

孙彦铭,黄少辉,杨云马,等. 河北省夏玉米施肥效果与肥料利用率现状[J]. 江苏农业科学,2019,47(15):301-306.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.15.069

# 河北省夏玉米施肥效果与肥料利用率现状

孙彦铭<sup>1</sup>, 黄少辉<sup>1</sup>, 杨云马<sup>1</sup>, 刘克桐<sup>2</sup>, 杨振立<sup>3</sup>, 贾良良<sup>1</sup>

(1. 河北省农林科学院农业资源环境研究所, 河北石家庄 050051; 2. 河北省土壤肥料总站, 河北石家庄 050031;  
3. 河北省农林科学院, 河北石家庄 051000)

**摘要:** 为了解河北省夏玉米施肥效果和肥料利用率现状, 对河北省 2005—2013 年测土配方施肥项目中的 2 794 个“3414”夏玉米试验进行分析, 明确氮、磷、钾肥对河北省夏玉米产量的贡献率, 测算氮、磷、钾肥的利用效率。结果表明, 在当前生产条件下, 河北省夏玉米不施化肥产量为 5.65 t/hm<sup>2</sup>, 配方施肥提升产量至 8.46 t/hm<sup>2</sup>, 在其他肥料施用的基础上, 氮、磷、钾肥分别增产 1.81 (29.2%)、1.17 (17.5%)、0.99 t/hm<sup>2</sup> (14.4%)。施肥对河北省夏玉米产量的平均贡献率为 39.3%, 氮、磷、钾肥的贡献率分别为 21.2%、14.0%、11.8%。河北省夏玉米化肥的农学效率平均为 7.5 kg/kg, 氮、磷、钾肥农学效率分别为 9.6、17.4、9.3 kg/kg。河北省夏玉米化肥偏生产力平均为 22.6 kg/kg, 氮、磷、钾肥偏生产力分别为 45.6、125.0、81.4 kg/kg。河北省夏玉米肥料利用效率总体处于中等偏低水平, 需要进一步推进土壤培肥、平衡施肥技术的应用, 提高养分资源管理水平, 实现玉米产量与养分效率的同步提升。

**关键词:** 夏玉米; 肥料效率; 施肥效果; 测土配方施肥; 河北省

**中图分类号:** S147.5; S513.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)15-0301-06

河北省是我国重要的夏玉米产区, 年播种面积超过 300 万 hm<sup>2</sup>, 占全国总播种面积的 9.5%<sup>[1]</sup>。施肥是提高玉米产量的重要手段, 在保证粮食安全中发挥了重大的作用。据联合国粮食及农业组织 (FAO) 统计, 在世界范围内, 化肥对粮食作物产量的贡献率为 30%~50% 左右<sup>[2]</sup>, 全国化肥试验网统计 20 世纪 80 年代的研究结果也表明, 化肥对我国粮食产量的贡献率为 40.8%<sup>[3]</sup>。随着社会的发展, 我国化肥投入量与 20 世纪 80 年代相比已经有了明显的增加<sup>[4]</sup>, 由此带来的化肥效率下降引起了国内外广泛关注<sup>[5]</sup>。因此, 明确当前农业生产中化学肥料对产量的贡献率、化肥利用率等对当前正在开展的化学肥料减施增效等具有十分重要的意义。

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。许多学者对测土配方数据进行了研究, 得到了许多成果, 如单燕等利用陕西省测土配方施肥数据解析了陕西省玉米施肥效果<sup>[6]</sup>; 王寅等总结了吉林省测土配方数据, 分析了春玉米的肥料贡献率分布<sup>[7]</sup>; 刘芬等通过总结测土配方肥料试验数据, 研究了关中地区夏玉米施用氮、磷、钾肥的增产效果以及肥料利用效率现状<sup>[8]</sup>; 王伟妮等对湖北省小麦、水稻、油菜等作物当前的肥料效果与贡献率进行了评价<sup>[9]</sup>; 张文婧等对四川省测土配方肥料试验的作物施肥现状和养分效率进行了分析<sup>[10]</sup>。本研究通过整理河北省测土配方施肥项目在河北省布置的大量“3414”肥料试验, 对河北省当前生产条件下的肥料对夏玉米的增产效果、肥料利用率等进行分析, 以明确河北省夏玉米施肥效果与肥料利用率现状, 为河北省夏玉米科学施肥管理提供数据支撑。

收稿日期: 2018-04-09

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2016YFD0200105); 河北省玉米产业体系 (编号: HBCT2018020204); 河北省农业科学院青年创新团队; 河北省肥料技术工程中心。

作者简介: 孙彦铭 (1974—), 女, 河北衡水人, 副研究员, 主要从事农田养分管理研究。Tel: (0311) 87652140; E-mail: sunym74@hotmail.com。

通信作者: 贾良良, 博士, 研究员, 主要从事农田养分管理研究。Tel: (0311) 87652241; E-mail: jiall990@126.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本研究选取 2005—2013 年国家“测土配方施肥”项目在河北省夏玉米主产区布置的夏玉米“3414”田间试验, 共计

[15] 梁晓娇, 王树力. 阿什河源头不同类型红松人工林枯落物及其土壤水文特性[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 140-145, 152.

[16] 赵阳, 余新晓, 吴海龙, 等. 华北土石山区典型森林枯落物层和土壤层水文效应[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 148-152.

[17] 韩路, 王海珍, 吕瑞恒, 等. 塔里木河上游不同森林类型枯落物的持水特性[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 96-101.

[18] 王栋, 张洪江, 程金花, 等. 重庆缙云山 4 种林地林下枯落物储量及其持水特性研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 126-

132, 136.

[19] 祁生林, 张洪江, 何凡, 等. 重庆四面山植被类型对坡面产流的影响[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 33-38.

[20] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3685-3695.

[21] 白晋华, 胡振华, 郭晋平. 华北山地次生林典型森林类型枯落物及土壤水文效应研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 84-89.

[22] 田超, 杨新兵, 李军, 等. 冀北山地阴坡枯落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 97-103.

2 794 个。研究区域涵盖河北省夏玉米主产区的邯郸、邢台、石家庄、衡水、沧州、保定、廊坊和唐山部分地区,主要土壤类型包括褐土、潮土等,气候为典型的温带大陆性季风气候,试验区耕层土壤 pH 值为 4.9 ~ 9.3 (平均  $7.9 \pm 0.5$ )、土壤有机质含量为 2.0 ~ 71.4 g/kg (平均  $15.5 \pm 6.4$  g/kg)、有效磷含量为 1.8 ~ 149.0 mg/kg (平均  $22.6 \pm 16.1$  mg/kg)、速效钾含量为 16.0 ~ 755.0 mg/kg (平均  $116.8 \pm 46.0$  mg/kg)。供试玉米品种主要包括郑单 958、先玉 335、浚单 20、中单 11、农大 364 等代表性品种。

本研究中所含试验处理包括“3414”试验中的处理 1 ( $N_0P_0K_0$ , CK)、处理 2 ( $N_0P_2K_2$ , -N)、处理 4 ( $N_2P_0K_2$ , -P)、处理 6 ( $N_2P_2K_2$ , NPK) 和处理 8 ( $N_2P_2K_0$ , -K)。其中,  $N_2P_2K_2$  施肥量是由当地农业技术专家或农技推广人员根据目标产量水平、作物养分需求、田块土壤肥力状况以及当地施肥习惯等进行综合确定,代表当地的最佳施肥水平<sup>[11]</sup>。本研究采用的数据集中,氮肥施用量在 27 ~ 375 kg/hm<sup>2</sup>,平均为  $196 \pm 40$  kg/hm<sup>2</sup>,磷肥施用量在 0 ~ 360 kg/hm<sup>2</sup>,平均为  $79 \pm 48$  kg/hm<sup>2</sup>,钾肥施用量在 0 ~ 225 kg/hm<sup>2</sup>,平均为  $116 \pm 32$  kg/hm<sup>2</sup>。所有缺素处理均不施用相应肥料,其他施肥量与同一试验 NPK 处理相同。试验所用肥料为尿素 (N, 46%)、过磷酸钙 ( $P_2O_5$ , 16%) 和氯化钾 ( $K_2O$ , 60%)。50% 氮肥和全部磷钾肥作为基肥在玉米播种前施入,50% 氮肥在拔节期追肥施入,其他管理措施与农民习惯一致。

### 1.2 样品采集与分析

在夏玉米播种前,各试验点取 0 ~ 20 cm 土壤样品测定基本化学性质,其中有机质测定用重铬酸钾容量法;有效磷含量测定用 0.5 mol/L  $NaHCO_3$  浸提—钼锑抗比色法;速效钾含量测定用 1 mol/L  $NH_4OAc$  浸提—火焰光度法<sup>[12]</sup>。在夏玉米成熟期,对各试验点所有小区去掉边行后进行实打实收测产。

### 1.3 数据分析与处理

所有数据导入 Excel 2013 进行计算与数据分析,采用 Sigmaplot 10.0 进行制图。

采用以下公式计算相关参数<sup>[13-16]</sup>: 肥料农学效率 (kg/kg, agronomic efficiency, 简称 AE), 指单位施肥量所增加的夏玉米产量,即  $AE = (Y - Y_0)/F$ , 式中:  $Y$  为施肥区产量,  $Y_0$  为无肥区产量,  $F$  为施肥量。肥料偏生产力 (kg/kg, partial factor productivity, 简称 PFP) 指投入单位肥料所生产的玉米产量,即  $PFP = Y/F$ 。肥料贡献率 (% , fertilizer contribution rate, 简称 FCR), 指施用肥料增加的玉米产量占总产量的百分比,即  $FCR = (\text{施肥区产量} - \text{无肥区产量})/\text{施肥区产量} \times 100\%$ 。肥料增产率 (% , yield increasing rate by fertilizer, 简称 YIR), 指施用肥料产量较对照不施肥产量增加的比例,即  $YIR = (\text{施肥区产量} - \text{无肥区产量})/\text{无肥区产量} \times 100\%$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥对河北省夏玉米产量的影响

由图 1 可知,在不施肥条件下,河北省夏玉米平均产量为  $5.65 \text{ t/hm}^2$  ( $1.45 \sim 11.19 \text{ t/hm}^2$ ),配方施肥能显著提高夏玉米产量,NPK 处理的夏玉米平均产量达到  $8.46 \text{ t/hm}^2$  ( $3.08 \sim 16.86 \text{ t/hm}^2$ ),较不施肥平均增产  $2.81 \text{ t/hm}^2$ ,增产幅度为 49.7%。在缺素处理中, -N 处理的夏玉米平均产量为

$6.66 \text{ t/hm}^2$  ( $2.18 \sim 14.19 \text{ t/hm}^2$ ), -P 处理的夏玉米平均产量  $7.29 \text{ t/hm}^2$  ( $2.38 \sim 15.18 \text{ t/hm}^2$ ), -K 处理的夏玉米平均产量为  $7.47 \text{ t/hm}^2$  ( $2.79 \sim 15.39 \text{ t/hm}^2$ )。

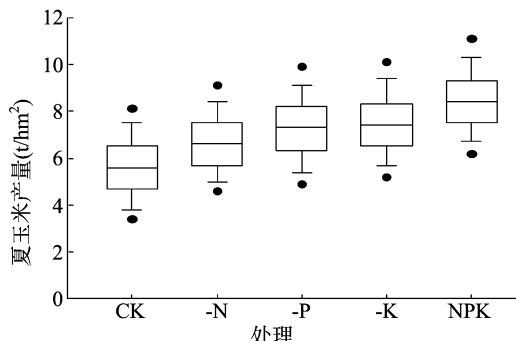


图1 河北省夏玉米不同施肥处理下的产量分布

由图 2 可知,在保证磷、钾肥施用充足的情况下,施氮平均增产  $1.81 \text{ t/hm}^2$  玉米,其中 11.9% 的试验点增产量超过  $3.0 \text{ t/hm}^2$ ,68.2% 的样点增产率在  $1.0 \sim 3.0 \text{ t/hm}^2$ ,有 19.9% 的样点增产率小于等于  $1.0 \text{ t/hm}^2$ 。施氮平均增产率为 29.2%,增产率 < 10% 的样点仅占总样点数的 11.5%,增产率为 11% ~ 30% 的样点占 47.9%,增产率为 31% ~ 60% 的样点占 34.8%,有 5.8% 的试验点增产率超过 60%。

在保证氮、钾肥施用充足的情况下,施磷平均增产  $1.17 \text{ t/hm}^2$  玉米,其中有 18.6% 的试验点增产量  $\leq 0.5 \text{ t/hm}^2$ ,有 54.3% 的样点增产量在  $0.6 \sim 1.5 \text{ t/hm}^2$  之间,有 27.1% 的样点施磷增产量超过  $1.5 \text{ t/hm}^2$ 。施磷增产率平均为 17.5%,增产率  $\leq 5\%$  的样点占 12.7%,增产率 6% ~ 30% 之间的样点占 73.9%,有 13.4% 的样点增产率超过 30%。

在保证氮、磷肥施用充足的情况下,施钾平均增产  $0.99 \text{ t/hm}^2$  玉米,其中 28.7% 样点施钾增产量小于等于  $0.5 \text{ t/hm}^2$ ,有 70.0% 的样点施钾增产量在  $0.6 \sim 3.0 \text{ t/hm}^2$ ,有 1.3% 的样点增产量超过  $3.0 \text{ t/hm}^2$ 。施钾增产率平均为 14.4%,增产率  $\leq 5\%$  的样点占 22.1%,增产率在 6% ~ 30% 之间的样点占 68.6%,有 9.3% 的样点增产率超过 30%,说明河北省部分地区夏玉米对钾肥有明显的需求。

### 2.2 河北省夏玉米肥料利用率现状

由图 3 可知,河北省夏玉米化肥 (NPK) 平均农学效率为  $7.5 \text{ kg/kg}$  ( $0.2 \sim 59.3 \text{ kg/kg}$ ),其中农学效率  $\leq 5.0 \text{ kg/kg}$  的样点占 24.4%,  $5.1 \sim 15.0 \text{ kg/kg}$  的样点占 72.7%,  $> 15.0 \text{ kg/kg}$  的样点仅占 2.9%。夏玉米氮肥农学效率平均为  $9.6 \text{ kg/kg}$  ( $0 \sim 69.9 \text{ kg/kg}$ ),  $\leq 5.0 \text{ kg/kg}$  的试验点占总试验点的 18.4%,  $5.1 \sim 15.0 \text{ kg/kg}$  的样点占 67.4%,  $> 15.0 \text{ kg/kg}$  的样点占 14.2%。夏玉米磷肥农学效率平均为  $17.4 \text{ kg/kg}$  ( $0 \sim 126.7 \text{ kg/kg}$ ),其中磷肥农学效率  $\leq 5 \text{ kg/kg}$  的样本占总试验点数的 12.2%,  $6 \sim 30 \text{ kg/kg}$  的样本点占 74.4%,  $> 30 \text{ kg/kg}$  的样本占 13.4%; 玉米钾肥农学效率平均为  $9.3 \text{ kg/kg}$  ( $0 \sim 59.1 \text{ kg/kg}$ ),其中钾肥农学效率  $\leq 10 \text{ kg/kg}$  的样本占总样本数的 62.7%,  $11 \sim 20 \text{ kg/kg}$  的样本占 29.7%,  $> 20 \text{ kg/kg}$  的样本仅占 7.6%,表明河北省夏玉米钾肥的农学效率总体处于较低的水平。

由图 4 可知,河北省夏玉米化肥 (NPK) 偏生产力平均为

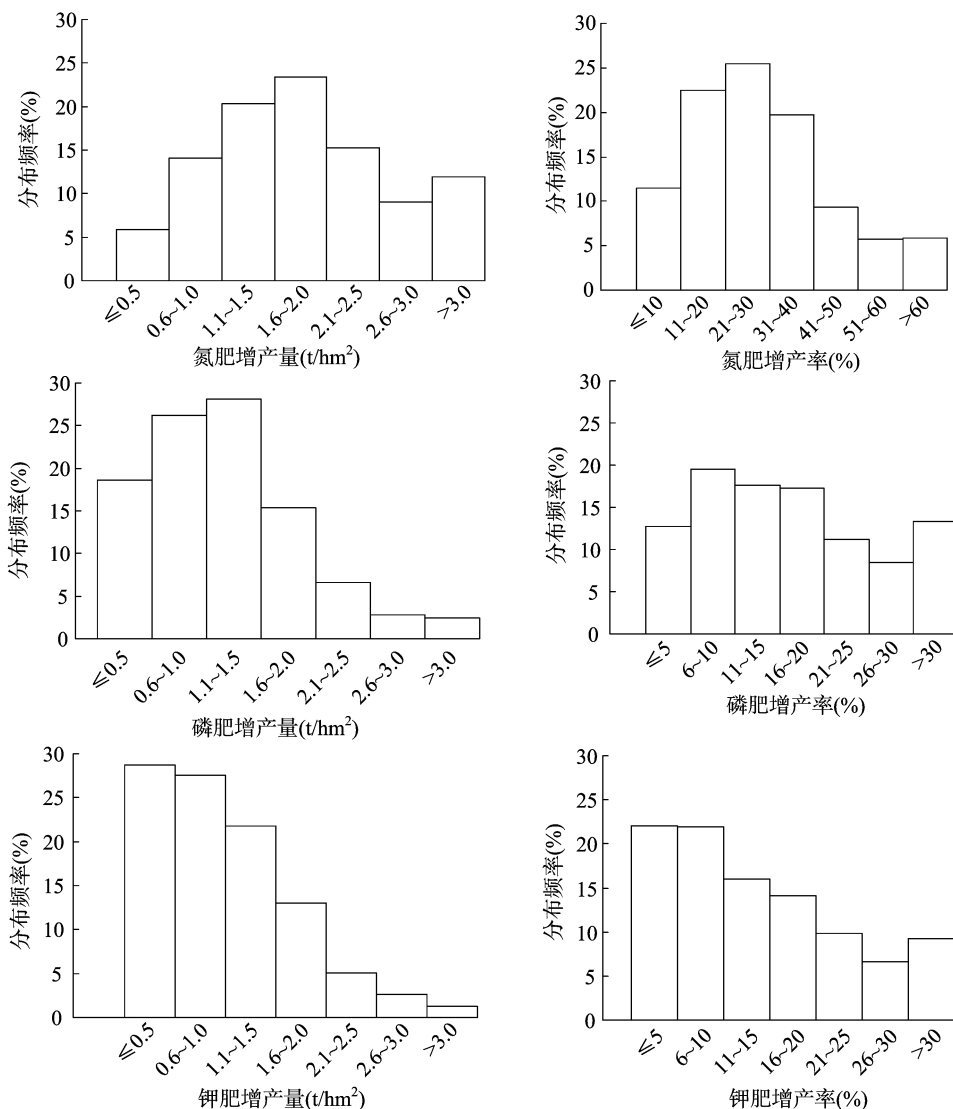


图2 河北省夏玉米氮磷钾肥增产量和增产率分布

22.6 kg/kg (5.1 ~ 117.4 kg/kg), 其中  $\leq 15$  kg/kg 的样点占总样本数的 4.1%, 16 ~ 30 kg/kg 的样本占 89.0%, > 30 kg/kg 的样本仅占 6.9%。氮肥偏生产力平均为 45.6 kg/kg (16.0 ~ 298.3 kg/kg), 氮肥偏生产力  $\leq 30$  kg/kg 的试验点仅占总试验点的 3.8%, 氮肥偏生产力在 31 ~ 60 kg/kg 的样本占总样本数的 89.0%, 而氮肥偏生产力 > 60 kg/kg 的样本占总样本数的 7.2%。磷肥偏生产力平均值为 125.0 kg/kg (6.6 ~ 485.8 kg/kg),  $\leq 90$  kg/kg 的样本占总样本数的 19.5%, 91 ~ 180 kg/kg 的样本占总样本的 74.3%, 而磷肥偏生产力大于 180 kg/kg 的样本占总样本数 5.2%。钾肥偏生产力平均值为 81.4 kg/kg (25.7 ~ 553.0 kg/kg),  $\leq 50$  kg/kg 的样本占总样本的 4.1%, 51 ~ 90 kg/kg 的样本占总样本的 72.1%, > 90 kg/kg 的样本占总样本的 23.8%。

### 2.3 河北省夏玉米肥料贡献率现状

河北省夏玉米肥料贡献率为 39.3% (0.9% ~ 80.6%), 其中贡献率  $\leq 25\%$  的样点占 25.1%, 贡献率 26% ~ 45% 的样点占 59.2%, 贡献率 > 45% 的样点占 15.7%。河北省夏玉米氮肥平均贡献率为 21.2% (0 ~ 68.6%), 其中  $\leq 10\%$  的样点

占 13.5%, 11% ~ 30% 的样点占 69.0%, > 30% 的样点占 17.5%。磷肥平均贡献率为 14.0% (0 ~ 65.3%), 其中  $\leq 5\%$  的样点占 13.7%, 6% ~ 20% 的样点占 64.5%, > 21% 的样点占 21.8%。钾肥平均贡献率为 11.8% (0 ~ 58.8%), 其中  $\leq 5\%$  的样点占 23.7%, 6% ~ 20% 的样点占 60.4%, > 21% 的样点占 15.9%。

### 2.4 河北省夏玉米基础产量对肥料贡献率的影响

不施肥基础产量是反映土壤基础生产能力的重要指标, 而缺素处理也可以反映土壤对某一种元素的供应能力。本研究不同基础产量水平下氮、磷、钾肥和 NPK 化肥贡献率分布如图 6 所示。随着农田基础产量水平的提高, 氮、磷、钾肥对产量的贡献率均呈下降的趋势, 其中氮肥的下降幅度最为明显, 从基础产量  $\leq 3.0$  t/hm<sup>2</sup> 时的 33.4% 下降到基础产量 > 7.5 t/hm<sup>2</sup> 时的 14.2%, 而磷肥则相应的从 23.5% 下降到 10.0%, 钾肥从 17.2% 下降到 9.0%。另外, 氮磷钾肥配施的肥料贡献率从 60.8% 下降到 21.1%。可见, 缺氮对河北省玉米产量的影响最明显, 其次是磷, 钾肥影响最小, 而氮磷钾肥配合施用对作物产量的肥料贡献率最大。因此, 在生产上要

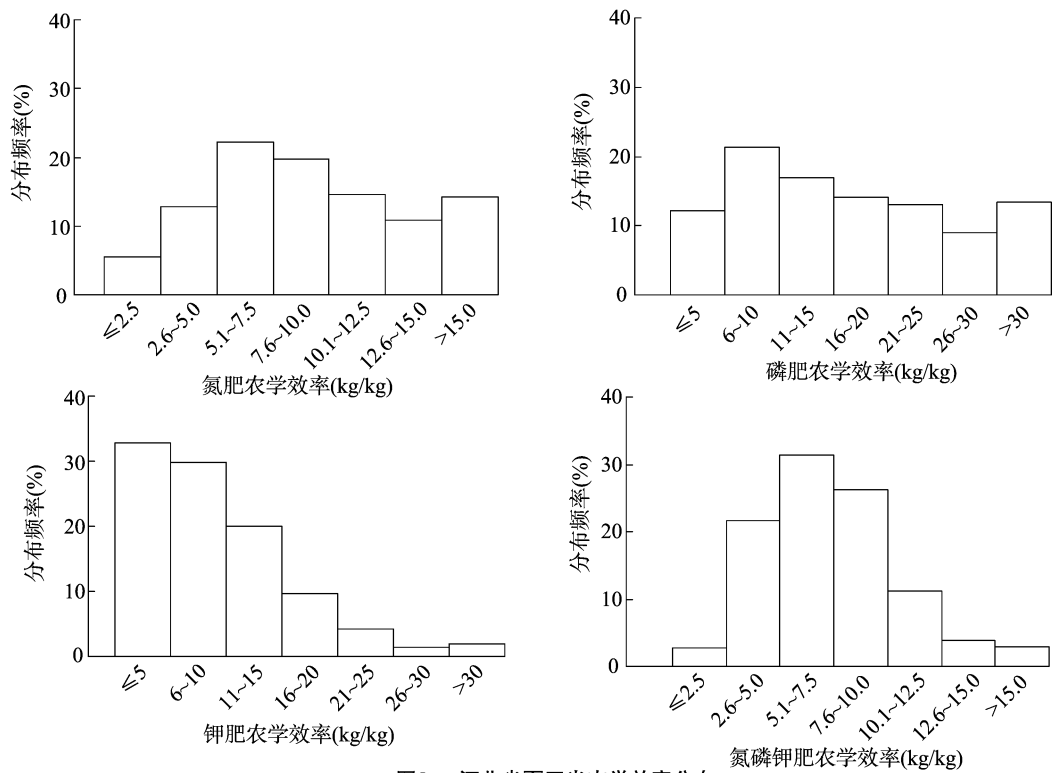


图3 河北省夏玉米农学效率分布

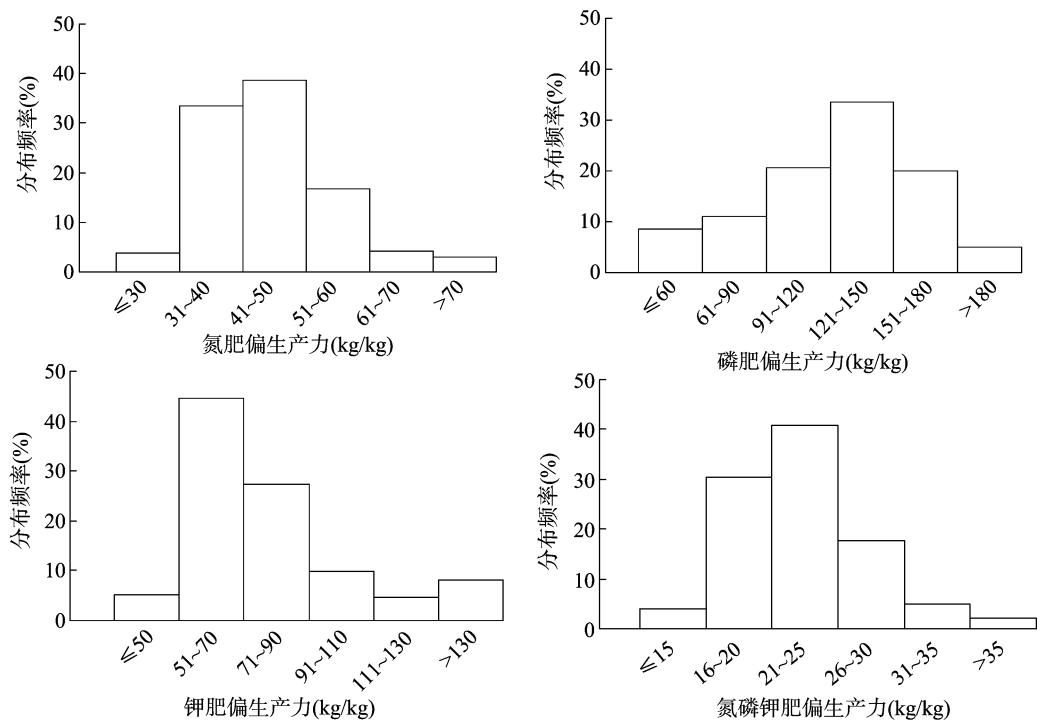


图4 河北省夏玉米氮磷钾肥偏生产力分布

针对土壤基础肥力状况进行养分调控,氮磷钾肥配合施用以获得最大的经济与生态效益,并针对不同土壤基础肥力水平的农田进行定向培育,提高基础生产能力。

3 结论与讨论

从产量水平来看,河北省夏玉米不施肥产量为

5.65 t/hm<sup>2</sup>,与黄淮海不施肥平均产量 5.79 t/hm<sup>2</sup> 相比非常接近,而配方施肥产量 8.46 t/hm<sup>2</sup> 水平则高于黄淮海施肥平均产量 7.45 t/hm<sup>2</sup>,但低于 2005—2008 年全国平均施肥产量水平 8.40 t/hm<sup>2</sup> [17]。在保证另外 2 种养分的情况下,河北省夏玉米施用氮肥平均增产 1.81 t/hm<sup>2</sup>,增产率为 29.2%;施用磷肥平均增产 1.17 t/hm<sup>2</sup>,增产率为 17.5%,高于吴良泉总结

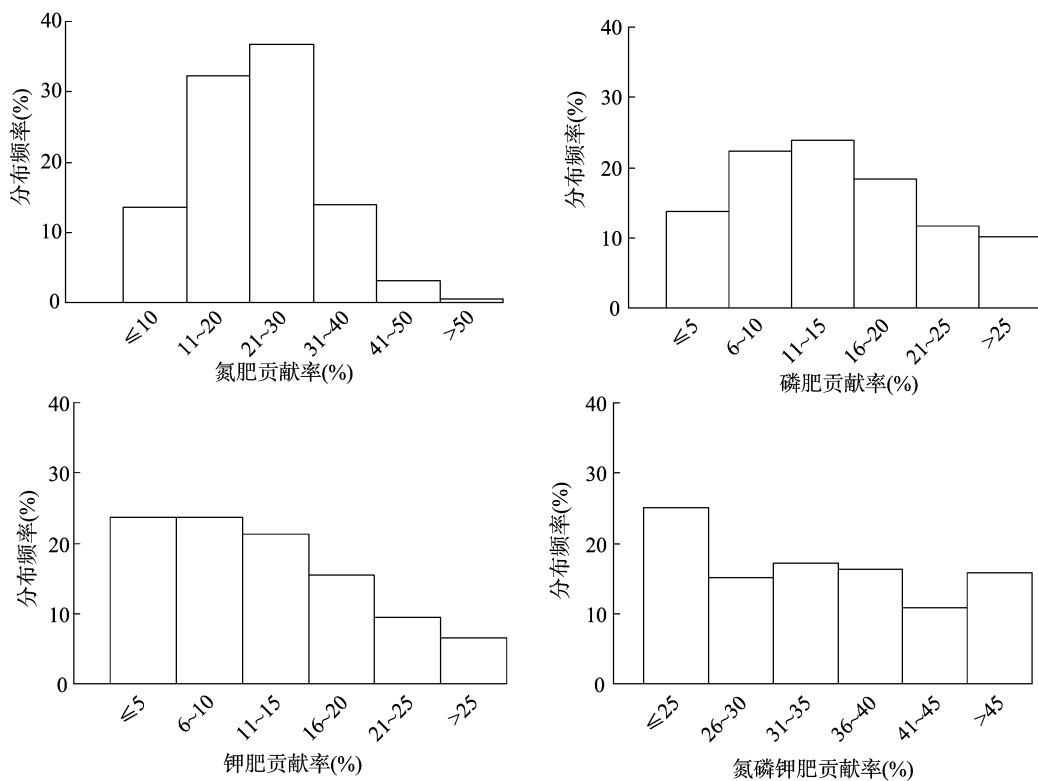


图5 河北省氮磷钾肥对夏玉米产量的贡献率分布

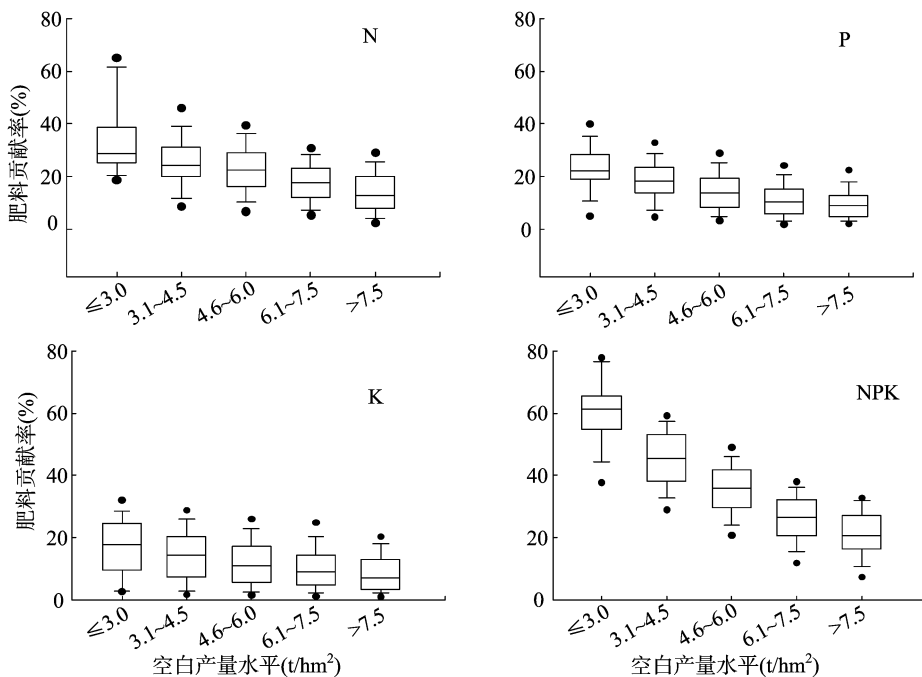


图6 河北省夏玉米不同基础产量水平下产量效应

的华北平原施磷平均增产量 0.8 t/hm<sup>2</sup>, 平均增产率 12.7%<sup>[17]</sup>; 施用钾肥平均增产 0.99 t/hm<sup>2</sup>, 增产率为 14.4%, 与吴良泉总结华北区施钾肥增产率为 14.7%<sup>[17]</sup> 非常接近。

肥料在粮食作物增产中起到了重要的作用, 全国化肥试验网在 20 世纪 80 年代统计的化肥对粮食的贡献率为 40.8%<sup>[3]</sup>。本研究中发现, 化肥对河北省夏玉米产量的贡献率平均为 39.3%, 略高于吉林省夏玉米的 34.7%, 但明显低

于全国平均水平 46.2%<sup>[18-19]</sup>。河北省夏玉米氮、磷、钾肥贡献率分别为 21.2%、14.0%、11.8%, 均高于刘芬等在渭北旱原的研究结果<sup>[8]</sup> 和王寅等在吉林春玉米区的研究结果<sup>[7]</sup>。这可能是由于河北省农田基础肥力较低, 因此肥料对河北省玉米产量的贡献相对较高。另外发现, 氮、磷、钾肥的肥料贡献率随着基础产量的提高而降低, 且氮磷钾肥配施条件下的肥料贡献率降低的幅度更为明显, 说明通过提高土壤基础肥

力能够减少对外源肥料的需求。

河北省夏玉米氮肥农学效率为 9.6 kg/kg,与杨小梅等统计的 2000 年全国平均水平 9.5 kg/kg<sup>[19]</sup>和张福锁等报道的 2001—2005 年全国平均水平 9.8 kg/kg<sup>[5]</sup>比较接近,略高于河南省平均的 8.6 kg/kg<sup>[20]</sup>,但低于于飞等总结的近 10 年全国平均 11.1 kg/kg<sup>[21]</sup>。河北省磷、钾肥农学效率分别为 17.4、9.3 kg/kg,高于 2001—2005 年全国平均水平 7.5、5.7 kg/kg<sup>[5]</sup>和河南省平均水平 10.6、7.8 kg/kg<sup>[21]</sup>,说明磷肥对河北省夏玉米生产具有较明显的增产效应。河北省夏玉米氮肥偏生产力为 45.6 kg/kg,低于张福锁等报道的 2001—2005 年全国玉米平均氮肥偏生产力 51.6 kg/kg<sup>[5]</sup>和于飞等总结的近 10 年全国玉米氮肥偏生产力 54.5 kg/kg<sup>[21]</sup>,但高于王旭总结的 2005—2008 年黄淮海区域夏玉米平均氮肥偏生产力 40.3 kg/kg<sup>[16]</sup>。河北省夏玉米磷肥偏生产力为 125.0 kg/kg,明显高于 2001—2005 年全国平均水平 72.4 kg/kg<sup>[5]</sup>和黄淮海区域平均水平 115 kg/kg<sup>[17]</sup>。而钾肥偏生产力为 81.4 kg/kg,高于全国平均水平 64.7 kg/kg,但与黄淮海平均水平 140 kg/kg<sup>[17]</sup>相比有明显差距。总体来看,河北省夏玉米氮、磷、钾肥农学利用率接近或略高于同期全国水平,但氮肥偏生产力明显低于周边省份和全国平均水平,磷、钾肥偏生产力则高于全国平均水平。化肥对河北省夏玉米增产起着重要的作用,提高农田基础生产能力和夏玉米栽培管理水平、合理平衡施肥以提高养分效率是河北省夏玉米实现产量、效率同步提升的关键。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴(2015)[M]. 北京: 中国统计出版社,2015.
- [2] Stewart W M,谢 玲. 肥料对作物产量的贡献[J]. 中国农资, 2003(3):31-33.
- [3] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国化肥区划[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社,1986:115-281.
- [4] 石元亮,王玲莉,刘世彬,等. 中国化学肥料发展及其对农业的作用[J]. 土壤学报,2008,45(5):852-864.
- [5] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//Proceedings of the 8th conference on applied climatology. Anaheim: American Meteorological Society,1993:179-183.
- [6] 单 燕,李水利,李 茹,等. 陕西省玉米土壤肥力与施肥效应评估[J]. 土壤学报,2015,52(6):1430-1437.
- [7] 王 寅,冯国忠,焉 莉,等. 吉林省玉米施肥效果与肥料利用效率现状研究[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(6):1441-1448.
- [8] 刘 芬,同延安,王小英,等. 渭北旱塬春玉米施肥效果及肥料利用效率研究[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(1):48-55.
- [9] 王伟妮,鲁剑巍,李银水,等. 当前生产条件下不同作物施肥效果和肥料贡献率研究[J]. 中国农业科学,2010,43(19):3997-4007.
- [10] 张文婧,王昌全,袁大刚,等. 四川省主要作物施肥现状、问题与对策[J]. 土壤通报,2014,45(3):697-703.
- [11] 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.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [13] Cassman K G, Peng S, Olk D C, et al. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems[J]. Field Crops Research,1998,56(1/2):7-39.
- [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] 宇万太,赵 鑫,张 璐,等. 长期施肥对作物产量的贡献[J]. 生态学杂志,2007,26(12):2040-2044.
- [16] 王 旭. 我国主要农业生态区粮食作物化肥增产效应与养分利用效率研究[D]. 保定:河北农业大学,2010.
- [17] 吴良泉. 基于“大配方,小调整”的中国三大粮食作物区域配肥技术研究[D]. 北京:中国农业大学,2014.
- [18] 闫 湘. 我国化肥利用现状与养分资源高效利用研究[D]. 北京:中国农业科学院,2008.
- [19] 杨小梅,刘树伟,秦艳梅,等. 中国玉米化学氮肥利用率的时空变异特征[J]. 中国生态农业学报,2013,21(10):1184-1192.
- [20] 易玉林. 河南玉米氮磷钾肥料应用效果及推荐用量研究[J]. 河南科学,2012,30(5):580-583.
- [21] 于 飞,施卫明. 近 10 年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析[J]. 土壤学报,2015,52(6):1311-1324.
- [22] 杨 庆,李明星,郑子彦,等. 7 种气象干旱指数的中国区域适应性[J]. 中国科学:地球科学,2017,47(3):337-353.
- [23] 熊光洁,张博凯,李崇银,等. 基于 SPEI 的中国西南地区 1961—2012 年干旱变化特征分析[J]. 气候变化研究进展,2013,9(3):192-198.
- [24] 谷洪波,刘芷好. 湖南农业干旱灾害的时空分布、社会经济影响及形成机理探究[J]. 山西农业大学学报(社会科学版),2015,14(11):1081-1085.
- [25] 廖玉芳,彭嘉栋,郭 庆. 湖南气候对全球气候变化的响应[J]. 大气科学学报,2014,37(1):75-81.
- [26] 郭丽香,章新平,吴华武,等. 城市化对湖南长沙气温的影响[J]. 干旱气象,2012(3):380-386.
- [27] Fischer G, Nachtergaele F, Prieler S. Global agro-ecological zones assessment for agriculture (GAEZ 2008)[J]. IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy,2008:10.
- [28] Begueria S, Vicente-Serrano S M, Reig F, et al. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring[J]. International Journal of Climatology,2014,34(10):3001-3023.
- [29] Wells N, Goddard S, Hayes M J. A self-calibrating Palmer drought severity index[J]. Journal of Climate,2004,17(12):2335-2351.
- [30] Dai A G. Drought under global warming: a review[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change,2011,2:45-65.

(上接第 295 页)

50-59.

- [25] 罗伯良,李易芝. 2013 年夏季湖南严重高温干旱及其大气环流异常[J]. 干旱气象,2014,32(4):593-598.
- [26] Fischer G, Nachtergaele F, Prieler S. Global agro-ecological zones assessment for agriculture (GAEZ 2008)[J]. IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy,2008:10.
- [27] Begueria S, Vicente-Serrano S M, Reig F, et al. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring[J]. International Journal of Climatology,2014,34(10):3001-3023.
- [28] Wells N, Goddard S, Hayes M J. A self-calibrating Palmer drought severity index[J]. Journal of Climate,2004,17(12):2335-2351.
- [29] Dai A G. Drought under global warming: a review[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change,2011,2:45-65.

- [30] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//Proceedings of the 8th conference on applied climatology. Anaheim: American Meteorological Society,1993:179-183.
- [31] 杨 庆,李明星,郑子彦,等. 7 种气象干旱指数的中国区域适应性[J]. 中国科学:地球科学,2017,47(3):337-353.
- [32] 熊光洁,张博凯,李崇银,等. 基于 SPEI 的中国西南地区 1961—2012 年干旱变化特征分析[J]. 气候变化研究进展,2013,9(3):192-198.
- [33] 谷洪波,刘芷好. 湖南农业干旱灾害的时空分布、社会经济影响及形成机理探究[J]. 山西农业大学学报(社会科学版),2015,14(11):1081-1085.
- [34] 廖玉芳,彭嘉栋,郭 庆. 湖南气候对全球气候变化的响应[J]. 大气科学学报,2014,37(1):75-81.
- [35] 郭丽香,章新平,吴华武,等. 城市化对湖南长沙气温的影响[J]. 干旱气象,2012(3):380-386.