



邹秦琦, 姚澜, 江敬安, 沈云鹏, 薛彦东, 张卫峰. 复合肥料养分含量和配比与农业需求的匹配度研究[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(12): 1-11.
ZOU Qinqi, YAO Lan, JIANG Jing'an, SHEN Yunpeng, XUE Yandong, ZHANG Weifeng. Studies on the matching degree of both nutrient content and proportion of compound fertilizers with agricultural needs[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(12): 1-11.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.12.01

复合肥料养分含量和配比与农业需求的匹配度研究

邹秦琦¹ 姚澜¹ 江敬安¹ 沈云鹏^{1,2} 薛彦东³ 张卫峰^{1*}

- (1. 中国农业大学 资源与环境学院/国家农业绿色发展研究院/养分资源高效利用全国重点实验室/
植物-土壤相互作用教育部重点实验室, 北京 100193;
2. 吉林农业大学 资源与环境学院, 长春 130118;
3. 农业农村部 种植业管理司, 北京 100125)

摘要 为研究市场流通肥料的养分含量、养分配比与农业生产需求的匹配情况,以主要粮食产区市场流通的复合肥料产品为研究对象,采用定量分析和对比研究的方法,对复合肥料的标识含量和配比与推荐用量和配方的匹配度进行分析。结果表明:1)复合肥料含量与农业需求匹配度低,且普遍存在养分含量过量的问题。在小麦、水稻和玉米产区中复合肥料的氮磷钾综合含量匹配度分别为51.29%、37.44%和30.50%。复合肥料养分含量平均高于推荐养分用量,需要缩小包装规格和调整配方;2)复合肥料标识配比与推荐配方的匹配程度低。在小麦、水稻和玉米产区中复合肥料的氮磷钾综合养分均符合推荐配方的比例分别为1.55%、5.16%和0.57%;3)作物产区中流通的复合肥料养分配比不合理。小麦、水稻和玉米产区市场流通的复合肥料养分配比整体上表现为氮配比高于推荐配方、磷配比低于推荐配方,需调整养分配比,减少氮的配比。因此,亟需推进和落实肥料实名制与定额制,加强对复合肥料的监管,从肥料产业供给角度改进复合肥料产品,并推进复合肥料的合理供应,提高复合肥料与农业生产需求的匹配程度。

关键词 复合肥料; 推荐肥料用量; 推荐肥料配方; 养分含量; 养分配比; 匹配度; 肥料定额制

中图分类号 S-1 文章编号 1007-4333(2024)12-0001-11 文献标志码 A

Studies on the matching degree of both nutrient content and proportion of compound fertilizers with agricultural needs

ZOU Qinqi¹, YAO Lan¹, JIANG Jing'an¹, SHEN Yunpeng^{1,2},
XUE Yandong³, ZHANG Weifeng^{1*}

- (1. College of Resources and Environmental Sciences/National Academy of Agriculture Green Development/State Key Laboratory of Nutrient Use and Management/Key Laboratory of Plant-Soil Interactions of Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;
3. Planting Management Department, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China)

Abstract To explore the adaptability of the nutrient content and proportion of compound fertilizers in circulation with the needs of agricultural production, the compound fertilizer products circulating in the market of the main grain producing regions are taken as study subjects. The quantitative analysis and comparative study methods are adopted to analyze the correspondence of the labeled contents and

收稿日期: 2024-05-31

基金项目: 农业农村部种植业管理司农林牧渔业发展技术服务项目(152309007)

第一作者: 邹秦琦(ORCID:0000-0003-4945-7733), 博士研究生, E-mail:qi.zq@cau.edu.cn

通讯作者: 张卫峰(ORCID:0000-0002-6675-2075), 教授, 主要从事养分资源宏观管理研究, E-mail:wzhang@cau.edu.cn

proportions of compound fertilizers with the recommended contents and formulas. The results show that: 1) There is low compatibility between the compound fertilizer content and the agricultural demand, and the excessive nutrient content is common. In wheat, rice and maize production regions, the matching degrees of comprehensive content of nitrogen, phosphorus, and potassium are 51.29%, 37.44% and 30.50%, respectively. The compound fertilizer nutrient content is higher than the recommended nutrient content on average, and there is need to reduce the package size and adjust the formula; 2) There is low compatibility between the compound fertilizer labeling proportions with recommended formulas. In wheat, rice and maize production regions, The comprehensive nutrients of nitrogen, phosphorus and potassium in compound fertilizers are in line with the recommended formula ratio of 1.55%, 5.16% and 0.57%, respectively; 3) The nutrient proportions of compound fertilizers circulating in crop production areas are unreasonable. In, wheat, rice and maize production region, the market circulation of compound fertilizer nutrient proportions on the whole is as follows: N proportions are higher than the recommended formula, and P proportions are lower than the recommended formula. Therefore, it is necessary to adjust the proportion of nutrients by reducing the proportion of N. In conclusion, there is an urgent need to promote and implement the real name and quota systems for fertilizers, strengthen supervision over compound fertilizers, improve compound fertilizer products from the perspective of fertilizer industry supply, and promote the rational supply of compound fertilizers in order to improve the matching degree between compound fertilizers and agricultural production demand.

Keywords compound fertilizers; recommended fertilizer rate; recommended fertilizer formula; nutrient content; nutrient proportion; matching degree; fertilizer quota system

肥料作为农业生产的重要资料,是农业可持续发展的物质基础,农业发展离不开肥料产业的支撑,推进农业供给侧结构性改革是肥料产业是绕不过去的一个环节^[1]。为推进化肥科学施用,中国自2005年开始推行测土配方肥^[2];2015年中国提出化肥零增长行动计划^[3]。到2020年,中国化肥总量实现零增长,主要粮食作物的化肥利用效率超40%,说明化肥科学施用取得较大成效^[4]。通过大力推进化肥减量增效,科学施肥也有了一定的基础支撑,这为农业绿色生产力发展也即农业新质生产力发展提供了有利的条件。习近平总书记在十四届全国人大二次会议上强调,新质生产力是由技术突破,生产要素创新配置和产业深度转型升级催生的,并且是以绿色发展为基础^[5]。对比发达国家化肥利用效率在50%~60%,我国化肥的绿色发展仍存在很大空间^[6-8]。

已有研究从农艺技术应用改进和肥料产品的创新来提高肥料利用效率^[9]。化肥减量增效研究大部分聚焦于农户使用端,然而,由于传统小农户受限于自身禀赋条件,对测土配方施肥掌握应用存在困难^[10]。基于新质生产力以优化劳动资料和使用者的组合实现质变,需要提高对经销体系中肥料的供给、流通和质量管理的关注,引导肥料行业朝向

绿色、高效、生态方向转型和发展^[1]。浙江、江苏、广东等地区开始尝试实施肥料定额制和实名制登记的制度,以期规范化肥的供应和施用^[11]。2022年《中国统计年鉴》^[12]数据显示,农业化肥施用量中,复混肥料占全部农用化肥施用量的46.63%,复合肥料产品中不同养分配比会极大影响着农户肥料的施用行为。定额制和实名制的建立和实施,将有助于规范肥料产品管理,促进肥料科学供应。

中国肥料产品结构发展与发达国家不同,意味着中国的肥料供给需要有符合自己国情的方式。与美国、德国的肥料产品结构对比,中国肥料产业发展趋势与美、德等国家截然相反^[13]。中国的化肥产品中复合肥料所占比例增加,而美德等发达国家复合肥料所占比例减少^[13]。中国由于末端肥料配置系统的不发达和大国小农的基本国情难以实现和美德等发达国家一样以单质肥为主的肥料供应^[13]。在基本国情长期基本不变,小农长期存在的背景下,完善中国复合肥料区域合理配比供给对促进中国科学施肥具有重要意义^[14]。

改进复合肥料的配比是满足土壤和作物养分需求和促进肥料产业转变的重点。李亮科等^[15]研究发现市场流通的复合肥料养分配比与作物需求配比匹配度仅有3%。自2005年,中国大力推进政

府测土、专家配方、企业供肥、联合服务,来激发农企对接的活力和促进肥料市场与农业生产协调发展。在此期间,政府发布了《主要农作物肥料配方制定与推广》^[16],领域专家和地方农业科技部门每年也在重要生产季前发布主要农作物科学施肥指导意见;市场运行上,企业与政府、科研单位合作开展配方研究、生产和推广应用。然而,当前中国复合肥料的发展现状新变化尚未见报道,复合肥料与农业生产需求的匹配情况鲜有研究,复合肥料产业新的形势还尚不明确。因此,为了解市场流通中的复合肥料产品供应现状,协调其与农业生产需求匹配,并探索肥料管理制度的构建,本研究拟以中国 12 个省份的复合肥料产品为研究对象,采用实地调研和定量分析的方法,分析复合肥料与农业生产需求的匹配度,以期促进中国复合肥料产业发展,推进科学施肥,并为相关部门调控管理复合肥料的提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究于 2024 年 4 月对全国 12 个省份 39 个地级市中的县乡级肥料经销商各门店销量前三的肥料包装进行取样,并进行统计(表 1)。共获得 721 个肥料包装,筛选得到复合肥料包装 613 个,根据国家标准 GB/T 15063—2020《复合肥料》^[17],选取的复合肥料包括冠以各种名称的以氮、磷、钾为基础养分的三元或二元固体肥料,不包括有机无机复混肥、掺混肥。调研样本重点反映市场流通中的复合肥料配方情况,而非肥料生产厂商的配方整体情况,因此不剔除重复的厂商配方样本。调研样本中复合肥料在经销商体系销量前三的肥料所占比例达 85.02%。取样时期分别为主要区域的粮食生产关键期,如南方的水稻生产期、北方的玉米播种前和冬小麦追肥期。取样肥料能较好代表粮食作物供肥情况。

表 1 县乡级销售环节中复合肥料包装取样数量统计
Table 1 Number of samples of compound fertilizer packages in sale chain at the county and township levels

省份 Province	包装数量 Sampling quantity	省份 Province	包装数量 Sampling quantity
安徽 Anhui	73	吉林 Jilin	69
甘肃 Gansu	52	江苏 Jiangsu	65
广西 Guangxi	70	山东 Shandong	31
河北 Hebei	37	陕西 Shaanxi	60
河南 Henan	27	四川 Sichuan	22
湖南 Hunan	71	黑龙江 Heilongjiang	36
总计 Total			613

注:数据根据实地调研数据整理。下同。
Note: Data are adapted from the field research data. The same below.

1.2 数据处理

1.2.1 科学施肥推荐用量及配方

科学施肥推荐依据当前有农业农村部科学施肥专家指导组每年发布的主要农作物科学施肥指导意见,农业农村部及各地发布实施的化肥定额,以及吴良泉等^[18-20]在肥效试验基础上测算我国主要粮食作物产区的肥料推荐用量及配方。这 3 种推荐方案各有优劣。如化肥定额兼顾环境污染及生产

需求,肥料限额会略微偏低。吴良泉等^[18-20]以肥效反应为核心,因此其测算的推荐量及配方会略微偏高。以上 3 种科学施肥推荐参考依据,基于覆盖地区全面、提出推荐用量和配方标准统一以及数据可得性等因素,最终本文选择以吴良泉等^[18-20]测算的中国主要粮食作物产区的肥料推荐用量作为推荐科学施肥的参考依据。该推荐依据在 2013 年还汇总形成了《小麦、玉米、水稻三大粮食作物区域大配

方与施肥建议(2013)》^[5],并由原农业部发布和实施。

1.2.2 含量匹配度

考虑到农业生产者一般每亩(667m²)地施用1袋肥料,因此1袋肥料的养分含量暗含了肥料企业对每亩地的推荐量。假定1袋复合肥料即为农户1亩(667 m²)耕地肥料投入,计算农户亩均养分投入量(即每袋复合肥料养分含量)。然后,根据包装取样地匹配粮食作物产区。在对应作物产区基础上,参考吴良泉等^[18-20]的研究,选取了中国玉米产区、水稻产区和小麦产区的氮磷钾肥料的基肥建议用量范围作为推荐养分用量范围,但在此分析不考虑追施尿素的用量。鉴于目标产量的不确定性,本研究在对比分析时不区分产量差异,以最低目标产量的最低肥料投入量作为投入下限,最高目标产量的肥料投入作为投入上限,来设定合理用量的区间范围。此外,本研究还充分考虑了不同施肥方式下的配方和用量,包括一次性施肥方式以及基追结合施肥方式下高、中、低浓度配方。在此匹配分析过程中,只要复合肥料养分含量满足其中一种施肥方式的推荐用量,则取值为1。具体匹配公式如下:

$$m_{iF} = \begin{cases} 1, C_{iF} \in [L_F, U_F] \\ 0, C_{iF} \notin [L_F, U_F] \end{cases} \quad (1)$$

式中: $F \in (N, P_2O_5, K_2O, N_P_2O_5_K_2O)$, 当 F 为 N 时; $m_{iF} = 1$ 为第 i 袋复合肥料中氮含量在推荐氮用量范围内, $m_{iF} = 0$ 为不在推荐氮的养分用量范围内, F 为 P_2O_5 或 K_2O 分别表示第 i 袋复合肥料中的磷、钾含量。特别地, 当 F 为 $N_P_2O_5_K_2O$ 时, $m_{iF} = 1$ 为第 i 袋复合肥料中氮、磷、钾的养分含量都在推荐养分用量范围内(即 $C_{iN} \in [L_N, U_N]$ 且 $C_{iP_2O_5} \in [L_{P_2O_5}, U_{P_2O_5}]$ 且 $C_{iK_2O} \in [L_{K_2O}, U_{K_2O}]$), 否则 $m_{iF} = 0$ 。

最后, 计算每袋复合肥料与对应作物产区推荐用量的匹配率(即含量匹配度), 这一指标直接反映了复合肥料中的养分含量与对应作物产区推荐施用量的契合程度。匹配度越高, 表明一袋复合肥料越接近该作物产区的推荐施用量。对于不匹配的情况, 本研究进行了详尽的养分含量分析, 以明晰养分过剩或不足的具体情况。含量匹配度的计算公式如下:

$$M_F = \frac{\sum_{i=1}^n m_{iF}}{n} \times 100\% \quad (2)$$

式中: M_F 为含量匹配度; n 为对应作物产区中复合肥料的总数。当 F 为 $N_P_2O_5_K_2O$ 时的 M_F 又称为综合含量匹配度, 强调氮磷钾3种养分含量同时满足推荐肥料用量的情况。

1.2.3 配比匹配度

本研究深入对比复合肥料标识养分配比与推荐肥料配方的差异程度。在此分析中, 本研究专注于复合肥料包装上标注的NPK配比与推荐作物配方。由于吴良泉等^[18-20]推荐配方的比例是唯一的, 结合每年度发布的科学施肥指导意见, 相近配方也是合理的。因此, 在进行配方对比分析时, 参照吴良泉等^[18-20]的中国玉米区、水稻区和小麦区的氮磷钾肥料配方, 对应地区建议的配比上下浮动1进行匹配。具体匹配公式如下:

$$x_{iF} = \begin{cases} 1, R_{iF} \in [F_{rec} - 1, F_{rec} + 1] \\ 0, R_{iF} \notin [F_{rec} - 1, F_{rec} + 1] \end{cases} \quad (3)$$

式中: F_{rec} 为推荐配方中的养分比例, F 可以是 N 、 P_2O_5 、 K_2O 、 $N_P_2O_5_K_2O$ 。当 F 为 N 时, $R_{iF} = 1$ 为第 i 袋复合肥料中氮配比在推荐配方范围内; $R_{iF} = 0$ 表示不在推荐氮的配方范围内, F 为 P_2O_5 或 K_2O 分别表示磷、钾的配比。特别地, 当 F 为 $N_P_2O_5_K_2O$ 时, $R_{iF} = 1$ 为第 i 袋复合肥料中氮、磷、钾的养分配比都在推荐配方范围内(即 $R_{iF} \in [N_{rec} - 1, N_{rec} + 1]$ 且 $[P_{2O_5 rec} - 1, P_{2O_5 rec} + 1]$ 且 $[K_{2O rec} - 1, K_{2O rec} + 1]$), 否则 $R_{iF} = 0$ 。

计算复合肥料与推荐肥料配方的匹配率(即配比匹配度), 这一指标反映复合肥料中NPK配比与对应作物产区推荐养分配方的契合程度。配比匹配度越高, 表明复合肥料的养分配比越多符合推荐肥料配方, 反之同理。最后, 对不符合推荐配方的复合肥料配比进行分析, 得出配方调整公式如下:

$$X_F = \frac{\sum_{i=1}^n x_{iF}}{n} \times 100\% \quad (4)$$

式中: X_F 为配比匹配度; n 为对应作物产区中复合肥料的总数。当 F 为 $N_P_2O_5_K_2O$ 时的 X_F 又称为综合配比匹配度, 强调氮磷钾3种养分配比同时符合推荐肥料配方。

1.3 肥料流通环节中复合肥料基本情况

经销商店取样复合肥料包装的NPK配比平均情况为19-13-13(表2)。15-15-15通用型复合肥料包装共有138个, 占取样包装的22.51%, 这与以往通用型复合肥占据复合肥消费量54%的情况已

表 2 取样复合肥料总体情况

Table 2 General situation of sampled compound fertilizers

指标 Index	养分类型 Nutrient type	平均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum
养分配比/% Nutrient proportion	N	19	32	5
	P ₂ O ₅	13	46	0
	K ₂ O	13	28	0
包装规格/kg Package size		43	50	20
养分含量/(kg/袋) Nutrient content	N	8.08	15	2.5
	P ₂ O ₅	5.72	23	0
	K ₂ O	5.44	13.5	0

注：样本数=613。
Note: Sample size=613.

发生转变^[21-22]。过度依赖通用型复合肥导致的养分不合理施用,通过近 20 年测土配方施肥工作的推进已得到较大改善^[22-23]。肥料的包装规格平均为 43 kg,不再是普遍的 50 kg。计算 1 袋复合肥料的总养分含量发现,氮含量平均为 8.08 kg/袋,磷含量平均为 5.72 kg/袋,钾含量平均为 5.44 kg/袋。

根据作物产区分析复合肥料总体情况,3 种作

物产区中复合肥料的平均包装规格都不再是 50 kg (表 3)。在养分配比和养分含量中玉米产区的氮的比例和含量都大于其他 2 种作物产区。在水稻产区中磷的比例和含量都低于其他 2 种作物产区,但在钾的比例和含量都大于其他 2 种作物。从描述统计上看,取样复合肥料养分配比平均上符合作物的养分需求规律。

表 3 分作物类型取样的复合肥料包装总体情况

Table 3 Overall compound fertilizer packaging sampled by crop type

作物产区 Crop production region	样本数 Number	包装规格/kg Package size	养分配比/% Nutrient ratio			养分含量/(kg/袋) Nutrient content		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
小麦 Wheat	388	43	19	13	12	8.04	5.85	5.24
水稻 Rice	446	43	19	13	14	7.78	5.57	5.87
玉米 Maize	200	44	21	14	12	9.03	6.15	5.13

从各省份取样包装的氮磷钾养分结构看,各省份均呈现氮的配比大于磷钾的配比的情况(图 1)。除河北、黑龙江、山东和陕西 4 个省份外,各省份化肥包装平均水平均呈现氮>钾>磷的供给情况。在供应端呈现出的低磷供给模式有利于防止水体富营养化,而这些省份也大部分处于中国重点流域地区^[24]。在四川和湖南两个省份中复合肥料的包装规格平均每袋不足 40 kg,肥料包装规格普遍较小。

2 复合肥料养分含量、配比与肥料推荐用量、配方的对比分析

2.1 复合肥料养分含量及推荐肥料用量的含量匹配度

分作物产区分析复合肥料养分含量与亩均推荐用肥量的匹配情况。不对应具体养分,仅对比养分总量匹配程度发现,小麦、水稻和玉米产区的含量匹配度分别为 60.82%、56.5% 和 67.0%。图 2

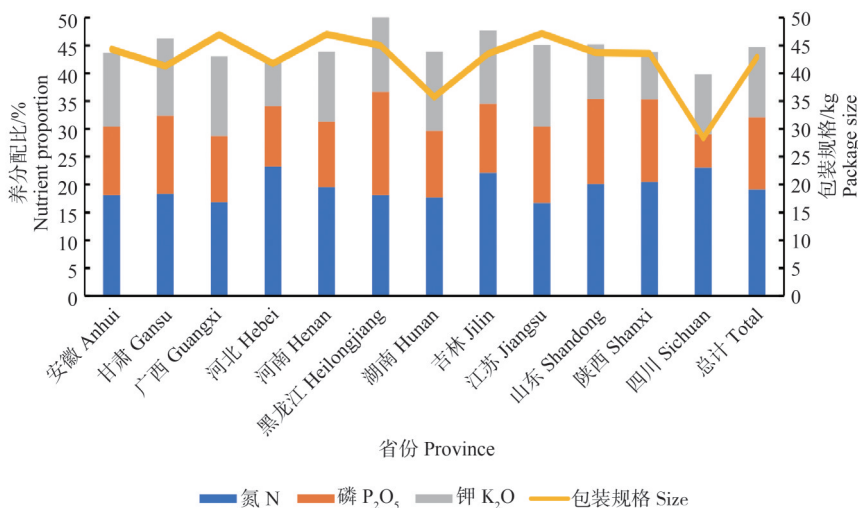


图1 分省份复合肥料配比与包装规格的情况

Fig. 1 Compound fertilizer proportion and package size by provinces

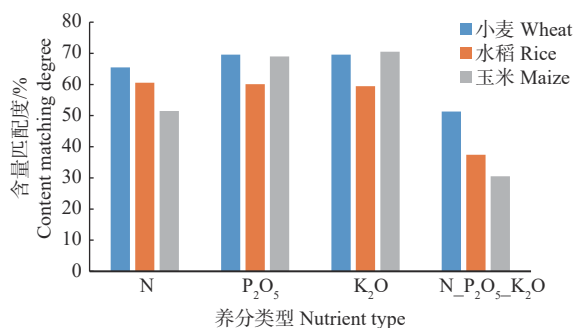


图2 分作物产区含量匹配度的情况

Fig. 2 Content matching degree by crop regions

为对应氮、磷、钾各养分推荐量进行精准匹配后的结果。可见相较于仅总养分量的结果,该匹配结果呈现下降的现象,氮磷钾含量综合匹配度从高到低排序呈现小麦产区>水稻产区>玉米产区,具体匹配度分别为51.29%、37.44%和30.5%。其中:小麦产区中单个养分的含量匹配度均约为65%;水稻产区中单个养分含量匹配度均约为60%;玉米产区中,单个养分含量匹配情况表现为氮含量匹配程度低,而磷、钾含量匹配程度高,氮含量匹配度仅为51.5%;磷和钾的含量匹配度分别为69%和70.5%。该结果一方面反映了中国科学施肥工作取得一定成效,复合肥料养分含量已有与农业生产需求相适应的产品;另一方面也反映出现存复合肥料规格设计和配方仍存在不合理的情况。

2.2 养分含量不匹配情况分解

图3为复合肥料养分含量不在推荐养分用量范围内的情况分解结果。可见不在推荐用量范围内

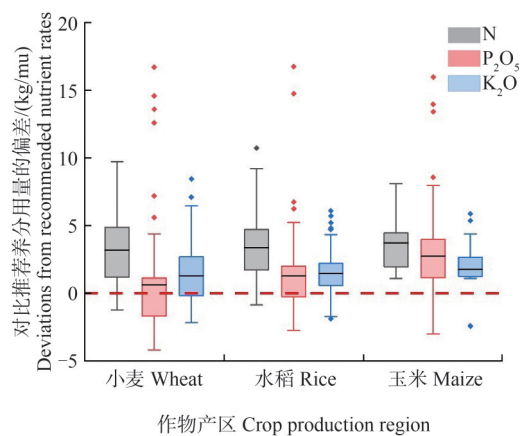


图3 养分含量不匹配情况分解

Fig. 3 Decomposition of nutrient content mismatch

的复合肥料在小麦、水稻和玉米产区中均表现为养分含量高于推荐养分用量。其中:在小麦产区中复合肥料的氮、磷、钾含量平均高于推荐量3.21、0.64、1.32 kg/mu;水稻产区中复合肥料的氮、磷、钾含量平均高于推荐量3.39、1.29、1.47 kg/mu;玉米产区中复合肥料的氮、磷、钾含量平均高于推荐量3.74、2.75、1.78 kg/mu。整体上,改善复合肥料养分过量的情况,需要缩小复合肥料包装规格并调整配方,尤其是减少复合肥料中氮的含量。

2.3 复合肥料配比与推荐肥料配方的配比匹配度分析

图4为分作物产区分析复合肥料配比与推荐肥料配方的匹配情况。研究结果显示单个养分的配比匹配度高,氮磷钾综合配比匹配度低。具体表现

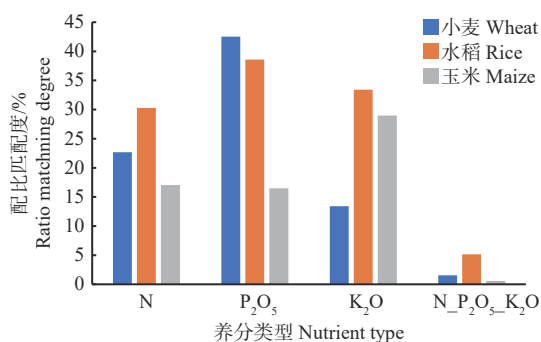


图 4 分作物产区配比匹配度的情况

Fig. 4 Proportion matching degree by crop regions

为,氮磷钾综合配比匹配度在小麦、水稻、玉米产区都不足 10%,分别仅为 1.55%、5.16% 和 0.57%,而单个养分的配比匹配程度都在 10% 以上。其中:在氮配比匹配度中,水稻产区匹配度最高(30.27%),玉米产区匹配度最低(17.05%);在磷配比匹配度中,小麦产区最高(42.53%),玉米产区最低(16.48%);在钾配比匹配度中,水稻产区最高(33.41%),小麦产区最低(13.40%)。复合肥料的配比匹配度,无论是氮磷钾综合养分还是氮、磷、钾单个养分都低于其含量匹配度。含量匹配分析中,包含作物各个等级目标产量的推荐的化肥用量,推荐肥料用量上下限范围大,因此含量匹配度会较高。而配比匹配分析不受作物目标产量的干扰,匹配吻合范围较小。较低的配比匹配度表明当前市场流通的复合肥料配比尚不能满足各地的土壤与作物需求,测土配方施肥还需密切与肥料产品结合。

2.4 养分配比不匹配情况分解

图 5 为复合肥料配比不在推荐肥料配方范围内的情况分解结果。可见养分配比偏差情况不同于养分含量偏差总体呈现为养分含量过量的情况,小麦、水稻和玉米产区中复合肥料养分配比偏差整体上表现为氮配比偏高、磷配比偏低。具体而言:氮配比在小麦、水稻和玉米产区平均比推荐肥料配方高 5%、5% 和 6%;磷配比在小麦、水稻和玉米产区平均比推荐肥料配方低 5%、3%、2%。而小麦和水稻产区中钾配比高于推荐配方(分别高 2% 和 3%),在玉米产区钾配比低于推荐配方(低 3%)。总体上看,复合肥料需要减少氮的配比,增加磷的配比,并适当调整钾的配比,以更好地满足农业生产需求。

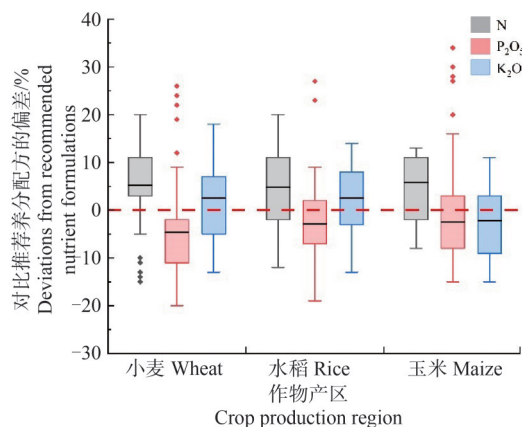


图 5 养分配比不匹配情况分解

Fig. 5 Decomposition of nutrient proportion mismatch

3 结合肥料实名制与定额制优化复合肥料产品

本研究通过对复合肥料含量、配比与推荐肥料用量、配方的匹配度的分析及不匹配情况的分解,研究了市场流通复合肥料产品与农业生产需求的匹配关系。结果发现,在不区分目标产量水平下,目前市场流通的部分复合肥料产品的养分含量符合推荐肥料用量,不符合推荐肥料用量的复合肥料普遍呈现养分过量的问题。复合肥料配比与推荐肥料配方不匹配现象明显,氮磷钾综合配比匹配度仍处于较低水平。复合肥料产品配比不符合推荐配方的情况总体呈现为氮配比偏高、磷配比偏低。总体来看,当前市场上已有复合肥料产品的养分含量能够满足农业生产需求,但其复合肥料养分配比尚不合理,无法满足精准施肥的要求。对于养分精准管理方面仍然存在较大差距,复合肥料产品本身难以满足精确定量减施技术的要求。这提出了科学施肥技术物化产品研制的新要求,并指出了化肥限量技术规范制定中需要进一步思考的问题,进而引出了肥料实名制和定额制的对策建议,为肥料新产品创制、市场流通管理、农化技术服务等拓展了空间。

3.1 肥料实名制登记及区域肥料精准供应

肥料实名制的建立将推动肥料的精准科学供应。肥料实名制购销旨在大数据平台发展的基础上构建肥料产品购买、销售、施用信息全程可追踪的体系,实现全链条、闭环式、全方位智慧监管^[25]。如江苏省在化肥实名制购买的指导意见中说明将

通过建设流通环节中的经销门店,着手推进肥料购买人、购买量和使用人、使用量、施用地点和规模的动态更新和监测。肥料作为大宗农资,使用量大,价格相对较低,运输成本是影响肥料流通的重要因素^[26]。由于运输成本的限制和对技术服务的需求,经销商在经销体系中依旧扮演重要的角色。在区域层面上已测算了主要粮食作物的肥料用量定额^[22-23],但是在具体实施上,农户施肥行为的监测跟进一直存在困难。肥料供给体系和肥料需求体系之间缺乏良性和顺畅的衔接,这也反映在复合肥料养分含量和配比区域偏差大,养分之间差异大和匹配度偏低的现象中。建设肥料实名制,基于产业链追溯化肥的生产和应用。这将促进复合肥料生产、供应与农业生产、施用之间的衔接,有助于及时发现问题和改进管理方式,保障农业生产和食品安全,从供给侧降低不合理化肥应用导致的环境污染。此外,实名制将为肥料产业和市场的规划、监管执行、政策制定和措施实施提供数据支撑,促进肥料产业的健康发展。

3.2 肥料定额制施用及区域肥料配比

优化区域复合肥料产品有助于落实肥料定额制。施肥定额制是指通过控制区域化肥总量投入,兼顾土壤健康和作物产量稳定的措施,在国外实践中通过限制养分投入上限,实现了化肥施用的减量,缓解由于过量施肥对环境造成的消极影响^[29]。浙江省、江苏省、福建省、广东省等都已出台了主要农作物化肥定额制的相关政策性文件,通过结合测土、精准施肥,构建信息平台对化肥施用进行登记和追溯管理。目前,各地定额的区间标准逐步明确。但在实际应用上仍处于探索阶段,由于缺乏有效的抓手,导致定额制难以推进和落实。本研究基于对复合肥料含量、配比与氮磷钾肥推荐用量、配方的匹配度分析发现,调整复合肥料产品包装和配方能够提高产品与农业生产需求适配性。其次,在中国以复合肥料供应为主导的供给体系下,改进复合肥料无疑是提升农业生产效率和减少肥料不合理施用的有力抓手^[13]。以肥料产品为着力点,依据肥料定额制养分平衡、环境、粮食安全等综合角度制定肥料用量的上下限,引导肥料生产厂商生产和肥料经销商经营贴合区域需求的复合肥料。这将有效推动科学施肥,将有助于改善当前肥料经销市场中肥料供给与农业

生产需求匹配较低的情况。

4 结论与展望

4.1 结论

本研究运用613个复合肥料包装为研究对象,评估了市场流通的复合肥料含量、配比与科学推荐的肥料用量、配方的匹配情况,并结合肥料实名制和定额制优化复合肥料产品,得出以下结论:1)复合肥料养分含量和农业需求的匹配程度仍有待提高,且复合肥料中养分含量普遍呈现养分过量,这将会导致养分的过量投入。从作物产区的养分含量匹配情况来看,不同作物产区之间养分含量匹配程度不一致,小麦产区中复合肥料符合推荐养分用量的程度最高;2)复合肥料养分配比不合理,复合肥料氮磷钾配比均符合推荐配方的比例不足6%。在小麦、水稻和玉米产区中复合肥料配比中的氮配比都高于推荐配方,需要减少高氮型的复合肥料;3)肥料实名制登记和定额制施用的政策有助于复合肥料产品的优化。实名制登记构建可追溯的肥料大数据将进一步推动区域肥料的精准供应,定额制施用测算的区域肥料投入标准提供了复合肥料配方和含量优化设计的方向,将有助于提高复合肥料产品与农业生产需求适配性。

然而,本研究存在以下不足之处:首先,在复合肥料含量与建议肥料用量对比分析中,本研究没有考虑不同目标产量水平对应的推荐施用量范围。在复合肥料配比与推荐肥料配对比进行分析时,已有研究也未考虑更加详细的使用地点和土壤情况^[30];其次,在选取的参考体系中仅考虑了作物基肥需求的用量及配比情况,而非基于作物全生育周期的需肥情况。最后在吴良泉等^[18-20]提出的推荐肥料用量和配方中没有考虑有机质还田实现的养分投入问题,如采用秸秆还田地区的其钾肥的推荐量范围可能是偏高的。

4.2 展望

针对上述存在的不足之处,可以从以下4个方面进一步深化研究和改进:1)结合耕地类型和品种,考虑最优目标产量下推荐肥料的用量范围,提高复合肥料配方制定和规格设置的精确性和适用性;2)可以结合更加具体的地理位置、土壤性质、气候条件和作物种类,开发针对性更强的肥料配

方和施肥策略。结合遥感技术和施肥模型,制定区域化需肥方案;3)全面考虑作物从播种到收获各个生育阶段的养分需求,制定全生育周期肥料配方和调控方案;4)综合考虑有机质还田的情况,对推荐施肥量和配方进行修正,提高资源的利用效率。

5 政策建议

化肥新产品创制和施用技术模式创新是农业绿色发展的抓手。肥料实名制和定额制施用是需要基础性工作贴近生产一线需求,是工艺、农艺、农技和信息一体化的过程,科学研究亟待深入,所谓大道无形,创新永无止境;另一方面,一定条件下的化肥限量规范的具体实施又需要系统落地产品与施用技术的“明白纸”指导,所谓大道至简。

肥料实名制为建立肥料产业全程监测的数据平台奠定基础,使得肥料生产、销售和使用追溯成为可能。定额制施用可以结合肥料产品推进落实,在兼顾养分平衡和粮食安全的阈值内优化肥料配方和供应,从而提高农业生产效率和产品质量,降低生产者应用门槛,减少资源浪费和环境污染,为农业可持续发展注入新动力。以落实肥料实名制和定额制为契机,一是要加强构建化肥产品销售、购买和使用信息等涉农大数据支撑平台,并推进肥料销售门店规范化建设;二是要探索制定农作物化肥定额施用标准,引导新型农业经营主体科学使用化肥;三是要制定和完善肥料管理制度的相关政策和法律法规,加强对肥料的监督管理。此外,相关高校和科研单位应根据土壤资源禀赋、肥料产品和作物养分需肥规律等多重因素,积极研究探索化肥限量措施下肥料使用的科学规律和方案。对于肥料生产厂商,需与科研单位的开展密切合作,在兼顾肥料生产与农业需求匹配、养分平衡和粮食安全的条件下,进行肥料产品创制和肥料配方优化。最后,通过培训、示范和技术推广等方式,提升农户科学施肥的理念和技术采纳的意愿与能力,促进科学施肥的普及和应用。政府、企业、科研机构和农民需共同努力,落实相关政策,推动复合肥料供给结构的优化,为农业生产的高效和可持续发展作出贡献。

参考文献 References

[1] 周静, 胡芹远, 章力干, 刘海龙, 游来勇. 从供给侧改革思考我国肥料和

土壤调理剂产业现状、问题与发展对策[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(10): 1103-1110

Zhou J, Hu Q Y, Zhang L G, Liu H L, You L Y. Key scientific problems and development countermeasures of fertilizer industry based on agricultural supply-side reform [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2017, 32(10): 1103-1110 (in Chinese)

[2] 中华人民共和国农业农村部. 关于切实做好2005年测土配方施肥试点工作的通知[EB/OL]. [2024-05-31]. https://www.moa.gov.cn/nybgb/2005/dsyq/201806/t20180618_6152543.htm

Ministry of Agriculture And Rural Affairs of The People's Republic of China. Notice on effectively doing the pilot work of soil formulation and fertilizer application in 2005 [EB/OL]. [2024-05-31]. https://www.moa.gov.cn/nybgb/2005/dsyq/201806/t20180618_6152543.htm

[3] 中华人民共和国农业农村部. 关于印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》的通知[EB/OL]. [2024-05-31]. http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/201503/t20150318_6309945.htm

Ministry of Agriculture And Rural Affairs of The People's Republic of China. Notice on the issuance of the action plan for zero growth in fertilizer use by 2020 and the action plan for zero growth in pesticide use by 2020 [EB/OL]. [2024-05-31]. http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/201503/t20150318_6309945.htm

[4] 中华人民共和国农业农村部. 我国三大粮食作物化肥农药利用率双双超40% [EB/OL]. [2024-08-05]. http://www.kjs.moa.gov.cn/gzdt/202101/t20210119_6360102.htm

Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Fertilizer and pesticide utilization rate of China's three major food crops both exceeded 40% [EB/OL]. [2024-08-05]. http://www.kjs.moa.gov.cn/gzdt/202101/t20210119_6360102.htm

[5] 龚斌磊, 袁菱苒. 新质生产力视角下的农业全要素生产率: 理论、测度与实证[J]. 农业经济问题, 2024(4): 68-80; [J]. 2024, 45(4)

Gong B L, Yuan L R. Agricultural total factor productivity from the perspective of new quality productivity: Theory, measurement and empirical research [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2024, 45(4): 68-80 (in Chinese)

[6] Chen X H, Ma C C, Zhou H M, Liu Y, Huang X M, Wang M K, Cai Y Y, Su D, Muneer M A, Guo M C, Chen X J, Zhou Y, Hou Y, Cong W F, Guo J X, Ma W Q, Zhang W F, Cui Z L, Wu L Q, Zhou S G, Zhang F S. Identifying the main crops and key factors determining the carbon footprint of crop production in China, 2001-2018 [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 172: 105661

[7] Cui X H, Guo L Y, Li C H, Liu M Z, Wu G L, Jiang G M. The total biomass nitrogen reservoir and its potential of replacing chemical fertilizers in China [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 135: 110215

[8] Wu H J, MacDonald G K, Galloway J N, Zhang L, Gao L M, Yang L, Yang J X, Li X L, Li H R, Yang T. The influence of crop and chemical fertilizer combinations on greenhouse gas emissions: A partial life-cycle assessment of fertilizer production and use in China [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 168: 105303

[9] Yan X, Jin J Y, He P, Liang M Z. Recent advances on the technologies to increase fertilizer use efficiency [J]. *Agricultural Sciences in China*,

- 2008, 7(4): 469-479
- [10] 许必善. 测土配方施肥技术推广的限制因素分析及其解决途径初探[J]. 农村科学实验, 2017(8): 67, 53
- Xu B S. Analysis on the restrictive factors of popularization of soil testing and formula fertilization technology and its solution [J]. *Rural Scientific Experiment*, 2017(8): 67, 53 (in Chinese)
- [11] 杨东, 刘晓霞, 陈红金, 虞轶俊. 定额制施肥对土壤及生态环境影响的研究[J]. 中国农学通报, 2023, 39(32): 91-98
- Yang D, Liu X X, Chen H J, Yu Y J. Effect of quota-based fertilization on soil and ecological environment: Research progress [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(32): 91-98 (in Chinese)
- [12] 国家统计局. 中国统计年鉴(2022) [EB/OL]. [2024-05-31]. <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexch.htm>
- National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook, 2022 [EB/OL]. [2024-05-31]. <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexch.htm> (in Chinese)
- [13] 江敬安, 陈丽, 沈兵, 张卫峰. 世界肥料产业发展趋势及展望[J]. 现代化工, 2023, 43(1): 13-20
- Jiang J A, Chen L, Shen B, Zhang W F. Development trend and prospect of world fertilizer industry [J]. *Modern Chemical Industry*, 2023, 43(1): 13-20 (in Chinese)
- [14] 叶敬忠, 豆书龙, 张明皓. 小农户和现代农业发展: 如何有机衔接[J]. 中国农村经济, 2018(11): 64-79
- Ye J Z, Dou S L, Zhang M H. How can small farmers become organically involved in the development of modern agriculture? [J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(11): 64-79 (in Chinese)
- [15] 李亮科, 张卫峰, 王雁峰, 陈新平, 马骥, 高利伟, 张福锁. 中国农户复合(混)肥施用效果分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 623-629
- Li L K, Zhang W F, Wang Y F, Chen X P, Ma J, Gao L W, Zhang F S. Effectiveness of compound fertilizer on grain yields in China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(3): 623-629 (in Chinese)
- [16] 杜森, 徐晶莹, 钟永红, 徐洋. 主要农作物肥料配方制定与推广[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020
- Du S, Xu J Y, Zhong Y H, Xu Y. *Fertilizer formulation and promotion for major crops* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese)
- [17] GB/T 15063—2020. 复合肥料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020
- GB/T 15063—2020. Compound fertilizer[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2020 (in Chinese)
- [18] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 陈新平, 张福锁. 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): 30-40
- Wu L Q, Wu L, Cui Z L, Chen X P, Zhang F S. 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): 30-40 (in Chinese)
- [19] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 陈新平, 张福锁. 中国水稻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, 2016, 21(9): 1-13
- Wu L Q, Wu L, Cui Z L, Chen X P, Zhang F S. Studies on recommended nitrogen, phosphorus and potassium application rates and special fertilizer formulae for different rice production regions in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(9): 1-13 (in Chinese)
- [20] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 陈新平, 张福锁. 中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 802-817
- Wu L Q, Wu L, Cui Z L, Chen X P, Zhang F S. Basic npk fertilizer recommendation and fertilizer formula for maize production regions in China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(4): 802-817 (in Chinese)
- [21] 张卫峰, 李亮科, 陈新平, 张福锁. 我国复合肥发展现状及存在的问题[J]. 磷肥与复肥, 2009, 24(2): 14-16
- Zhang W F, Li L K, Chen X P, Zhang F S. The present status and existing problems in China's compound fertilizer development [J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2009, 24(2): 14-16 (in Chinese)
- [22] 付浩然, 李婷玉, 曹寒冰, 张卫峰. 我国化肥减量增效的驱动因素探究[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(3): 561-580
- Fu H R, Li T Y, Cao H B, Zhang W F. Research on the driving factors of fertilizer reduction in China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, 26(3): 561-580 (in Chinese)
- [23] 徐洋, 杜森, 钟永红, 薛彦东, 潘晓丽, 傅国海, 周璇, 胡江鹏, 李贝, 闫湘, 沈德龙, 张卫峰, 张福锁. 测土配方施肥项目十五年进展与展望[J]. 中国土壤与肥料, 2023(3): 236-244
- Xu Y, Du S, Zhong Y H, Xue Y D, Pan X L, Fu G H, Zhou X, Hu J P, Li B, Yan X, Shen D L, Zhang W F, Zhang F S. Progress and prospects for the project of formula fertilization by soil testing in the last 15 years [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2023(3): 236-244 (in Chinese)
- [24] 刘钦普, 濮励杰. 中国粮食主产区化肥施用时空特征及生态经济合理性分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(23): 142-150
- Liu Q P, Pu L J. Spatiotemporal variation of fertilizer utilization and its eco-economic rationality in major grain production areas of China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(23): 142-150 (in Chinese)
- [25] 江苏省人民政府 文字解读 省农业农村厅:《关于积极探索化肥农药实名制购买定额使用持续推进化肥农药减量增效的指导意见》政策解读[EB/OL]. [2024-05-31]. https://www.jiangsu.gov.cn/art/2022/11/3/art_32648_10649894.html
- Jiangsu Provincial People's Government, Provincial Department of Agriculture and Rural Development: "on actively exploring the fertilizer and pesticide real name system to buy quota system to use continue to promote the fertilizer and pesticide to reduce the amount of efficiency of the guiding opinions" policy interpretation [EB/OL]. [2024-05-31]. https://www.jiangsu.gov.cn/art/2022/11/3/art_32648_10649894.html
- [26] Tröster M F, Pahl H, Sauer J. Effects of application costs on fertilizer application strategy[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, 167: 105033
- [27] Xu X P, He P, Pampolino M F, Johnston A M, Qiu S J, Zhao S C, Chuan L M, Zhou W. Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency [J]. *Field Crops Research*, 2014, 157: 27-34
- [28] Zhang C, Ju X T, Powlson D, Oenema O, Smith P. Nitrogen surplus benchmarks for controlling N pollution in the main cropping systems of China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(12): 6678-6687
- [29] 梁涛, 赵敬坤, 李红梅, 王妍, 曹中华, 张务帅, 王孝忠, 郭超仪, 石孝均, 陈新平. 重庆化肥投入驱动因素、减量潜力及环境效应分析[J]. 环境科学, 2024, 45(1): 364-375
- Liang T, Zhao J K, Li H M, Wang Y, Cao Z H, Zhang W S, Wang X Z,

Guo C Y, Shi X J, Chen X P. Analysis on driving factors, reduction potential, and environmental effect of inorganic fertilizer input in Chongqing [J]. *Environmental Science*, 2024, 45 (1): 364-375 (in Chinese)

[30] Johnston A M, Bruulsema T W. 4R nutrient stewardship for improved nutrient use efficiency[J]. *Procedia Engineering*, 2014, 83: 365-370

责任编辑: 杨爱东



第一作者简介: 邹秦琦, 博士研究生, 现就读于中国农业大学资源与环境学院农业绿色发展科学与工程专业。硕士毕业于中国农业科学院研究生院, 期间荣获一等学业奖学金。攻读博士期间参与农业绿色发展、农业绿色区域管理和化肥减量增效研究项目。先后参与国家级项目 1 项, 省部级项目 2 项。博士期间曾赴河北、广西、湖南等地主持或参与 10 余次微观调研活动。对农业绿色发展领域有浓厚兴趣。



通讯作者简介: 张卫峰, 博士, 中国农业大学教授、博士生导师, 曲周实验站站长。致力于作物养分资源宏观管理研究。先后主持国家、省部级及地方重点研发计划或项目 32 项, 参与 973 计划、农业部农业科研人才支撑计划和国际合作等研究项目 38 项。完成政策建议 60 余份, 以第一或通讯作者发表中英文论文 130 余篇, 其中 SCI 论文 40 余篇, 包括 *Nature*、*Nature Food* 等顶级期刊。2018 年获得世界肥料工业协会 (IFA) 的 Norman Borlaug 奖。2023 年获得农业部神农英才青年人才、研究生国家级教学成果特等奖等。