

网络出版时间:2025-12-17

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.s.20251216.1515.002

基于农户调查的华北灌溉区冬小麦产量及施肥现状分析

赵英杰¹, 吴 优¹, 张宪法¹, 杜 森¹, 刘少君¹, 张 焰², 孟远夺¹

(1. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 2. 漯河市农业生态与资源保护站, 河南漯河 462000)

摘 要: 为了解华北灌溉区农户冬小麦产量及施肥现状, 2022—2024 年在河南、河北和山东冬小麦种植区开展农户施肥情况调研, 分析农户化肥养分和有机肥料投入情况, 基于区域不同产量水平对应推荐施肥量及相关文献, 对农户施肥情况开展合理性评价。结果表明, 华北灌溉区冬小麦平均产量为 $7\,947.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 产量差为 $2\,529.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。氮肥(N)、磷肥(P_2O_5)和钾肥(K_2O)及总养分的平均施用量分别为 218.8 、 127.0 、 63.0 和 $408.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。被调研的农户中, 施氮不足、合理、过量的农户分别占 15.7% 、 58.7% 和 25.7% , 施磷不足、合理、过量的农户占比分别为 12.9% 、 47.7% 、 39.4% , 施钾不足、合理、过量的农户分别占 37.5% 、 33.9% 和 28.6% 。冬小麦种植中施用有机肥的农户占比平均为 30.4% , 其中施用商品有机肥料的农户比例平均为 10.0% , 施用量为 $1.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$; 施用农家肥(粪肥类、秸秆类和其他)的农户平均比例为 23.0% , 投入量为 $11.8\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。华北灌溉区冬小麦种植农户平均产量达到了产量潜力的 75.9% , 还有较大增产潜力。氮肥施用不合理主要表现为施肥过量, 但超高产农户施氮不足明显; 磷肥施用不合理主要表现为不同产量水平农户均存在过量施磷的问题; 钾肥施用不合理主要表现为中产、低产农户施钾过量, 高产以上农户施钾不足, 总体表现为不足。农户有机肥料施用比例较低, 应针对不同产量水平农户以及三种养分施用现状的特点开展科学施肥技术推广。

关键词: 华北地区; 冬小麦; 农户施肥; 现状调研

中图分类号: S512.1; S311

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2026)06-0817-11

Analysis of Winter Wheat Yield and Fertilization Status in the Irrigation Area of North China Based on Farmer Surveys

ZHAO Yingjie¹, WU You¹, ZHANG Xianfa¹, DU Sen¹, LIU Shaojun¹, ZHANG Yan², MENG Yuanduo¹

(1. National Agricultural Technology Extension and Service Center, Beijing 100125, China;

2. Luohe Agricultural Ecology and Resources Protection Station, Luohe, Henan 462000, China)

Abstract: To clarify the current status of winter wheat fertilization in the winter wheat-summer maize rotation area in North China, a survey on farmers' nutrient management was conducted in winter wheat planting areas in Henan, Hebei, and Shandong provinces from 2022 to 2024. The application of chemical nutrients and organic fertilizers by farmers was analyzed, and the rationality of farmers' fertilization was evaluated based on the recommended fertilization rates corresponding to different yield levels in the region and historical literature. The results showed that the average yield of winter wheat in North China was $7\,947.6\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, with a yield gap of $2\,529.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. The average application rates of nitrogen(N), phosphorus (P_2O_5), and potassium(K_2O) fertilizers and total nutrients were $218.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $127.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $63.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, and $408.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, respectively. Among the surveyed farmers, 15.7% , 58.7% , and 25.7% of farmers applied insufficient, appropriate, and excessive nitrogen, respectively; 12.9% , 47.7% , and 39.4% applied insufficient, appropriate,

收稿日期: 2025-09-04

修回日期: 2025-09-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD1901500)

第一作者 E-mail: zhaoyingjie0228@163.com (赵英杰)

通讯作者 E-mail: mengyuanduo@agri.gov.cn (孟远夺)

and excessive phosphorus, respectively; and 37.5%, 33.9%, and 28.6% applied insufficient, appropriate, and excessive potassium, respectively. The average proportion of farmers applying organic fertilizers in winter wheat cultivation was 30.4%, among which the proportion of farmers applying commercial organic fertilizers was 10.0%, with an application rate of $1.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; the average input proportion of farmyard manure(including manure and straw) was 23.0%, with an input rate of $11.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. The average yield of winter wheat in the winter wheat-summer maize rotation area in North China achieved 75.9% of the yield potential, indicating significant potential for further yield improvement. The main issue with nitrogen fertilizer application was over-application, but for high-yielding farmers who were also nitrogen-deficient. The main problem with phosphorus fertilizer application was over-application by farmers of all yield levels. The main issue with potassium fertilizer application was over-application by medium and low-yielding farmers and under-application by high-yielding farmers. Overall, potassium application was insufficient. The proportion of organic fertilizers applied by farmers was relatively low. Targeted scientific fertilization technology promotion should be carried out based on the characteristics of different yield levels and the current application status of the three nutrients.

Keywords: North China region; Winter wheat; Farmers' fertilization; Current situation investigation

小麦是中国主要粮食作物之一。据统计, 2024 年中国小麦总产量达 1.40 亿 t, 占全国粮食总产量的 21.5%, 种植面积约 $2.3 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 在粮食作物中位居第三位^[1]。华北灌溉冬麦区是中国小麦种植最主要的区域, 其种植面积最大, 总产量和单产均最高, 在四大麦区中表现出较强的综合优势, 对稳定小麦供给、增加农民收入及推动区域经济发展具有不可替代的作用。

科学施肥是提升小麦单产与品质的核心技术之一, 也是农业绿色发展的关键。科学配比氮、磷、钾养分可显著提高小麦光合效率和养分利用效率, 促进小麦分蘖、干物质积累与产量形成^[2-4]。同时, 有机肥料与化学肥料合理配施可有效改善小麦淀粉品质和增加产量, 促进冬小麦高产优质生产^[5-6]。不合理施肥对小麦生产与生态环境构成双重威胁。然而, 当前农户施肥实践中仍存在诸多问题。近年来, 一些学者针对冬小麦施肥现状开展了多维度研究, 发现河南、河北和山东三省冬小麦生产过程中农户均存在不同程度的施肥不合理现象。严如玉等^[7]以 4 个小麦种植优势产区为依托, 将 2012—2022 年中国知网上发表的小麦产量与施肥数据进行整合分析, 得到华北麦区小麦的平均产量为 $8565.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, N、 P_2O_5 和 K_2O 的平均施用量分别为 240.9、118.1 和 $73.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 与其他麦区相比, 华北麦区氮磷肥平均施用量较高。对河南省小麦种植户连续 5 年(2014—2018 年)的实地问卷调查发现, 农户年均氮肥(N)投入量为 $155.0 \sim 216.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 年

际之间差异较大, 与理论最佳产量施肥量相比, 存在氮肥施用量过高、一次性施肥、磷钾肥施用不足的现象^[8]。赵彦锋等^[9]基于河南小麦主产区 82 个县 2 277 个样点的对照试验数据, 采用地图对比法揭示了该区域氮磷钾分配的主要问题是农民习惯氮、磷施用量普遍偏大, 施钾量局部不足, 氮磷钾施用量与小麦产量、土壤养分的空间匹配性欠佳。张珊珊等^[10]通过对山东省小麦施肥现状调查分析, 认为小麦施肥强度总体合理, 但施肥结构需要优化, 磷肥比重明显过大, 钾肥比重尚显不足, 有机肥施用欠缺, 应合理控氮、减磷、补钾和增施有机肥。通过分析 2011—2014 年在河北省开展的 894 组小麦配方施肥农户示范数据, 河北省冬小麦平均施氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)量分别为 242、65 和 $45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 农民习惯施肥的冬小麦氮肥偏生产力平均为 $25.3 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[11]。任思洋等^[12]研究表明, 华北地区 2005—2014 年 10 年间冬小麦施氮量与氮盈余分布情况相似, 高投入和高盈余集中在河北、江苏北部及山东西部。

然而, 以往关于冬小麦农户施肥现状的研究多集中在局部地区, 缺乏对大尺度区域内农户施肥行为的系统性调查与分析。在华北玉米—小麦轮作区这一重要的粮食产区, 基于大样本全面深入地分析冬小麦农户施肥现状及存在问题的研究相对较少。本研究依托全国农户施肥信息监测系统, 连续 3 年对以河北、河南和山东 3 个省份为主要分布区的华北麦玉轮作区冬小麦种植户开展大样本施肥情况调查, 明确该区域农户的产量差、施

肥现状及存在问题,支撑服务“藏粮于技”战略,为推进中国小麦生产科学合理施肥提供数据支持,为促进农业绿色可持续发展提供理论基础和决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

华北地区(大致范围 32°N~40°N,112°E~120°E,面积约 125 万 km²)是中国重要的粮食与经济作物产区,属温带季风气候区,夏季高温多雨且雨量集中,冬季寒冷干燥少雪,≥10℃积温 3 500~4 700℃,5—9 月份平均气温 20~28℃,无霜期 180~220 d;全年降水量 500~750 mm,受季风与地形影响,降水时空分布不均,70%~80%的降水集中于 6—8 月份,雨热同季特征显著,光照资源充沛,昼夜温差较大,尤其适宜冬小麦的生长发育。该地区冬小麦多在 10 月中下旬夏玉米收后播种,次年 6 月收获,普遍采用冬小麦—夏玉米一年两熟轮作制,通过光热资源的高效复种利用,形成中国北方重要的粮食增产模式。

1.2 调查方法与内容

本研究依托全国农户施肥信息监测系统,采用 2022—2024 年华北地区农户冬小麦施肥调查数据。调查区域集中于华北灌溉冬麦区^[13-14],主

要包括山东省、河北省中南部,河南省中北部。调查内容主要包括农户信息、作物类型、产量等种植信息,氮、磷、钾养分及有机肥料施用量数据。每年由各省级肥水技术推广部门按照各市、县种植面积比例确定调查数量,由农户自行通过“施肥监测通”微信小程序填报或由农技人员代填,数据经县、市、省逐级审核后提交全国农户施肥信息监测系统。3 年调查农户 71 995 组,其中化肥养分投入有效数据 67 714 组。

1.3 施肥水平分级标准

本研究以农业农村部发布的《小麦、玉米、水稻三大粮食作物区域大配方与施肥建议》为基础^[13],参照华北灌溉冬麦区不同产量等级划分施肥水平^[14]。以最佳推荐施肥量为核心,考虑到区域大配方与施肥建议发布至今已近 12 年,将最佳施肥量分别上下浮动 20%作为农户合理施肥范围,施肥量低于合理施肥范围为不足,高于合理施肥范围为过量,其余为合理,具体划分标准见表 1。

1.4 产量差的计算

根据产量差的分类方法^[15-16],将前 5%的高产农户的平均产量作为产量潜力,产量差则为产量潜力与所有农户的平均产量之间的差值。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 2010 对数据进行处理。

表 1 华北灌溉冬麦区不同产量等级及其合理施肥范围

Table 1 Different yield levels and reasonable fertilization ranges in the winter wheat irrigation area of North China

产量等级 Yield level	产量范围 Yield range/(kg·hm ⁻²)	施肥量 Fertilizer application rate/(kg·hm ⁻²)		
		氮肥 N	磷肥 P ₂ O ₅	钾肥 K ₂ O
低产 Low yield	<6 000	87.6~172.4	43.2~86.4	25.9~51.8
中产 Medium yield	6 000~7 500	115.0~213.5	57.6~108.0	34.6~64.8
高产 High yield	7 500~9 000	142.3~262.8	72.0~129.6	43.2~77.8
超高产 Super high yield	≥9 000	175.2~303.8	86.4~151.2	51.8~90.7

2 结果与分析

2.1 小麦产量、产量潜力和产量差

2022—2024 年调查农户的冬小麦产量变化范围为 7 567.7~8 114.5 kg·hm⁻²,平均产量为 7 947.6 kg·hm⁻²(表 2);按照产量水平进行划分,低产、中产、高产和超高产农户数量分别占 5.6%、17.2%、46.7%和 30.5%(图 1)。

2022—2024 年农户产量潜力变化范围为 9 972.3~10 811.9 kg·hm⁻²,平均为 10 477.3 kg·hm⁻²;产量差变化范围为 2 361.7~2 697.4

kg·hm⁻²,平均为 2 529.7 kg·hm⁻²,农户平均产量实现了产量潜力的 75.9%。从年份来看,2022 年农户平均产量和产量潜力最高,同时产量差也最大,达到 2 697.4 kg·hm⁻²。从省份来看,河南省的产量潜力、平均产量和产量差均较高,平均产量差为 2 639.7 kg·hm⁻²。

2.2 化肥施用量和氮肥偏生产力

2022—2024 年冬小麦氮(N)、磷(P₂O₅)和钾(K₂O)施用量变化范围分别为 214.7~223.0、125.8~128.5 和 59.7~67.9 kg·hm⁻²,平均值分别为 218.8、127.0 和 63.0 kg·hm⁻²;总养分投入量

表 2 不同年份和省份冬小麦产量及产量差
Table 2 Yield and yield gap of winter wheat in different years and provinces

年份 Year	省份 Province	农户产量 Farmer yield/ (kg · hm ⁻²)	产量潜力 Yield potential/ (kg · hm ⁻²)	产量差 Yield gap/ (kg · hm ⁻²)	农户产量/产量潜力 Farmer yield/yield potential/%
2022	河北 Hebei(8 221)	8 274.1	10 635.3	2 361.2	77.8
	河南 Henan(7 170)	8 153.7	10 869.8	2 716.1	75.0
	山东 Shandong(9 994)	9 117.3	10 855.8	1 738.5	84.0
	合计 Total(25 385)	8 114.5	10 811.9	2 697.4	75.1
2023	河北 Hebei(6 706)	7 381.6	9 367.0	1 985.4	78.8
	河南 Henan(4 956)	7 731.4	10 214.8	2 483.4	75.7
	山东 Shandong(6 208)	8 140.8	10 046.5	1 905.7	81.0
	合计 Total(17 870)	7 567.7	9 972.3	2 404.6	75.9
2024	河北 Hebei(8 449)	8 374.6	10 177.3	1 802.7	82.3
	河南 Henan(6 140)	8 669.8	10 177.3	1 507.5	85.2
	山东 Shandong(9 870)	9 038.8	10 460.0	1 421.2	86.4
	合计 Total(24 459)	8 052.0	10 413.7	2 361.7	77.3
2022—2024	河北 Hebei(23 376)	7 898.6	10 237.2	2 338.6	77.2
	河南 Henan(18 266)	8 054.7	10 694.4	2 639.7	75.3
	山东 Shandong(26 072)	7 916.5	10 527.3	2 610.8	75.2
	合计 Total(67 714)	7 947.6	10 477.3	2 529.7	75.9

省份后括号中的数据为样本数。表 3 和表 4 同。
The values are the sample number in the parentheses after the provinces. The same in tables 3 and 4.

为 405.0~411.2 kg · hm⁻², 平均为 408.8 kg · hm⁻²。氮肥偏生产力为 39.1~43.1 kg · kg⁻¹, 平均为 40.9 kg · kg⁻¹。从年份来看, 2024 年施氮(N)量较高, 2022 年施磷(P₂O₅)量和施钾(K₂O)量较高。从省份看, 河南省农户平均施氮(N)量和施钾(K₂O)量较高, 分别为 224.7 和 74.0 kg · hm⁻², 高于山东省(214.8 和 70.7 kg · hm⁻²)和河北省(218.5 和 45.8 kg · hm⁻²); 山东省农户平均施磷(P₂O₅)量为 134.5 kg · hm⁻², 高于河北省(122.2 kg · hm⁻²)和河南省(122.5 kg · hm⁻²); 河南省农户的总养分投入较高, 平均为 421.2 kg · hm⁻²。

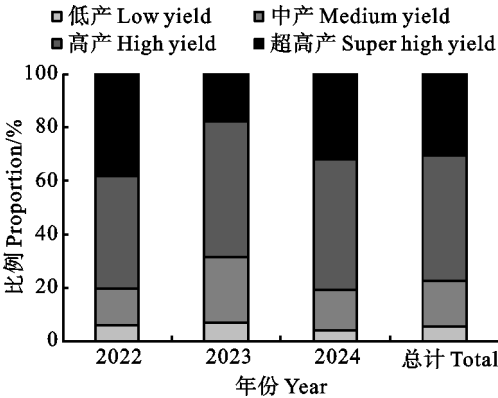


图 1 不同小麦产量水平农户占比
Fig. 1 Proportion of farmers at different wheat yield levels

表 3 不同年份和省份冬小麦化肥养分投入量及氮肥偏生产力
Table 3 Nutrient input, and nitrogen partial productivity of winter wheat in different years and provinces

年份 Year	省份 Province	施肥量 Fertilizer application rate/(kg · hm ⁻²)			总养分 Total input/ (kg · hm ⁻²)	氮肥偏生产力 NPFP/ (kg · kg ⁻¹)
		氮肥 N	磷肥 P ₂ O ₅	钾肥 K ₂ O		
2022	河北 Hebei(8 221)	213.3	122.3	50.2	385.7	44.2
	河南 Henan(7 170)	219.4	123.1	81.5	424.0	40.7
	山东 Shandong(9 994)	217.9	141.5	70.0	429.4	44.0
	合计 Total(25 385)	214.7	128.5	67.9	411.2	43.1
2023	河北 Hebei(6 706)	233.9	123.2	44.7	401.9	34.9
	河南 Henan(4 956)	215.7	121.0	70.9	407.6	40.1
	山东 Shandong(6 208)	210.7	137.6	66.7	415.0	42.8
	合计 Total(17 870)	218.7	126.6	59.7	405.0	39.1
2024	河北 Hebei(8 449)	213.4	121.0	41.0	375.4	40.4
	河南 Henan(6 140)	245.5	126.6	66.6	438.8	36.9
	山东 Shandong(9 870)	232.0	136.4	63.9	432.4	41.8
	合计 Total(24 459)	223.0	125.8	60.3	409.1	40.1
2022—2024	河北 Hebei(23 376)	218.5	122.2	45.8	386.5	40.1
	河南 Henan(18 266)	224.7	122.5	74.0	421.2	39.2
	山东 Shandong(26 072)	214.8	134.5	70.7	420.0	42.9
	合计 Total(67 714)	218.8	127.0	63.0	408.8	40.9

NPFP: Nitrogen partial factor productivity.

2.3 化肥施用现状评价

依据不同产量水平对应的氮肥施用标准评价 2022—2024 年冬小麦种植农户施氮的合理性, 结果(图 2)显示, 在所调研的农户中, 施氮不足、合理、过量的农户数量分别占 15.7%、58.7%和 25.7%, 施氮不合理主要表现为农户施氮过量, 其次是不足。从年份看, 2022—2024 年施氮不合理均表现为农户施氮过量, 其中 2023 年施氮过量的农户比例最高, 平均为 31.1%, 随着年份推移, 施氮不足农户的比例在逐年下降, 施氮合理农户比例在增加。从不同产量水平看, 随着产量水平的升高, 施氮合理和施氮不足的农户比例均逐渐增加, 施氮过量的农户比例逐渐降低, 其中超高产水平下施肥合理农户所占比例最高, 达到 64.3%。因此, 对于低产、中产和高产农户来说, 施氮过量比例高

于施氮不足, 但对于超高产农户来说, 施氮不足比例高于施氮过量比例。从地区看, 河南省施氮合理的农户比例(62.7%)略高于河北(61.9%)和山东(52.9%), 3 个省份氮肥施用不合理均主要表现为施氮过量, 山东省施氮过量比例较高, 约占 26.4%(图 3)。

分析农户施磷合理性(图 2)发现, 在所调研农户中, 施磷不足、合理、过量的农户数量分别占 12.9%、47.7%和 39.4%, 施磷不合理主要表现为施磷过量, 其次是施磷不足。从年份来看, 2022—2024 年施磷不合理均主要表现为施磷过量, 其中 2023 年施磷过量农户比例最高, 平均为 43.2%。从不同产量水平来看, 从低产到超高产, 施磷过量的农户比例均高于施磷不足, 随着产量水平的升高, 施磷过量的农户比例逐渐降低, 施磷

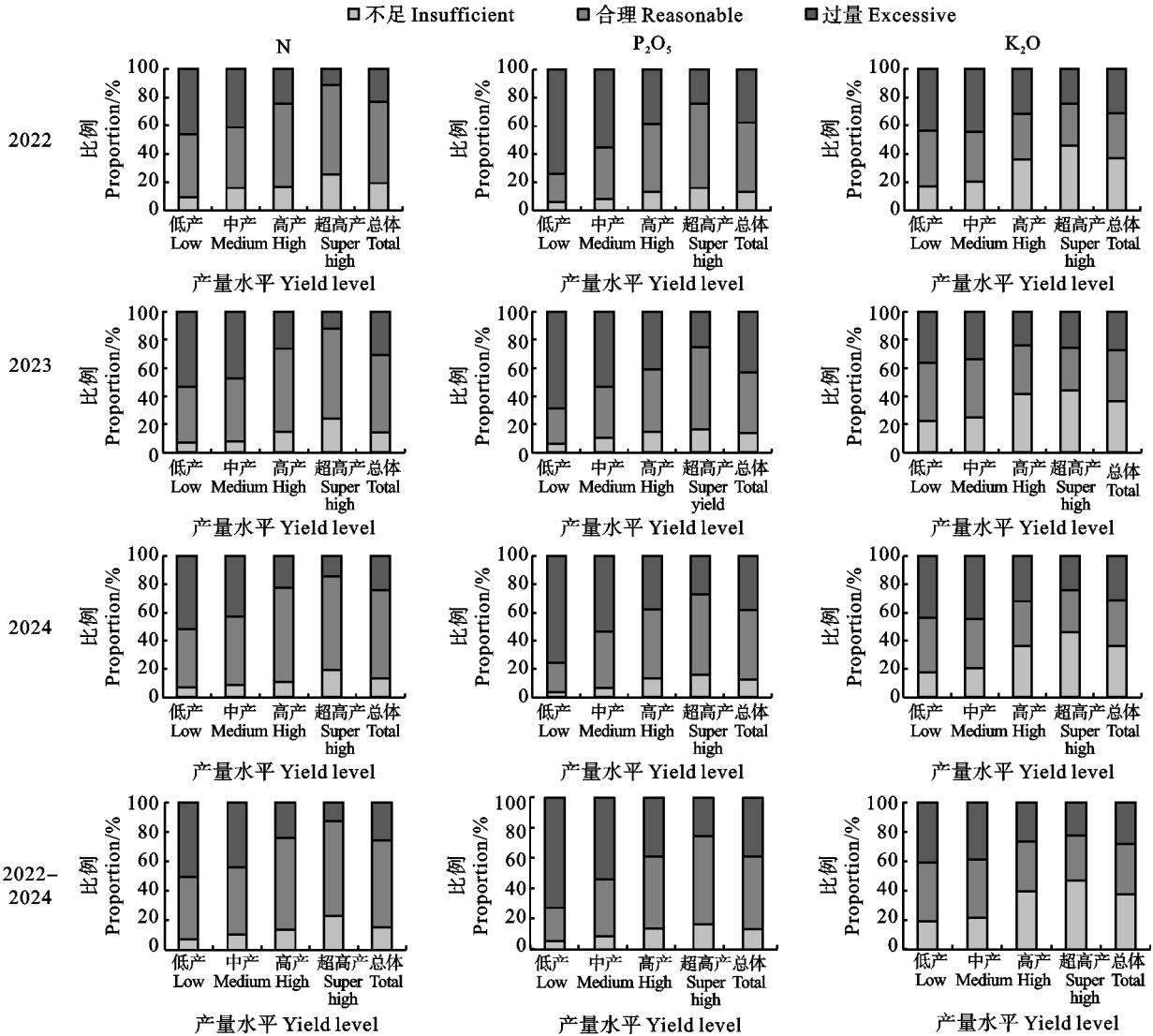


图 2 2022—2024 年不同产量等级的农户化肥施用量合理性分布

Fig. 2 Percentage distribution of fertilization rationality by farmers of different yield levels from 2022 to 2024

不足的农户比例逐渐增加;施磷合理的农户比例从 22.2%增加到 58.6%。从省份看,河北、河南和山东省的磷肥施用不合理均主要表现在施磷过量,山东省施磷过量比例较高,为 41.3%;河北省施磷不足的农户比例在逐年降低(图 3)。

从农户施钾合理性(图 2)看,在所调研农户中,施钾不足、合理、过量的农户数量分别占 37.5%、33.9%和 28.6%,施钾不合理主要表现为施钾不足,其次是施钾过量。从年份来看,2022—2024 年施钾不合理主要均表现为施钾不足,其中以 2024 年施钾不足的农户比例最高,达到 39.2%。随着年份的推移,施钾过量的农户数量比例缓慢

下降。从不同产量水平来看,随着产量水平的升高,施钾不足的农户比例逐渐增加,施钾过量的农户比例逐渐降低。从省份看,河北省钾肥施用不合理主要表现在施钾不足,占比高达 55.4%,且有逐年增加的趋势;河南施钾过量的农户比例高于施钾不足,施钾合理的农户比例逐年增加,施钾过量的农户比例逐年下降;山东省施钾不合理主要表现为施钾过量(图 3)。

2.4 有机肥料投入比例和用量

2022—2024 年冬小麦种植中施用有机肥的农户平均占比 30.4%,其中 2023 年施用有机肥的农户比例较高,平均为 32.1%(图 4)。从省份

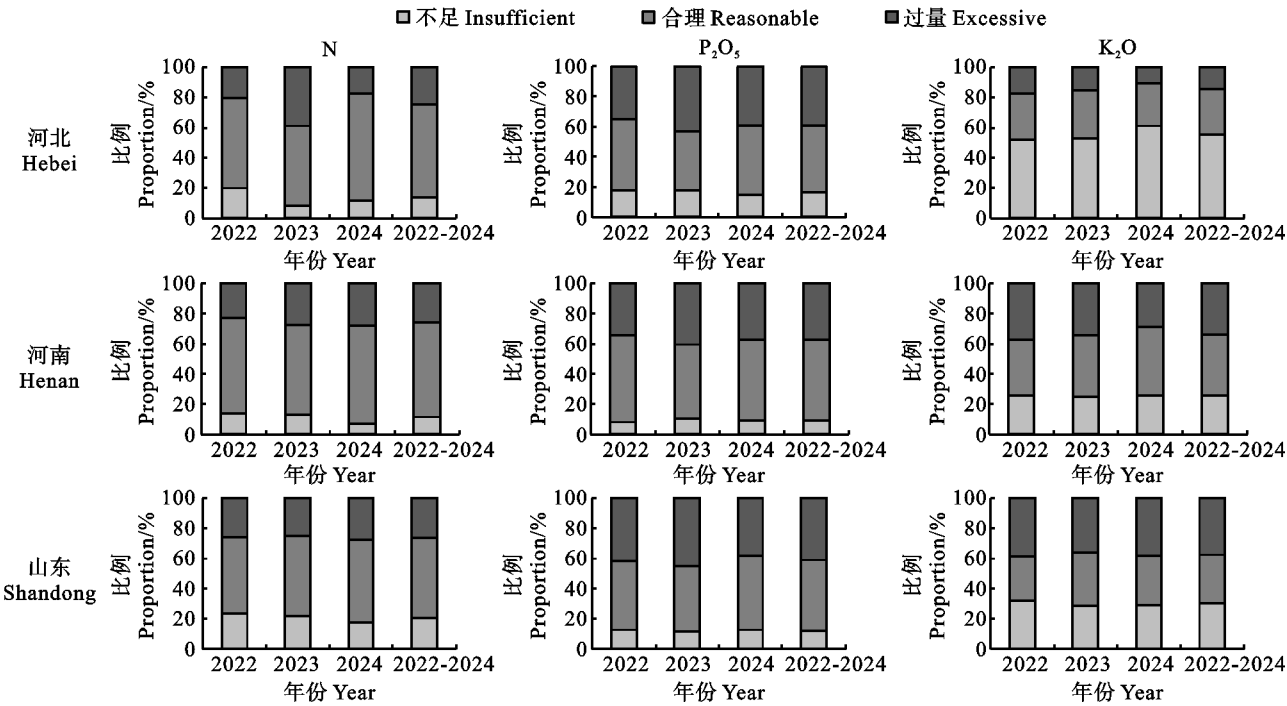


图 3 不同省份的农户化肥施用量合理性分布
Fig. 3 Percentage distribution of fertilization rationality among farmers in different provinces

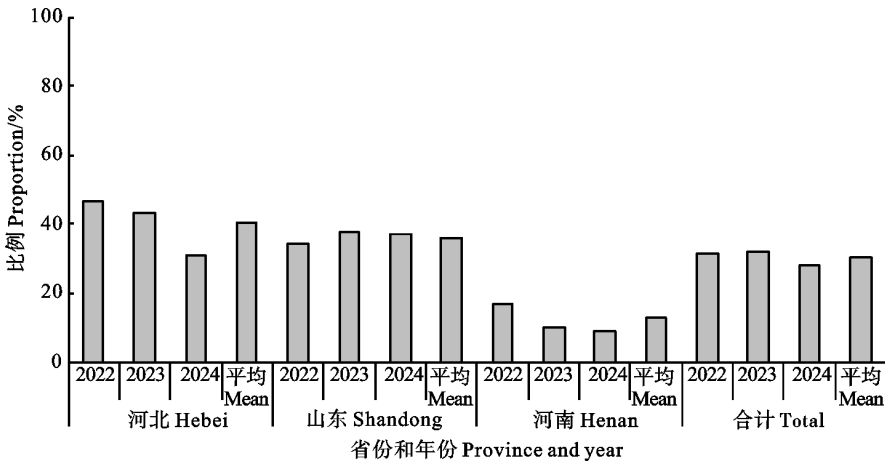


图 4 不同省份施用有机肥料农户比例
Fig. 4 Proportion of farmers applying organic fertilizer in different provinces

来看,河北省施用有机肥料的农户比例较高,平均为 40.2%,其次是山东省(36.2%)。

由表 4 可见,2022—2024 年施用商品有机肥料的农户比例平均为 10.0%,施用量平均为 1.5 t·hm⁻²。其中,山东省农户商品有机肥料投入的意愿相对较高,有近 1/5 的农户投入,平均施用量为 1.6 t·hm⁻²。

农家肥主要分为粪肥类、秸秆类和其他(绿肥、堆沤肥、沼渣肥等),平均投入比例为 23.0%,

投入量为 11.8 t·hm⁻²。其中,粪肥类有机肥施用比例为 4.3%,平均施用量为 15.7 t·hm⁻²,秸秆类有机肥施用比例为 18.1%,平均施用量为 10.1 t·hm⁻²,其他类有机肥施用比例为 1.3%,平均施用量为 14.7 t·hm⁻²。3 个省份投入的农家肥均以秸秆类为主,河北省的农家肥投入农户比例较高,平均为 39.0%,平均用量为 10.7 t·hm⁻²;山东省农户农家肥投入量较高,平均为 14.5 t·hm⁻²。

表 4 不同年份和省份冬小麦有机肥料投入的比例和用量
Table 4 Proportion and dosage of organic fertilizer input for winter wheat in different years and provinces

年份 Year	省份 Province	商品有机肥投入 Commodity organic fertilizer		农家肥 Non commercialized organic fertilizers							
				粪肥类 Manure		秸秆类 Straw organic fertilizer		其他 Others		合计 Total	
		比例 Proportion/%	用量 Input/ (t·hm ⁻²)	比例 Proportion/%	用量 Input/ (t·hm ⁻²)	比例 Proportion/%	用量 Input/ (t·hm ⁻²)	比例 Proportion/%	用量 Input/ (t·hm ⁻²)	比例 Proportion/%	用量 Input/ (t·hm ⁻²)
2022	河北 Hebei (8 221)	3.5	1.1	2.7	16.4	43.4	10.4	0.1	19.0	46.9	10.6
	河南 Henan (7 170)	6.8	0.9	2.3	11.3	7.9	7.3	0.4	11.4	10.3	8.6
	山东 Shandong (9 994)	17.7	2.0	8.0	19.0	13.4	9.7	2.5	17.6	22.6	14.9
	合计 Total (25 385)	9.5	1.7	4.3	17.0	20.2	9.8	1.0	16.8	25.2	11.6
2023	河北 Hebei (6 706)	2.2	0.7	1.8	13.0	40.3	10.7	0.0	15.5	41.7	10.9
	河南 Henan (4 956)	6.2	1.5	1.2	6.9	1.8	8.2	0.8	2.9	3.8	7.0
	山东 Shandong (6 208)	18.9	1.7	7.6	16.3	14.7	10.3	4.8	15.1	24.4	14.2
	合计 Total (17 870)	9.1	1.5	3.6	14.8	20.8	10.5	1.9	13.7	25.2	11.8
2024	河北 Hebei (8 449)	2.5	1.8	1.3	14.4	27.6	10.1	0.1	25.7	28.7	10.6
	河南 Henan (6 140)	4.7	1.4	1.7	6.8	2.5	10.0	0.3	9.9	4.4	8.9
	山东 Shandong (9 870)	22.7	1.3	9.3	15.7	8.3	11.0	2.5	13.5	18.8	14.4
	合计 Total (24 459)	11.2	1.3	4.7	14.7	13.5	10.4	1.1	13.8	18.6	12.0
2022— 2024	河北 Hebei (23 376)	2.8	1.2	1.9	15.0	37.0	10.4	0.1	22.1	39.0	10.7
	河南 Henan (18 266)	6.1	1.2	1.9	9.5	5.0	7.8	0.5	7.8	7.2	8.4
	山东 Shandong (26 072)	19.9	1.6	8.4	17.0	11.8	10.2	3.0	15.4	21.6	14.5
	合计 Total (67 714)	10.0	1.5	4.3	15.7	18.1	11.5	1.3	14.7	23.0	11.8

3 讨论

3.1 产量、产量潜力和产量差

本研究中连续 3 年的农户调查数据显示,华北地区农户平均产量为 7.95 t·hm⁻²,达到了高产水平(7 500~9 000 kg·hm⁻²),与黄倩楠等^[17]2015—2016 年在华北麦玉区开展的农户调

研结果(7.8 t·hm⁻²)较为一致,但高于严如玉等^[7]统计的 2018—2021 年华北麦区的研究结果,可能的原因一方面是调查年份的不同造成农户使用品种、技术措施等方面存在差异,另一方面是数据来源的不同,农户调查的数据一般高于统计年鉴的数据。从省份来看,河南省平均产量 8.05 t·hm⁻²,略高于山东省(7.91 t·hm⁻²)和河北省

($7.90 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),但相差不大。任思洋等^[12]通过分析华北平原 2005—2014 年农户调研数据发现,华北地区 10 年间小麦产量总体呈增加趋势,平均值为 $6.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,河南的 10 年产量均值($6.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)高于山东($6.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)和河北($6.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),与本研究趋势一致,但是平均产量低近 $1.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。究其原因主要是调查年份的差异,根据统计年鉴的数据显示,从 2012 年至 2021 年,中国小麦单产逐年稳步提升,平均提高约 $0.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,而与中国其他麦区相比,华北麦区平均单产最高,10 年间单产提升可能大于 $0.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[7]。

研究产量潜力和产量差对揭示未来粮食增产潜力、有针对性地制定提高作物产量的措施具有重要意义。本研究中将产量前 5% 农户的平均产量作为产量潜力,以此计算得到的产量潜力和产量差分别为 10.5 和 $2.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,即农户平均产量实现了产量潜力的 75.9%。与米倩^[18]在豫北调研结果(产量潜力 $10\,484.71 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、产量差 $2\,779 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和李亚茹^[19]基于 DSSAT 模型估算华北地区结果(产量差 $10.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)均一致。虽然产量潜力和产量差均高于黄少辉等^[20]在河北省的调研结果,但农户产量实现产量潜力的百分比(77.4%)基本一致。总体来看,与其他麦区相比,华北麦区虽然产量潜力和平均产量较高,但是产量差也较高,农户距离产量潜力还有一定差距。

3.2 化学养分投入

本研究中冬小麦—夏玉米轮作区冬小麦氮肥(N)投入量平均为 $218.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,低于黄倩楠等^[21]2015—2016 年在华北麦玉区开展的农户调研结果($236.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和严如玉等^[7]通过 2012—2022 年发表文献中数据整合分析获得的华北麦区氮肥平均施用量($240.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),可见农户养分投入有降低的趋势。其中,河南省的氮肥(N)投入量与徐霞等^[22]2013—2018 年在河南的调研结果($198 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和王改革等^[8]2018 年在河南省的实地问卷调查结果($184 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)相比略高;河北省的氮肥(N)投入量与黄少辉等^[20]和孙彦铭等^[11]2011—2014 年在河北的研究结果相比略低;山东省的氮肥(N)投入量与李健敏等^[23]2015 年的测土配方施肥项目数据结果($207.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和任思洋等^[12]2005—2014 年农户调研数据($221 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)的分析结果较

为一致。这些差异主要来自研究区域和时间的差异以及农户施肥年际间的不稳定性。随着产量水平的提升,施氮不足的农户比例逐渐升高,施肥过量的农户比例逐渐降低,这与黄倩楠等^[21]在麦玉轮作区的研究结果基本一致,由于本研究中低产农户比例较低,高产农户比例较高,造成总体施氮过量的农户比例高于施氮不足。

本研究中冬小麦农户磷肥(P_2O_5)投入量平均为 $127.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,与黄倩楠等^[21]2015 冬小麦—夏玉米 2016 年在华北麦玉区开展的农户调研结果($124.3 \sim 131.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)基本一致,均高于前人在河北^[11,24]、河南^[8,9]和山东^[10]研究得到的农户施磷量。与本区域平均产量水平对应的推荐施磷量($72.0 \sim 129.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)相比较,该地区冬小麦磷肥平均施用量处于推荐量的较高水平,因此三年当中,对于任何产量水平农户,磷肥施用不合理均表现为施用过量。因此,尽管华北麦区的磷肥施用对小麦的增产效应阈值(施磷量阈值, $71.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)在 4 大麦区中居首^[25],但在中国冬小麦各麦区中,麦玉区冬小麦减磷潜力最大,旱作区次之,稻麦区最小^[26]。中国虽是全球磷肥的第一大生产国,但磷储量仅占全球的 4.57%^[27],磷肥过量施用不仅难以实现小麦增产,反而会造成土壤磷素累积和流失风险,导致水体富营养化等环境问题。因此,需要在磷肥科学施用上进一步加强科学施肥技术推广。

本研究中冬小麦农户施钾(K_2O)量平均为 $63.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,低于黄倩楠等^[21]2015 冬小麦—夏玉米 2016 年在华北麦玉区开展的农户调研结果($71.5 \sim 76.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),其中河北省平均施用量($45.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)与孙彦铭^[11]在河北的研究结果($45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)接近;河南省的平均施用量($74.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)高于王改革^[8]和赵彦锋等^[9]等在河南小麦主产区研究结果($58.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$);山东省的平均施用量($70.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)与张珊珊^[10]的研究结果($69.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)基本一致。从本区域平均产量水平对应的推荐施钾量($43.2 \sim 77.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)来看,虽然该地区冬小麦钾肥平均施用量处于推荐量的较高水平,但是对于高产水平以上农户来说缺钾较为明显,且高产以上农户占比超过 70%,因此钾肥施用不合理整体表现为施用不足,与李健敏“与理论最佳产量施肥量相比,当前氮肥、磷肥投入超量,而钾肥投入不足”的结论一致^[23]。因此,需要在增加钾肥施用上加强

科学施肥技术推广。

3.3 有机肥料的施用

麦田合理施用有机肥可有效改善土壤的物理、化学和生物性质,同时对小麦产量、品质和养分利用效率均能产生有益影响,能够有效替代和减少化学肥料施用量,实现小麦丰产优质绿色环保生产^[28-29]。然而与经济作物相比,粮食作物种植户有机肥替代技术的采纳率及采纳程度均较低^[30]。黄炎忠等^[31]通过对湖北省果菜茶种植户的调研发现,愿意施用有机肥替代化肥的农户占比高达 90.59%,具有有机肥替代化肥实际施用行为的样本占比为 62.10%,其中施用商品有机肥的总样本量占比为 49.73%,施用农家肥的总样本量占比为 16.94%,原因可能受到农户认知、资源禀赋、技术培训等多方面的影响^[32]。受有机肥种类较多、养分不确定等因素影响,目前对有机肥推荐量的研究较少。贾靖等^[33]认为,在山东莱阳最有利于小麦品质的施肥措施为年施有机肥(发酵猪粪)60 000 kg·hm⁻²+化肥氮 138 kg·hm⁻²。与之相比,本研究中农户粪肥类有机肥施用量较低。根据山东省地方标准《主要粮食作物有机肥施用技术规程》(DB 37/T 2049—2021)^[34],目标产量为 7 500~9 000 kg·hm⁻²时,农家肥推荐量为 37.5~45 m³·hm⁻²或商品有机肥 1 500~2 250 kg·hm⁻²。据此,商品有机肥农户施用量较为合理。在河南通过有机肥替代部分化肥梯度试验,有机肥(商品有机肥料)替代 10%(施用量约 472 kg·hm⁻²)~20%(施用量约 3 000 kg·hm⁻²)化肥(氮)可显著提高小麦产量,实现稳产高产^[35-36],可见本研究中农户商品有机肥施用量较为合适。但是需要注意的是,市场上的商品有机肥养分含量差异较大,不同种类畜禽粪便中养分含量也不同,但现行对有机肥的推荐较为笼统,需进一步细化或给出总有机氮推荐施用量,才能实现精准推广,发挥有机肥料的真正作用。

4 结论

通过对华北冬小麦冬小麦—夏玉米轮作区冬小麦种植农户产量、养分管理现状和施肥合理性分析,农户平均产量实现了产量潜力的 75.9%,还有较大产量提升潜力。氮肥施用不合理主要表现为从低产到高产均有不同程度的过量,但超高产农户来说施氮不足;磷肥不合理主要表现为各产量水平农户均存在不同程度过量施磷的问题;

钾肥不合理主要表现为中产、低产农户施钾过量,高产以上农户施钾不足,总体表现为不足。农户有机肥料施用比例较低,应针对不同产量水平农户以及三种养分施用现状的特点开展针对性科学施肥技术推广。

参考文献:

- [1]国家统计局关于 2024 年粮食产量数据的公告, https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202412/t20241213_1957744.html. National Bureau of Statistics of China. announcement on grain output data for 2024, 13 Dec 2024. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202412/t20241213_1957744.html.
- [2]赵佳雯,李子洪,欧星雨,等. 氮肥与钾肥运筹对弱筋小麦籽粒产量、品质的影响[J]. 作物学报, 2025, 51(7): 1914. ZHAO J W, LI Z H, OU X Y, et al. Effects of nitrogen and potassium fertilizer management on grain yield and quality of weak-gluten wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2025, 51(7): 1914.
- [3]吕旭东,孙世媛,李亚楠,等. 智能机械化分层施肥对中低产田小麦产量形成和养分利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2025, 31(4): 657. LÜ X D, SUN S Y, LI Y N, et al. Stratified fertilization by means of intelligent machine increases wheat yield and nutrient utilization in medium-low yield fields of North China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2025, 31(4): 657.
- [4]唐澄柯,葛雨洋,周吉鑫,等. 磷钾肥施用策略对稻茬中强筋小麦籽粒产量、品质及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2025, 31(2): 254. TANG Y K, GE Y Y, ZHOU J X, et al. Effects of phosphorus and potassium fertilizer application strategies on grain yield, quality and nutrient absorption of medium and strong-gluten wheat in rice-wheat system [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2025, 31(2): 254.
- [5]刘宪扬,刘红恩,聂兆君,等. 有机肥与氮肥配施对土壤氮素转化及冬小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(12): 1580. LIU H Y, LIU H E, NIE Z J, et al. Effects of combined application of organic fertilizer and nitrogen fertilizer on nitrogen transformation in soil and grain yield and quality of winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(12): 1580.
- [6]郝红玉,张统帅,杨那,等. 监控施肥配施有机肥和生物炭对小麦产量及籽粒淀粉理化特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(11): 1439. HAO H Y, ZHANG T S, YANG N, et al. Effect of monitoring fertilization combined with organic fertilizer and biochar on wheat yield and physicochemical properties of grain starch [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(11): 1439.
- [7]严如玉,赵希梅,向风云,等. 中国小麦优势区域生产格局及施肥现状研究[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(2): 230.

- YAN R Y, ZHAO X M, XIANG F Y, *et al.* Research on the production pattern and fertilization status in China's dominant regions of wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44 (2): 230.
- [8] 王改革, 任宁, 汪洋, 等. 2014—2018年河南省冬小麦施肥现状及增产潜力评价[J]. 农学学报, 2022, 12(2): 8.
WANG G G, REN N, WANG Y, *et al.* Winter wheat in Henan Province: An evaluation of fertilization status and yield increase potential in 2014—2018 [J]. *Journal of Agriculture*, 2022, 12(2): 8.
- [9] 赵彦锋, 程道全, 巫振富, 等. 基于空间分析的河南省小麦施肥问题诊断与地理优化[J]. 土壤学报, 2020, 57(5): 1206.
ZHAO Y F, CHENG D Q, WU Z F, *et al.* Problem diagnosis and geographic optimization for fertilization of wheat in Henan Province based on spatial analysis [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2020, 57(5): 1206.
- [10] 张姗姗, 高霞, 马荣辉, 等. 山东省农户小麦施肥现状调查与评价[J]. 中国农技推广, 2024, 40(9): 74.
ZHANG S S, GAO X, MA R H, *et al.* Survey and evaluation of wheat fertilization status in rural households in Shandong Province [J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2024, 40(9): 74.
- [11] 孙彦铭, 黄少辉, 杨振立, 等. 河北平原冬小麦、夏玉米农田基础产量和地力贡献率分析[J]. 中国土壤与肥料, 2018(1): 153.
SUN Y M, HUANG S H, YANG Z L, *et al.* Evaluation of basic yield and percentage of soil fertility contribution of winter wheat and summer maize in Hebei Plain [J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2018(1): 153.
- [12] 任思洋, 张青松, 李婷玉, 等. 华北平原五省冬小麦产量和氮素管理的时空变异[J]. 中国农业科学, 2019, 52(24): 4527.
REN S Y, ZHANG Q S, LI T Y, *et al.* Spatiotemporal variation of winter wheat yield and nitrogen management in five provinces of North China Plain [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(24): 4527.
- [13] 中华人民共和国农业农村部. 小麦、玉米、水稻三大粮食作物区域大配方与施肥建议(2013) [OL]. http://www.zzys.moa.gov.cn/tzgg/201307/t20130729_6310551.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Regional master fertilization formulas and application recommendations for wheat, corn, and rice (The three major grain crops) (2013) [OL]. http://www.zzys.moa.gov.cn/tzgg/201307/t20130729_6310551.htm.
- [14] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 等. 中国小麦区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(11): 30.
WU L Q, WU L, CUI Z L, *et al.* Optimal regional nitrogen, phosphorus, potassium rates recommendations and special fertilizer formulae study for wheat in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2019, 24(11): 30.
- [15] LOBELL D B, CASSMAN K G, FIELD C B. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes [J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2009, 34: 179.
- [16] 刘保花, 陈新平, 崔振岭, 等. 三大粮食作物产量潜力与产量差研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(5): 525.
LIU B H, CHEN X P, CUI Z L, *et al.* Research advance in yield potential and yield gap of three major cereal crops [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(5): 525.
- [17] 黄倩楠, 王朝辉, 黄婷苗, 等. 中国主要麦区农户小麦氮磷钾养分需求与产量的关系[J]. 中国农业科学, 2018, 51(14): 2722.
HUANG Q N, WANG Z H, HUANG T M, *et al.* Relationships of N, P and K requirement to wheat grain yield of farmers in major wheat production regions of China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(14): 2722.
- [18] 米倩. 豫北农户冬小麦产量形成特征及影响因素[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2023.
MI Q. Formation characteristics and influencing factors of winter wheat yield of farmer [D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2023.
- [19] 刘亚茹. 我国小麦产量差评估及有机物料还田提高旱地小麦产量的效应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2024.
LIU Y R. Evaluation of yield gap of wheat in China and the effect of returning organic matter to field to increase wheat yield in dryland [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2024.
- [20] 黄少辉, 杨云马, 刘克桐, 等. 河北省小麦产量潜力、产量差与效率差分析[J]. 作物杂志, 2018(2): 118.
HUANG S H, YANG Y M, LIU K T, *et al.* Yield potential, yield gap and nitrogen use efficiency gap of winter wheat in Hebei Province [J]. *Crops*, 2018(2): 118.
- [21] 黄倩楠, 党海燕, 黄婷苗, 等. 我国主要麦区农户施肥评价及减肥潜力分析[J]. 中国农业科学, 2020, 53(23): 4816.
HUANG Q N, DANG H Y, HUANG T M, *et al.* Evaluation of farmers' fertilizer application and fertilizer reduction potentials in major wheat production regions of China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(23): 4816.
- [22] 徐霞, 黄玉芳, 叶优良, 等. 基于GIS的河南省小麦区域减肥减排潜力评价[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(11): 61.
XU X, HUANG Y F, YE Y L, *et al.* Gis-based evaluation of their mitigation potential of fertilizer application and greenhouse gas emission at different wheat plantation regions in Henan, China [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(11): 61.
- [23] 李健敏, 赵庚星, 李涛, 等. 山东省小麦施肥特征与评价[J]. 中国农业科学, 2018, 51(12): 2322.
LI J M, ZHAO G X, LI T, *et al.* The characteristics and evaluation of wheat fertilization in Shandong Province [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(12): 2322.
- [24] 贾良良, 杨军芳, 孙彦铭, 等. 小麦养分专家系统推荐施肥对河北省冬小麦产量、养分效率和环境效应的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5): 51.
JIA L L, YANG J F, SUN Y M, *et al.* Effects of nutrient expert recommendation fertilization on winter wheat yield, nutrient utilization efficiency and environmental in Hebei Prov-

- ince [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2017(5):51.
- [25]李顺晋,安雨丽,崔玉涛,等. 中国小麦生产的磷肥用量优化潜力及其对产量、籽粒营养和环境效应的影响[J]. *浙江农业学报*, 2021, 33(8):1358.
- LI S J, AN Y L, CUI Y T, *et al.* Optimization potential of phosphorus input in wheat production in China and its effects on yield, grain nutrition and ecological environment [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2021, 33(8):1358.
- [26]朱利. 我国冬小麦磷肥施用及减施效应分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2023.
- ZHU L. Study on phosphorus fertilization for winter wheat production in China and its reduction effect [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2023.
- [27]张亮,杨卉芃,冯安生,等. 全球磷矿资源开发利用现状及市场分析[J]. *矿产保护与利用*, 2017(5):105.
- ZHANG L, YANG H P, FENG A S, *et al.* Study on general situation and analysis of supply and demand of global phosphate resources [J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2017(5):105.
- [28]李永华,武雪萍,何刚,等. 我国麦田有机肥替代化学氮肥的产量及经济环境效应[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(23):4879.
- LI Y H, WU X P, HE G, *et al.* Benefits of yield, environment and economy from substituting fertilizer by manure for wheat production of China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(23):4879.
- [29]党海燕,王朝辉. 我国麦田有机肥施用:研究历史、瓶颈与解决策略[J]. *植物营养与肥料学报*, 2025, 31(1):12.
- DANG H Y, WANG Z H. Organic fertilizer application in wheat production of China: History, bottleneck, and strategy [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2025, 31(1):12.
- [30]孙彬涵,罗小锋,唐林,等. 缘何有机肥在经济作物中推广更顺利? [J]. *中国农业大学学报*, 2024, 29(6):249.
- SUN B H, LUO X F, TANG L, *et al.* Why does organic fertilizer promotion go smoother in cash crops? An analysis based on market environment [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(6):249.
- [31]黄炎忠,罗小锋,刘迪,等. 农户有机肥替代化肥技术采纳的影响因素:对高意愿低行为的现象解释[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(3):632.
- HUANG Y Z, LUO X F, LIU D, *et al.* Factors affecting farmers' adoption of organic fertilizer instead of chemical fertilizer: Explaining the phenomenon of farmers' little behavior with strong willingness [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(3):632.
- [32]陈钊涵,赵敏娟. 资本禀赋对农户有机肥替代技术采纳行为影响及作用机制[J]. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2024, 24(3):116.
- CHEN Y H, ZHAO M J. Influence and mechanism of capital endowment on farmers' adoption of organic fertilizer substitution technology [J]. *Journal of Northwest A & F University (Social Science Edition)*, 2024, 24(3):116.
- [33]贾靖,孟繁港,朱紫鑫,等. 长期施肥对强筋专用小麦籽粒营养及磨粉品质性状的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2024, 30(1):190.
- JIA J, MENG F G, ZHU Z X, *et al.* Effect of long-term fertilization on nutritional and milling quality traits of strong specialty wheat kernels [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2024, 30(1):190.
- [34]山东省市场监管局. 主要粮食作物有机肥施用技术规程(DB 237/T2049-2021)[S]. 2021. Shandong Provincial Market Supervision Bureau. Technical Specifications for the Application of Organic Fertilizer in Major Grain Crops (DB 37/T2049-2021) [S]. 2021.
- [35]王校辉. 有机肥替代部分化肥在小麦生产上的应用效果研究[J]. *陕西农业科学*, 2020, 66(3):4.
- WANG X H. Study on the application effect of organic fertilizer replacing part of chemical fertilizer in wheat production [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 66(3):4.
- [36]申长卫,袁敬平,李新华,等. 有机肥氮替代20%化肥氮提高豫北冬小麦氮肥利用率和土壤肥力[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(8):1395.
- SHEN C W, YUAN J P, LI X H, *et al.* Improving winter wheat N utilization efficiency and soil fertility through replacement of chemical N by 20% organic manure [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2020, 26(8):1395.