处理产量均高于 FP 处理但并无显著差异。氮肥农学利用率以 NE 处理显著高于 FP 处理, 磷肥农学利用率以 ST 处理显著高于 FP、NE 处理, 而钾肥农学利用率无显著差异。FP、ST 和 NE 处理的地上部养分吸收及肥料回收利用率方面均无显著差异。养分表观平衡方面, FP、ST 和 NE 处理的土壤氮素均为盈余, 其中 FP>ST>NE。磷素则为小幅亏缺, 而钾素大幅亏缺。不同区域处理间表现存在差异, 与其他 3 个地区不同, 前郭县 ST 处理的产量、植株养分吸收量及肥料农学利用率总体上低于 NE 处理。综上, ST 和 NE 推荐施肥方法在吉林省中部一季稻区均有减肥、稳产、增效的良好效果, 两种方法在半湿润地区(永吉、九台和梨树)适用性均较好, 而半干旱地区(前郭)以 NE 方法相对较好。

**关键词:** 吉林省; 水稻; 推荐施肥; 产量; 养分吸收; 肥料利用效率

中图分类号: S14-3; S511

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)04-0273-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.04.043

## Study on Recommended Fertilization Method in One-season Rice Area of Central Jilin Province

LIU Yi<sup>1</sup>, WANG Yin<sup>1</sup>, LI Chunlin<sup>1</sup>, YAN Li<sup>1</sup>, FENG Guozhong<sup>1</sup>,

LIU Shuoran<sup>1</sup>, GAO Qiang<sup>1</sup>, HE Ping<sup>1,2</sup>

(1. Jilin Key Laboratory of Sustainable Utilization of Soil Resources in the Commodity Grain Bases,

College of Resources and Environmental Sciences, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. Institute of

Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081)

**Abstract:** Based on 40 field experiments carried out in Yongji, Jiutai, Lishu and QianGuo counties of central Jilin province from 2013 to 2016, the application effects and applicability of two recommended fertilization methods (i. e. soil testing and formulated fertilization (ST), and nutrient expert system (NE)) were compared by investigating grain yield, plant nutrient uptake, fertilizer use efficiency and apparent nutrient balance in one-season rice area. The results showed that the average rice grain yield was 9.17 t/hm<sup>2</sup> in the farmer practice fertilization (FP) treatment, the average grain yield was 9.21 and 9.24 t/hm<sup>2</sup> in ST and NE treatment, respectively, which were higher than that of FP, but there were no significant difference. The agronomic efficiency of nitrogen fertilizer in NE treatment was higher than that in ST treatment, and agronomic efficiency of phosphorus fertilizer in ST treatment was higher than those in FP and NE treatments, while there was no significant difference in agronomic efficiency of potassium fertilizer. Overall, no significant difference was observed in plant nutrient uptake and fertilizer recovery efficiency among the FP, ST and NE treatments. For the apparent balance of nutrients, soil nitrogen in three treatments all showed evident surplus, and the value followed the order of FP>ST>NE, while soil phosphorus and potassium showed

收稿日期: 2018-03-06

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200101)

第一作者: 刘奕(1991—), 女, 硕士研究生, 主要从事作物养分综合管理与施肥研究。E-mail: liuyi9109@163.com

通信作者: 王寅(1986—), 男, 博士, 副教授, 主要从事作物养分管理与施肥研究。E-mail: wy1986410@163.com

何萍(1970—), 女, 博士, 研究员, 主要从事作物养分管理研究。E-mail: heping02@caas.cn

slight and dramatical deficit, respectively. There were differences in the performance between different regions, the grain yield, plant nutrient uptake and fertilizer agronomic efficiency were relatively lower in ST treatment than those in NE treatment in Qianguo county, and this was different from the other three regions. In conclusion, both ST and NE methods showed well application effects on reducing fertilizer rate, maintaining high grain yield and increasing fertilizer use efficiency in the one-season rice area of central Jilin Province. The applicability of two methods were both well in semi-humid region (i. e. Yongji, Jiutai and Lishu), however it was relatively better for NE than ST in semi-arid region (i. e. Qianguo).

**Keywords:** Jilin Province; rice; recommended fertilization; grain yield; nutrient uptake; fertilizer use efficiency

我国是化肥生产和使用大国,化肥对促进我国农业持续增产和国民粮食安全发挥了重要作用<sup>[1]</sup>。但是,由于化肥的不合理使用,我国很多地区出现了增肥不增产、肥料利用率偏低、农业生态污染等一系列问题,极大阻碍了农业可持续发展<sup>[2-4]</sup>。为此,农业部在 2005 年启动了测土配方推荐施肥项目,2015 年则提出了“至 2020 年实现化肥零增长”的战略,推动了我国科学施肥技术的研究与推广。目前,我国常用的推荐施肥方法包括肥料效应法、测土配方施肥法、养分专家系统推荐施肥等<sup>[5]</sup>。其中,测土配方推荐施肥是通过建立土壤养分分级指标,根据作物目标产量的养分需求和田块土壤的有效养分测试值来确定施肥量的一种推荐施肥方法<sup>[6-7]</sup>;而养分专家系统推荐施肥是利用 QUEFTS 模型明确作物的养分内在效率,基于作物产量反应和农学效率之间的关系,综合 4R 原则而进行推荐施肥的方法<sup>[8-9]</sup>。目前,以上两种推荐施肥在我国大田作物上均有较广泛的应用,对优化区域施肥措施、促进节肥增效发挥了重要作用。

吉林省是我国粮食主产省,水稻作为该区域仅次

于玉米的第二大粮食作物,产量水平较高,稻米品质优良,水稻产业在保障省域农业发展、粮食安全及农民增收中发挥了重要作用<sup>[10]</sup>。目前,吉林省农户的水稻养分管理措施还存在很多问题,如施肥普遍过量、施用方式不合理、养分不平衡等<sup>[11-12]</sup>,科学施肥的理念、方法与技术还需进一步研究推广。为此,本研究通过设置多年多点的大田试验,分析比较测土配方推荐施肥与养分专家系统推荐施肥方法在吉林省中部一季稻区的应用效果,明确不同推荐施肥方法在该区域的适用性,为吉林省水稻科学施肥技术应用提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地基本概况

本研究于 2013—2016 年在吉林省中部稻区 4 个地区进行,分别为吉林市永吉县万昌镇( $n=8$ )、长春市九台区兴隆镇( $n=16$ )、四平市梨树县小宽镇( $n=12$ )和松原市前郭县深井子镇( $n=4$ ),共计 40 组试验。各研究地区田间试验的耕层土壤基本理化性质及区域多年平均气候状况见表 1。

表 1 不同研究区域土壤基本理化性质与多年平均气候状况

| 试验点 | 母质   | pH           | 有机质/<br>( $g \cdot kg^{-1}$ ) | 碱解氮/<br>( $mg \cdot kg^{-1}$ ) | 速效磷/<br>( $mg \cdot kg^{-1}$ ) | 速效钾/<br>( $mg \cdot kg^{-1}$ ) | 年均<br>气温/ $^{\circ}C$ | 年均<br>降水量/mm |
|-----|------|--------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------|
| 永吉县 | 草甸黑土 | 6.3(5.8~6.7) | 27.8(26.6~29.0)               | 120.9(78.4~158.2)              | 24.7(17.7~30.8)                | 130.2(86.9~197.3)              | 4.9                   | 697          |
| 九台区 | 草甸黑土 | 6.3(5.8~6.6) | 27.3(22.4~31.2)               | 124.6(83.3~168.5)              | 19.6(16.3~25.6)                | 108.9(75.2~145.0)              | 4.6                   | 573          |
| 梨树县 | 冲积土  | 6.8(6.5~7.2) | 23.9(18.7~25.8)               | 73.5(58.8~88.2)                | 37.9(22.2~50.9)                | 146.4(91.0~179.6)              | 5.8                   | 544          |
| 前郭县 | 草甸碱土 | 8.5(7.8~9.0) | 16.0(14.6~17.2)               | 96.4(66.5~161.0)               | 18.2(10.2~31.3)                | 143.3(118.9~155.9)             | 4.5                   | 471          |

### 1.2 试验设计

所有田间试验均设 6 个施肥处理,包括:农民习惯施肥(FP)、测土配方施肥(ST)、水稻养分专家系统推荐施肥(NE)、NE 推荐施肥基础上不施氮肥(NE-N)、NE 推荐施肥基础上不施磷肥(NE-P)和 NE 推荐施肥基础上不施钾肥(NE-K)。其中,FP 处理水稻的施肥量通过调查试验点周边 10 位农户的施肥情况而确定,ST 处理施肥量是根据土壤养分测试值和目标产量,由当地基层农技人员根据推荐施肥指标进行推荐获得,NE 处理施肥量是通过农户调查采集的土

壤、作物和施肥信息,利用水稻 NE 养分专家系统软件计算获得。各地区 FP、ST 和 NE 处理的水稻氮、磷、钾肥推荐用量见表 2。

所有试验采用的氮、磷、钾肥品种分别为尿素(N 46%)、磷酸二铵(N18%、 $P_2O_5$  46%)、重过磷酸钙( $P_2O_5$  45%)、氯化钾( $K_2O$  60%)。ST 处理的施肥运筹与 FP 处理保持一致,FP 和 ST 处理的氮肥运筹为基肥:分蘖肥:穗肥为 40%:30%:30%,钾肥运筹为基肥:穗肥为 50%:50%。NE 处理则遵循水稻养分专家系统推荐施肥运筹,氮肥分 4 次施用,比 FP 处理增加

一次粒肥,NE处理的氮肥运筹为基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥为30%:30%:20%:20%,钾肥运筹为基肥:穗肥为60%:40%。所有施肥处理的磷肥均作基肥施用。除施肥量和施肥运筹外,田间试验其余管理措施均与当地农户保持一致。

表2 不同地区试验处理的氮磷钾肥施用量

单位:kg/hm<sup>2</sup>

| 试验点 | 处理 | 施肥量          |                               |                  | 较FP处理施肥量变化 |                               |                  |
|-----|----|--------------|-------------------------------|------------------|------------|-------------------------------|------------------|
|     |    | N            | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|     | FP | 190          | 75                            | 75               |            |                               |                  |
| 永吉县 | ST | 186(176~194) | 63(35~75)                     | 76(60~86)        | -4         | -12                           | 1                |
|     | NE | 175(161~194) | 72(61~94)                     | 86(58~107)       | -15        | -3                            | 11               |
|     | FP | 165(146~175) | 74(65~96)                     | 81(60~86)        |            |                               |                  |
| 九台区 | ST | 172(170~175) | 60(45~73)                     | 82(55~97)        | 7          | -14                           | 1                |
|     | NE | 170(154~195) | 70(53~94)                     | 89(63~114)       | 5          | -4                            | 8                |
|     | FP | 200          | 75(70~75)                     | 105              |            |                               |                  |
| 梨树县 | ST | 184(183~185) | 58(35~73)                     | 78(45~90)        | -16        | -17                           | -27              |
|     | NE | 172(154~190) | 67(64~76)                     | 89(65~118)       | -28        | -8                            | -16              |
|     | FP | 202(174~220) | 85(51~120)                    | 89(77~110)       |            |                               |                  |
| 前郭县 | ST | 179(160~185) | 65(55~80)                     | 76(60~90)        | -23        | -20                           | -13              |
|     | NE | 167          | 68                            | 91(86~93)        | -35        | -17                           | 2                |
|     | FP | 184(146~220) | 75(51~120)                    | 88(60~110)       |            |                               |                  |
| 汇总  | ST | 179(160~194) | 60(35~80)                     | 79(45~97)        | -5         | -15                           | -9               |
|     | NE | 172(154~195) | 70(53~94)                     | 88(58~118)       | -12        | -5                            | 0                |

### 1.3 测定项目与方法

试验田整地前采集0—20 cm的土壤样品,采用电位法(水土比2.5:1)测定pH,外加热重铬酸钾容量法测定有机质,1.0 mol/L NaOH扩散法测定碱解氮,0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提—钼蓝比色法测定速效磷,1.0 mol/L NH<sub>4</sub>OAc浸提—火焰光度法测定速效钾<sup>[13]</sup>。

试验地收获前,每个小区按照平均穗数取有代表性的5穴水稻样品进行脱粒考种,样品风干后粉碎后采用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮,凯氏定氮仪测定全氮,钒钼黄比色法测定全磷,火焰光度计测定全钾<sup>[13]</sup>。

试验地收获时,各试验点每个小区单打单收,每个小区均匀划定3个1 m<sup>2</sup>测产区进行测产。稻谷脱粒风干后测定含水量,计算籽粒产量。

相关参数<sup>[14-15]</sup>的计算公式为:

肥料农学利用率(kg/kg)=(施肥处理籽粒产量—不施肥处理籽粒产量)/施肥量

肥料回收利用率(%)=(施肥处理地上部植株养分积累量—不施肥处理地上部植株养分积累量)/施肥量×100%

表观养分平衡(kg/hm<sup>2</sup>)=养分投入量—地上部植株养分积累量

### 1.4 数据处理与统计分析

所有试验数据采用Excel 2016软件进行计算,用SAS 9.2软件进行双因素方差分析,用LSD法比

所有试验的小区面积均设为40 m<sup>2</sup>,永吉县和九台区水稻种植密度为18万株/hm<sup>2</sup>,前郭县和梨树县水稻种植密度为16万株/hm<sup>2</sup>。试验品种均采用当地主流水稻品种,主要为吉农大系列和吉洋系列,各地区均于4月初育苗,5月中下旬移栽,当年9月下旬收获。

较处理间在P=0.05水平上的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对水稻产量的影响

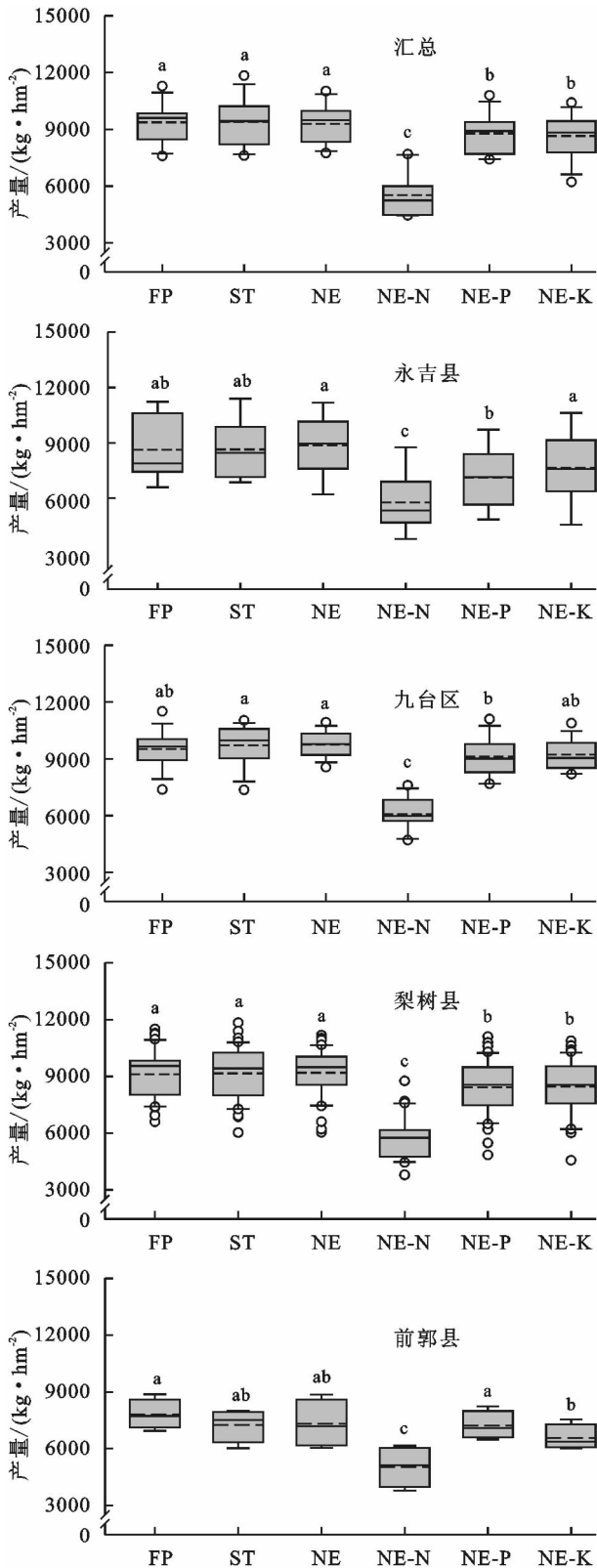
综合40组试验结果显示,FP处理稻谷的平均产量为9.17 t/hm<sup>2</sup>,而ST、NE处理的平均产量分别为9.21,9.24 t/hm<sup>2</sup>,略高于FP处理但无显著差异。缺氮、缺磷、缺钾处理的稻谷产量平均分别为5.74,8.43,8.48 t/hm<sup>2</sup>,缺氮处理显著偏低(图1)。

不同试验地区的水稻产量水平存在差异,以九台区和梨树县较高,其次为永吉县,前郭县则相对较低。与总体表现一致,4个地区ST和NE处理的产量与FP处理均未表现出显著差异。永吉县、梨树县和九台区ST和NE处理的稻谷产量略高于FP处理,而前郭县ST处理的产量整体上则略低于FP处理,产量差平均为0.55 t/hm<sup>2</sup>(7.1%)。

### 2.2 不同施肥处理对水稻养分积累量的影响

从表3可以看出,FP处理水稻地上部植株的氮积累量平均为121.9 kg/hm<sup>2</sup>,磷积累量平均为76.2 kg/hm<sup>2</sup>,钾积累量平均为148.6 kg/hm<sup>2</sup>;ST处理氮积累量平均为N 118.2 kg/hm<sup>2</sup>,磷积累量平均为72.7 kg/hm<sup>2</sup>,钾积累量平均为145.5 kg/hm<sup>2</sup>;NE处理氮积累量平均为117.5 kg/hm<sup>2</sup>,磷积累量平均为76.1 kg/hm<sup>2</sup>,钾积累量平均为149.9 kg/hm<sup>2</sup>。统计结果显示,ST和NE处理植株的氮、磷、钾积累量与FP处理均无显著差异。与施肥处理相比,缺素

处理相应的养分累积量则显著偏低。



注:不同字母表示各处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

图 1 不同试验点各处理的年均产量

不同地区中,植株氮素累积量以前郭县相对较高,永吉县相对较低;磷素累积量以九台区相对较高,而前郭县相对较低;钾素累积量以永吉县明显高于其他 3 个地区。尽管统计上无明显差异,但前郭县 ST 和 NE 处理的植株氮、磷、钾累积量相比 FP 处理均

整体较低。平均来看,前郭县 ST 和 NE 处理的植株氮素累积量相比 FP 处理分别低 20.9(14.5%),22.0 kg/hm<sup>2</sup>(15.3%),磷素累积量分别低 6.5(10.3%),7.5 kg/hm<sup>2</sup>(11.8%),钾素累积量分别低 16.3(10.5%),12.4 kg/hm<sup>2</sup>(8.0%)。

### 2.3 不同施肥处理对水稻肥料利用率的影响

以农学利用率和回收利用率表征不同施肥处理水稻的肥料利用率(表 4)。40 组试验平均来看,FP 处理的氮、磷、钾肥农学利用率分别为 16.5,10.1,7.9 kg/kg,ST 处理分别为 17.4,14.2,8.7 kg/kg,NE 处理分别为 18.2,12.0,7.3 kg/kg。其中,NE 处理的氮肥农学利用率显著高于 FP 处理,ST 处理的磷肥农学利用率显著高于 FP 和 NE 处理,而钾肥农学利用率在处理间差异不显著。4 个地区中,九台区和前郭县不同施肥处理间水稻的氮、磷、钾肥农学利用率无显著差异,而永吉县、梨树县不同处理间水稻的氮、磷肥农学利用率存在差异。其中,两地区水稻氮肥农学利用率均以 NE 处理显著高于 FP 处理,而磷肥农学利用率永吉县以 ST 和 NE 处理均显著高于 FP 处理,梨树县以 ST 处理显著高于 FP 和 NE 处理。

对于水稻的氮、磷、钾肥回收利用率,FP 处理平均分别为 30.6%,15.9%,29.3%,ST 处理分别为 29.0%,16.0%,29.6%,NE 处理分别为 30.1%,17.5%,31.4%,3 个处理之间均无显著差异。与总体表现一致,4 个地区中 FP、ST 和 NE 处理的水稻氮、磷、钾肥回收利用率也均无显著差异。

与其他 3 个地区不同,前郭县 ST 和 NE 处理水稻的肥料利用率相比 FP 处理均有所降低。与 FP 处理相比,前郭县 ST、NE 处理的氮肥农学利用率平均分别低 3.1,0.6 kg/kg,磷肥农学利用率平均分别低 5.6,3.7 kg/kg,钾肥农学利用率平均分别低 9.9,7.9 kg/kg;而 ST、NE 处理的氮肥回收利用率平均分别低 7.7,6.0 个百分点,磷肥回收利用率平均分别低 3.0,5.3 个百分点,钾肥回收利用率平均分别低 17.3,17.1 个百分点。

### 2.4 不同施肥处理对土壤养分表观平衡的影响

土壤养分平衡结果显示(表 4),各施肥处理的土壤氮素总体上均有盈余,其中 NE 处理显著低于 FP 处理,降幅达 13.3%;土壤磷素总体上为小幅亏缺,以 FP 处理显著最少而 ST 处理显著最多;土壤钾素总体上为大幅亏缺,但不同施肥处理之间无显著差异。4 个地区中,除前郭县施肥处理和永吉 FP 处理外,其余地区施肥处理的土壤磷素均为亏缺状况。大多数地区不同施肥处理间土壤养分表观平衡无显著差异,但永吉县土壤氮素盈余以 FP 处理显著高于 NE 处理,九台区土壤磷素亏缺以 ST 处理显著高于

FP处理,梨树县FP处理的土壤氮素盈余相比其他处理显著较高而磷素亏缺则显著较低。

表3 不同试验点水稻各施肥处理对养分积累量的影响

单位:kg/hm<sup>2</sup>

| 养分积累量 | 试验点 | FP           | ST           | NE           | NE-N       | NE-P         | NE-K         |
|-------|-----|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 氮素    | 永吉县 | 108.9±4.2a   | 107.6±7.4a   | 111.0±3.8a   | 67.7±5.2c  | 82.5±7.1bc   | 101.2±9.5a   |
|       | 九台区 | 124.0±5.9a   | 122.5±7.4a   | 121.4±5.0a   | 66.1±3.1b  | 114.1±4.8a   | 117.0±5.1a   |
|       | 梨树县 | 120.5±4.1a   | 118.1±4.8a   | 115.3±3.3ab  | 63.8±5.8d  | 108.0±3.8bc  | 103.6±4.5c   |
|       | 前郭县 | 143.9±10.4a  | 123.0±11.4a  | 122.0±14.7a  | 69.9±8.1b  | 116.8±11.5a  | 117.3±5.1a   |
|       | 汇总  | 121.9±3.2a   | 118.2±3.8a   | 117.5±2.7a   | 66.1±2.4c  | 106.2±3.4b   | 109.8±3.2b   |
| 磷素    | 永吉县 | 70.2±10.7ab  | 67.3±8.2ab   | 72.0±8.0a    | 45.8±9.4c  | 52.4±6.7c    | 59.2±7.9bc   |
|       | 九台区 | 82.0±5.7ab   | 80.5±6.3ab   | 84.8±6.3a    | 48.8±4.0c  | 72.3±3.2b    | 76.7±4.4b    |
|       | 梨树县 | 76.7±5.9a    | 71.3±5.5ab   | 73.9±6.1a    | 41.6±4.3c  | 66.2±4.9b    | 66.0±5.2b    |
|       | 前郭县 | 63.2±7.3a    | 56.7±5.2a    | 55.8±4.5a    | 37.5±4.9c  | 56.1±2.4a    | 42.2±3.4bc   |
|       | 汇总  | 76.2±3.7a    | 72.7±3.5a    | 76.1±3.7a    | 44.9±2.8c  | 64.8±2.6b    | 66.5±3.2b    |
| 钾素    | 永吉县 | 143.2±13.1ab | 155.9±15.0a  | 167.5±13.9a  | 97.0±12.8c | 127.7±14.0b  | 118.3±10.4bc |
|       | 九台区 | 148.6±9.2a   | 145.0±6.0ab  | 145.3±5.9a   | 87.5±5.3c  | 133.8±7.0b   | 131.6±7.0b   |
|       | 梨树县 | 149.8±6.6a   | 141.3±7.6ab  | 146.6±5.7a   | 86.4±6.7d  | 131.6±5.4b   | 120.3±6.6c   |
|       | 前郭县 | 155.3±10.0a  | 139.0±11.0ab | 142.9±16.9ab | 86.9±11.8c | 138.4±18.9ab | 121.2±9.8b   |
|       | 汇总  | 148.6±4.9a   | 145.5±4.5a   | 149.9±4.4a   | 89.0±3.9d  | 132.4±4.5b   | 124.5±4.1c   |

注:数据为平均值±标准差;同行不同小写字母表示各处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

表4 不同试验点水稻各施肥处理的肥料利用率和养分表现平衡

| 试验点 | 处理 | 肥料农学利用率/(kg·kg <sup>-1</sup> ) |                               |                  | 肥料回收利用率/%  |                               |                  | 养分表现平衡/(kg·hm <sup>-2</sup> ) |                               |                  |
|-----|----|--------------------------------|-------------------------------|------------------|------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
|     |    | N                              | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                             | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 永吉县 | FP | 15.0±2.5b                      | 15.3±6.0b                     | 10.2±5.0a        | 21.7±2.7a  | 22.7±7.6a                     | 42.0±14.8a       | 81.1±4.2a                     | 4.8±10.7a                     | -68.2±13.1a      |
|     | ST | 17.6±2.0ab                     | 26.2±7.0a                     | 14.5±4.8a        | 20.6±3.6a  | 23.4±8.1a                     | 52.0±16.2a       | 78.3±8.6ab                    | -4.8±6.6a                     | -79.5±13.7a      |
|     | NE | 18.7±2.4a                      | 22.3±5.9a                     | 11.9±3.9a        | 24.6±3.4a  | 27.6±7.1a                     | 59.1±14.6a       | 64.3±6.0b                     | -0.1±9.5a                     | -81.4±10.5a      |
| 九台区 | FP | 17.7±1.7a                      | 8.4±2.3a                      | 6.2±1.2a         | 35.2±3.6a  | 15.5±3.9a                     | 21.1±4.8a        | 40.9±6.6a                     | -8.2±5.7a                     | -67.8±9.3a       |
|     | ST | 18.1±1.7a                      | 11.6±2.3a                     | 6.3±1.4a         | 32.7±4.6a  | 17.3±4.5a                     | 19.6±4.4a        | 49.4±7.3a                     | -20.7±5.1b                    | -63.3±7.2a       |
|     | NE | 18.4±1.3a                      | 10.5±2.4a                     | 5.3±1.4a         | 32.3±3.3a  | 20.4±4.7a                     | 19.9±5.7a        | 48.8±4.2a                     | -14.5±5.7ab                   | -57.7±8.3a       |
| 梨树县 | FP | 16.4±1.3b                      | 6.7±1.1b                      | 5.8±1.4a         | 28.3±2.8a  | 14.1±2.7a                     | 28.1±5.1a        | 79.5±4.1a                     | -2.1±5.7a                     | -44.8±6.6a       |
|     | ST | 17.9±1.7ab                     | 10.8±2.1a                     | 8.8±2.2a         | 29.6±2.5a  | 12.4±3.5a                     | 30.1±6.9a        | 65.6±4.8b                     | -13.8±3.8b                    | -63.0±10.4a      |
|     | NE | 18.9±1.8a                      | 6.9±1.4ab                     | 6.6±2.0a         | 30.4±3.2a  | 11.2±3.8a                     | 30.8±5.9a        | 57.1±4.5b                     | -6.4±5.6ab                    | -57.9±7.0a       |
| 前郭县 | FP | 15.4±2.8a                      | 16.6±6.5a                     | 16.1±5.1a        | 37.2±7.5a  | 9.3±6.2a                      | 40.7±10.2a       | 58.3±13.1a                    | 22.0±8.6a                     | -66.6±14.3a      |
|     | ST | 12.4±1.6a                      | 11.0±4.7a                     | 6.2±3.3a         | 29.4±6.4a  | 6.3±6.3a                      | 23.4±8.1a        | 55.7±5.9a                     | 8.3±6.6a                      | -62.7±5.3a       |
|     | NE | 14.8±3.1a                      | 12.9±7.4a                     | 8.2±2.2a         | 31.2±10.1a | 4.0±3.0a                      | 23.6±10.7a       | 45.0±14.7a                    | 12.2±4.5a                     | -51.7±15.7a      |
| 汇总  | FP | 16.5±0.9b                      | 10.1±1.7b                     | 7.9±1.4a         | 30.6±2.0a  | 15.9±2.4a                     | 29.3±4.0a        | 62.3±4.3a                     | -0.7±3.8a                     | -60.9±5.3a       |
|     | ST | 17.4±1.0ab                     | 14.2±2.0a                     | 8.7±1.4a         | 29.0±2.2a  | 16.0±2.7a                     | 29.6±4.5a        | 60.7±4.0ab                    | -12.6±3.0c                    | -66.4±5.0a       |
|     | NE | 18.2±0.9a                      | 12.0±0.9b                     | 7.3±1.2a         | 30.1±2.0a  | 17.5±2.8a                     | 31.4±4.7a        | 54.0±2.9b                     | -6.5±3.6b                     | -61.9±4.8a       |

### 3 讨论

应用科学的施肥推荐方法与技术是优化作物养分管理、提高产量和肥料利用率的重要基础。2005年以来,随着测土配方项目的开展相关推荐施肥方法与技术得到了广泛的推广应用,在众多作物上均取得了很好的应用效果,有力推动了我国农业生产的快速发展与养分资源的优化管理。基于测土配方施肥项目水稻田间试验数据,黄琦<sup>[16]</sup>和巩超<sup>[17]</sup>研究明确了吉林省水稻的养分吸收特征和配方施肥效果,显示测土配方推荐施肥相比常规施肥在减少施肥量同时维持了较高的产量水平,并增加了经济效益和肥料利用率。与测土配方推荐施肥相比,尽管NE养分专家系统推荐施肥在国内的研究和应用起步相对较晚,但近年来发展迅速并不断完善,已在很多地区和作物上都

取得了很好的应用效果<sup>[18-20]</sup>,水稻上的初步研究也显示出较好的适用性<sup>[9, 21]</sup>。本研究通过多年多点试验比较了两种推荐施肥方法在吉林省水稻上的应用效果,结果显示,相比FP处理,ST和NE处理在多数试验中均可减少肥料投入,尤其是氮、磷肥的投入,而稻谷产量和养分吸收量仍维持较高水平,因此增加了肥料利用效率,减少了养分流失尤其是降低了土壤氮素盈余。总体来看,NE养分专家系统推荐施肥的效果略好于测土配方推荐施肥。

从县域尺度的表现来看,稻谷产量的差异可能主要是由于不同试验区的气候条件和耕层土壤理化性质不同所致。永吉县、九台区和梨树县属于半湿润地区,年均降雨均在500mm以上,土壤酸碱性适中,有机质含量较高。前郭县属于半干旱地区,降雨相对较

少,降水不足及突发干旱是当地作物生产的限制因素。而且该地区土壤母质为草甸碱土,pH 达到 8.5,有机质含量则偏低,因此土壤的保肥能力和养分供应能力可能相对较差,再加上降水较少可能影响了土壤养分的有效性,因此整体产量水平低于其他 3 个地区。另外,研究发现两种推荐施肥方法在前郭县的应用效果也存在差异,这可能与两种推荐施肥方法依据的原理不同有关。测土配方施肥根据土壤测试结果和养分丰缺指标进行适宜施肥量的推荐,基于化学方法得到的土壤养分测试值受土壤水分等原因的影响,可能并不能反应真实的土壤有效养分状况,因此推荐施肥量可能并不准确。有研究<sup>[22]</sup>表明,土壤碱解氮并不是反应土壤速效氮素的最佳指标,这也可能对推荐施肥结果造成影响。NE 养分专家系统是基于大样本数据计算确定目标产量下的水稻养分需求量,根据区域土壤基础地力、产量反应及养分平衡确定适宜施肥量<sup>[8]</sup>,因此在土壤养分测试值无法真实反映土壤有效养分的情况下效果相对更好。本研究大部分试验中,NE 处理的推荐施氮量明显低于 ST 处理,而磷、钾肥推荐用量则较高,其根据 4R 原则优化了施肥运筹,养分供应量和时期与水稻生育期内的需求更为匹配,因此表现总体上相对更好。

## 4 结论

多年多点试验结果综合显示,测土配方与 NE 养分专家系统两种推荐施肥方法均在减少肥料用量的同时,获得了与农民习惯施肥措施相等甚至更高的稻谷产量,并提高了肥料利用效率,降低了土壤氮素盈余。总体而言,两种推荐施肥方法在半湿润地区(永吉县、九台区和梨树县)的适用性均较好,均达到了减肥、增产、增效的良好效果,而半干旱地区(前郭县)NE 养分专家系统的应用效果更佳。因此,NE 养分专家系统推荐施肥在吉林省中部稻区的适用性相对更广,尤其在土壤养分有效性较低的地区表现更好。

### 参考文献:

[1] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.

[2] 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[J]. 土壤学报,2008,45(5):915-924.

[3] Peng S B, Tang Q Y, Ying Z. Current status and challenges of rice production in China[J]. Plant Production Science,2009,12(1):3-8.

[4] 李娟,李松昊,郭奇峰,等. 不同施肥处理对稻田氮素径流和渗漏损失的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(5):23-28.

[5] 串丽敏,何萍,赵同科. 作物推荐施肥方法研究进展[J].

中国农业科技导报,2016,18(1):95-102.

[6] 白由路,杨俐苹. 我国农业中的测土配方施肥[J]. 中国土壤与肥料,2006(2):3-7.

[7] 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[J]. 中国农技推广,2006,22(4):36-39.

[8] 何萍,金继运,Pampolino,等. 基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(2):499-505.

[9] Xu X P, He P, Yang F Q, et al. Methodology of fertilizer recommendation based on yield response and agronomic efficiency for rice in China[J]. Field Crops Research,2017,206:33-42.

[10] 张大瑜,邵玺文,凌凤楼,等. 吉林省水稻生产省域尺度比较优势分析与建议[J]. 中国农学通报,2011,27(2):289-293.

[11] 沈娟,高强. 吉林省水稻施肥现状的调查分析[J]. 东北农业科学,2011,36(2):40-43.

[12] 焉莉,冯国忠,兰唱,等. 基于 GIS 的吉林省水稻种植区施氮效果及减排潜力分析[J]. 中国农业科学,2017,50(17):3365-3374.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析. [M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.

[14] 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.

[15] 刘瑞,戴相林,郑险峰,等. 半旱地不同栽培模式及施氮下农田土壤养分表观平衡状况研究[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):934-941.

[16] 黄琦. 基于“3414”田间试验的吉林省水稻施肥效果分析[D]. 长春:吉林农业大学,2016.

[17] 巩超. 吉林省主要地区测土配方施肥对玉米、水稻肥料利用率的影响[D]. 长春:吉林大学,2016.

[18] Chuan L M, He P, Jin J Y, et al. Estimating nutrient uptake requirements for wheat in China [J]. Field Crops Research,2013,146:96-104.

[19] Xu X B, He P, Zhang J J, et al. Spatial variation of attainable yield and fertilizer requirements for maize at the regional scale in China[J]. Field Crops Research,2017,203:8-15.

[20] 徐新朋,魏丹,李玉影,等. 基于产量反应和农学效率的推荐施肥方法在东北春玉米上应用的可行性研究[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(6):1458-1467.

[21] Yang F Q, Xu X P, Ma J C, et al. Experimental validation of a new approach for rice fertilizer recommendations across smallholder farms in China[J]. Soil Research,2017,55:579-589.

[22] 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[J]. Field Crops Research,2012,137:37-48.