

农村生态保护中的肥料减施问题与落实——以太湖流域磷肥减施工作为例[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(13): 207–211.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.13.040

农村生态保护中的肥料减施问题与落实 ——以太湖流域磷肥减施工作为例

严 燕¹, 孙子杰², 李震宇³, 朱毅勇³, 林光华²

(1. 南京农业大学人文与社会发展学院, 江苏南京 210095; 2. 南京农业大学经济管理学院, 江苏南京 210095;

3. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095)

摘要:农村生态环境保护是落实乡村振兴战略的一项重要工作。然而近几十年来农药与肥料的持续使用已经造成了生态环境污染。以太湖地区化学磷肥减施工作为例, 分析了在保证水稻产量前提下减肥增效的可行性, 旨在为今后科学施肥、控制面源污染, 保护农村生态环境提供理论与实践依据。通过文献中大数据统计结果分析了在肥料定量施用下太湖流域氮、磷肥施用量与水稻产量的关系, 通过农户调查总结了目前江苏省水稻种植中施肥量与产量的粗略关系, 同时通过在太湖流域的田间定位试验, 实地检测了不同磷肥施用量与有机肥替代化学磷肥后对水稻产量的影响。结果表明, 氮肥施用量是提高水稻产量的主要因素, 而磷肥施用量只要达到 P_2O_5 30 kg/hm² 即可保证水稻产量; 而农户种植水稻时, 施肥量普遍过高, 导致肥料的增产效应降低甚至减产。田间定点试验的结果亦表明在太湖流域的磷肥施用量在 P_2O_5 30 ~ 50 kg/hm² 后水稻产量即可达到高产水平。因此, 在太湖流域目前农民普遍施用磷肥量 (P_2O_5 90 kg/hm²) 基础上应减少 32% 的化学磷肥用量, 并施用有机肥, 不仅保证水稻稳产高产, 还能减少农村有机废弃物。在此基础上结合农村生态环境整治的相关政策, 必将大力推动农村环境整治, 促进乡村振兴。

关键词:农村环境; 乡村振兴; 减肥增效; 长江流域; 水稻

中图分类号: S143.2⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)13-0207-05

乡村振兴战略是促进我国农业农村现代化的重大举措。自 2017 年党的十九大提出“实施乡村振兴战略”以后, 2020 年党的十九届五中全会确立了“坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主, 守住自然生态安全边界”的方针。2021 年 4 月 29 日第十三届全国人民代表大会正式通过了《中华人民共和国乡村振兴促进法》, 其中第五章“生态保护”明确提出了鼓励和支持节肥、节药、节能等先进的种植养殖技术、加强农业面源污染防治, 推进农业投入品减量化等具体要求。以农业生产中肥料施用为例, 农民普遍以经验为主, 尤其是为了省工省时, 盲目增加肥料使用量^[1]。因此如何加强养分管理、提出合理的减肥对策, 从源头控制污染产生, 是改善生态环境, 实施乡村振兴的重要环节之一, 对建

设美丽乡村具有重要的实践意义^[2]。

长江流域是我国稻米的主产区, 共计有耕地 2 460 多万 hm², 水稻产量占全国的 70%, 在国民经济中占有重要地位。2018 年中共中央、国务院就明确要求充分发挥长江经济带的优势, 以共抓大保护、生态优先、绿色发展为引领。然而自 1960 年以来, 长江流域水体养分负荷已经增加了约 8 倍, 据统计从 2006 年以来, 累计发生了超过 400 次以上藻华事件^[3]。而氮和磷是造成水体富营养化的 2 个主要养分^[4-5]。其中氮在长江流域内的输入量低值达到 142 ~ 350 kg/km 而高值可以达到 1 066 ~ 3 889 kg/km^[6]。相对于氮, 目前来自于农田系统的磷已经成为了长江的首要污染物, 截至 2015 年, 年度农田磷输出量对长江流域河流总磷输出量的贡献率超过了 54%, 2018 年上半年的长江经济带国控断面测定中发现总磷指标超标的断面占全部超标断面的 56%^[7]。因此相对于氮肥、磷肥减施的执行已经刻不容缓。江苏省位于长江下游三角洲, 在长江经济带的发展中处于龙头地位, 其中太湖地区又是中国主要的商品粮基地。因此, 笔者在江苏省太

收稿日期: 2021-04-12

基金项目: 国家重点研发计划(编号: 2017YFD02002006); 教育部人文社会科学研究青年基金(编号: 20YJC810016); 2019 年江苏省高等学校大学生实践创新训练计划(编号: 201910307029Y)。

作者简介: 严 燕(1981—), 女, 江苏淮安人, 博士, 讲师, 主要从事乡村治理与乡村生态治理。E-mail: yan2003yan@163.com。

湖地区进行了有关磷肥减施增效的调研与定位试验,旨在为水稻生产中肥料减施增效措施的落实提供具体的参考与指导意见。

1 材料与方法

1.1 试验地点及供试材料

本试验从 2019 年水稻季开始。供试水稻品种为南粳 46 号。该试验田位于太湖附近的无锡市宜兴禾欣农场($CS2, 31^{\circ}41'N, 120^{\circ}40'E$),四季分明,年平均气温 $15.7^{\circ}C$,年平均降水量 $1\ 054\ mm$ 。试验地肥力中等偏上,土壤类型为南方水稻土。耕层土壤基本理化性质:pH 值 6.3、有机质 $16.7\ g/kg$ 、全氮 $1.3\ g/kg$ 、速效磷 $15.8\ mg/kg$ 和速效钾 $75.6\ mg/kg$ 。所用化学肥料分别为尿素(N 46.4%),过磷酸钙($P_2O_5\ 12.0\%$),氯化钾($K_2O\ 60.0\%$)。所用有机肥的有机质 $\geq 40\%$,氮磷钾总量 $\geq 6\%$ 。

1.2 试验设计

试验分为磷肥施用量梯度试验和磷肥减施增效试验 2 部分。磷肥梯度试验共设置 4 个处理,以 P_2O_5 计: $P_0\ (0\ kg/hm^2)$ 、 $P_{50}\ (50\ kg/hm^2)$ 、 $P_{100}\ (100\ kg/hm^2)$ 、 $P_{150}\ (150\ kg/hm^2)$ 。磷肥减施增效试验设 4 个处理:对照不施用磷肥、农户传统施肥($90\ kg/hm^2$)、农户传统施肥减磷 20%、有机替代减磷 36%。每个处理重复 4 次,各小区采用随机区组排列,每小区面积为 $35\ m^2\ (7\ m \times 5\ m)$,小区之间打埂,50 cm 宽,覆盖农膜以防止串水串肥,试验区外设置保护行。

1.3 田间管理

水稻在 5 月 20 日播种,育秧 25 d 后,6 月 15 日进行人工移栽,按照 $25\ cm \times 18\ cm$ 的株行距进行栽种,每穴 3 株,种植密度为 $22.2\ 万穴/hm^2$ 。各处理的氮肥(以纯 N 计)和钾肥(以纯 K_2O 计)施用量相同,分别为纯 N $300\ kg/hm^2$ 和 $K_2O\ 90\ kg/hm^2$;氮肥分别作基肥、分蘖肥和穗肥分 3 次施入,比例为 $4:3:3$;磷、钾肥作基肥在水稻栽种的前 2 d 一次性施入土壤,分蘖肥在基肥施用 15 d 后施用,穗肥在水稻抽穗前的幼穗分化期施用。

1.4 测产

在水稻收获时,在采样区随机找 4 个点,每点测定 5 穴的有效穗数,采样后烘干,测定产量构成因素指标,并测定籽粒与秸秆质量与磷含量,计算收获后带走的磷。水稻产量实测的方法每小区单独收获,脱粒后将稻谷晾晒至标准水分 20% 以下,除去

杂物后称质量。

2 结果与分析

2.1 肥料试验中施肥量与水稻产量之间的关系分析

由于肥料对作物的增产作用是毋庸置疑的,因此如何在产量与施肥量之间取得平衡,是我们实现减肥增效的科学依据。首先,基于文献统计^[8-21],对近十几年来太湖流域开展的各种施肥研究结果进行汇总,在不考虑其他因素情况下,分析了水稻产量与氮肥或磷肥用量之间的关系。从图 1 可以看出,水稻产量与氮肥施用之间呈正相关性,产量随氮肥施用量增加而增加。而水稻产量与磷肥的施用之间却不是线性相关关系,不施磷肥确实降低产量,但是只要施用磷肥(在用量达到 $P_2O_5\ 30\ kg/hm^2$ 后),无论施磷量增加多少,水稻产量基本上维持在同一水平(图 2)。甚至,还有研究发现,在太湖流域的宜兴、常熟等地,稻季连续 7 年不施磷肥的条件下产量不变^[22]。因此,在水稻生产上将磷肥控制在一个低的施用水平上应该是可行的。

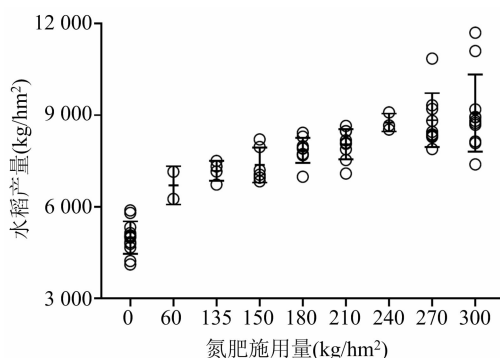


图1 肥料试验中氮肥施用量与水稻产量的关系

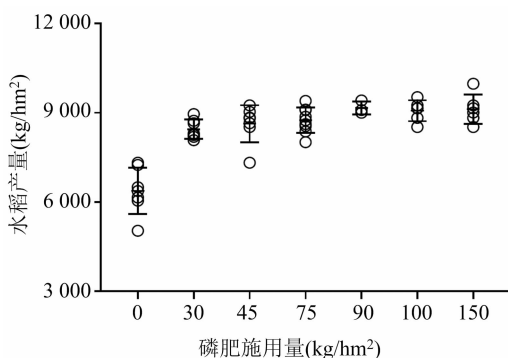


图2 肥料试验中磷肥施用量与水稻产量的关系

2.2 农户施肥量与水稻产量的调查结果分析

但是,农户的施肥现状究竟是一种什么情况?为此笔者在江苏省对 750 多家农户进行了调研^[23],

汇总了农民汇报的氮、磷肥的施用量与水稻产量。结果(图3、图4)发现,无论是施氮量还是施磷量与水稻产量之间的都没有显著的增产关系。而且农民的施氮量集中在 $200 \sim 400 \text{ kg/hm}^2$ 的用量范围,而且更倾向于施用更多的氮肥 $300 \sim 400 \text{ kg/hm}^2$ (图3),这说明在大多数农村农事生产中施氮量已经超过了正常使用量,但是,从产量分布上来看,即使多施了氮肥,最高产量都没有超过 200 kg/hm^2 施氮量所取得的产量上限。从理论上讲,氮肥是促进作物增产的第一要素,但农民多施氮肥并未进一步使水稻增产。在排除了品种带来的差异之外,主要还是农民粗放式管理导致氮肥损耗。由于氮肥的损失有很大一部分是由于未施入土壤深层而导致氨气挥发,因此改变氮肥的施用方式是控制氮肥无效损失的关键。磷肥施用量与产量的关系中也看出,只要施用磷肥,即使量很低,其效果与大量施用磷肥一样(图4)。这个结果再次证明了,农民在施肥用量上非常随意,必须进行管理上的干预和引导,尤其是对于磷肥而言,完全是可以做到减量使用,否则对环境的风险会日益增加。

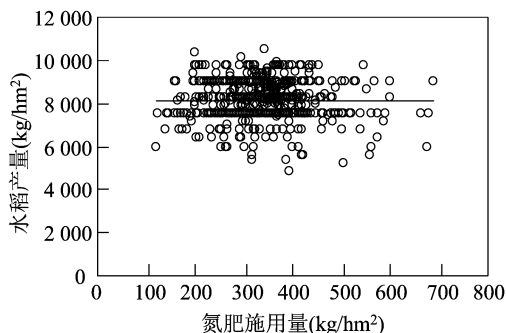


图3 江苏省农户氮肥用量与水稻产量的关系

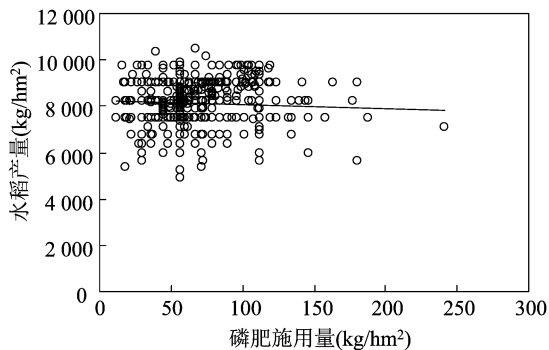


图4 江苏省农户磷肥施用量与水稻产量的关系

2.3 磷肥梯度试验与减磷增效试验中施肥量与水稻产量之间的关系

为了进一步明确磷肥减施对水稻生产及其产

量构成上的影响,2019 年在太湖流域的宜兴地区进行了磷肥减施田间试验^[24]。试验主要设如下处理:(1)农民常规施肥;(2)减磷 20%;(3)减磷 20% 的基础上用有机肥替代化肥磷肥。同时,也设定了不同磷肥施用量的田间试验,与上述研究进行比对。结果表明,在磷肥施用量达到 P_2O_5 50 kg/hm^2 时,磷肥的增产效果其实已经达到峰值,再继续增加磷肥用量,总体上并不能显著促进水稻产量的提高(表 1)。从中还可以看出,磷肥的作用主要是增加了有效穗数,即促进了水稻分蘖,从而增加其籽粒产量。而农民目前的磷肥施用量普遍达到 P_2O_5 90 kg/hm^2 ,因此磷肥减施 20%,以及有机肥替代化学磷肥都不会影响稻谷产量。另外,在华中地区的水稻种植中,通过秸秆还田,也能减少化学磷肥施用,并保证水稻产量^[26]。这些试验结果都说明,目前最好是通过有机物料的施用来减少大量化学磷肥的投入,这不仅能够补充作物所需要的磷营养,同时还能将农村中的有机废弃物进行资源化再利用,这是今后化肥减施增效的重要措施,需要在农村进行推广。

3 结论与讨论

通过对由农业院校或农业科研院所开展的肥料试验的总结,发现在精确控制化肥施用量的情况下,无论是氮肥还是磷肥都能促进水稻产量(图 1、图 2),尤其是氮肥的增产效果非常显著(图 1),而磷肥的施用量只需要达到一定水平(P_2O_5 达到 30 kg/hm^2)就能促进水稻的产量(图 2),继续增施磷肥并不能进一步显著地提高水稻产量。还有研究认为在一定年限内完全不施磷肥,也可以保证水稻产量^[22]。从我们在太湖流域开展的定位试验结果来看,也证实了水稻生产过程中,可以在目前农民的施用水平上减少 20% ~ 36% 的磷肥用量,不仅完全保证水稻产量(表 1),而且还可以显著降低磷在土壤中的盈余量,并且通过有机肥的施用还可以进一步减少化学磷肥的施用量,同时减少磷在土壤中的盈余(表 2),因此可以逐年降低磷在土壤中的积累,并对农村有机废弃物进行资源化利用,对减少环境污染具有一举多得的效果。因此,目前太湖流域水稻栽培中完全可以实施上述措施,以减少化学磷肥带来的环境污染风险。

从操作上来讲,通过加强田间管理水平来提高肥料利用率、减少化肥施用也是完全可行的^[26-28]。

表 1 2019 年宜兴定位试验点磷肥施用量下水稻产量及其构成因素

处理	产量构成因素				实际产量 (kg/hm ²)
	有效穗数 (万穗/hm ²)	每穗粒数 (粒)	千粒质量 (g)	结实率 (%)	
P ₂ O ₅ 用量 0 kg/hm ²	286c	107a	29a	96% a	7 830b
P ₂ O ₅ 用量 50 kg/hm ²	362a	113a	28a	96% a	9 255a
P ₂ O ₅ 用量 100 kg/hm ²	321b	117a	30a	96% a	9 360a
P ₂ O ₅ 用量 150 kg/hm ²	324b	116a	30a	97% a	9 105a
农民常规施肥 (P ₂ O ₅ 90 kg/hm ²)	358a	115a	28a	93% a	9 540a
磷肥减施 20% (P ₂ O ₅ 72 kg/hm ²)	349a	119a	29a	93% a	9 195a
磷肥减施 36% 有机肥替代 (P ₂ O ₅ 57.6 kg/hm ²)	342a	118a	29a	94% a	9 350a

表 2 2019 年不同磷肥施用量对水稻磷素累积和土壤磷盈亏的影响 (以纯 P 计)

处理	磷素累积量 (kg/hm ²)	磷素盈亏量 (kg/hm ²)	处理 (kg/hm ²)	磷素累积量 (kg/hm ²)	磷素盈亏量 (kg/hm ²)
P ₀	28.4b	-28.4			
P ₅₀	33.7a	-11.8	农民常规施肥	36.7a	2.6
P ₁₀₀	34.8a	8.87	磷肥减施 20%	38.9a	-7.5
P ₁₅₀	36.8a	28.7	磷肥减施 36% 有机肥替代	37.1a	-6.1

但是,针对农户实际生产而言,这意味着要花更多的时间和劳动,因此农民在施肥过程中管理粗放,导致了肥料的浪费和污染,而且还不能显著提高产量(图 3、图 4)。如何执行肥料减施这项措施是当前农村环境整治的一个重要工作。

究其原因,在于一方面农民自身并没有意识到施肥对环境产生的重大影响。许多人认为保护环境是政府的责任,村民自愿、主动参与环境保护的意识不够。因此造成化肥农药的大量使用,农村有机废弃物,如家禽粪便及生活垃圾的随意处置,导致农村生态环境无法走上良性的轨道,农村环境治理体系和治理能力依然薄弱^[2]。基于此,本研究进一步提出完善农村环境治理的几点对策建议:

在社会转型背景下,农村集体行动力减弱,因此,健全农村环境制度体系,为农村环境治理提供制度保障,培养主体的参与意识及公共责任意识,调动村民参与环境治理的自觉性,是推进肥料减施的重要保证,也是促进农村环境治理的现代化转型必要条件。农民不仅是农村生态环境恶化的受害者,同时也是生态环境治理的主力军。为此,首先,及时以多种方式向农民宣传国家环保政策法规,加强宣传农村环境污染的危害,引导农民科学施肥,增强村民的主体意识,调动大家环境保护的积极性

和主动性。其次,深入开展绿色乡村、节能环保社区等系列创建活动,引导和激励农民培养绿色的生产方式。并通过农业科研院所和高校与当地农技部分一起引导他们学习和掌握农业生产的新技术与新知识,完成绿色农业的升级与改造^[29]。再次,制定奖惩措施。在农村有必要实施奖励和惩戒等多重举措,鼓励农民减少化肥施用,并合理补偿部分产量损失,而对于破坏环境的村民,给予惩罚,以此约束农民自觉减少环境污染行为。最后,值得一提的是,由于不同水稻品种之间也存在对肥料利用率的差异^[30-31],因此还可以通过引进养分高效吸收的品种来提高对养分的吸收利用^[32],从而进一步减少施肥量。

参考文献:

[1]李妍,席运官,张纪兵,等.太湖流域水稻生产的氮、磷投入阈值[J].江苏农业学报,2015,31(5):1017-1023.
[2]黄懿.浅析我国农村生态环境问题现状及对策[J].能源与环境,2019(5):66-70.
[3]国家海洋局.中国海洋事业的发展:2016[R].北京:国家海洋局,2016.
[4]席运官,田伟,李妍,等.太湖地区稻麦轮作系统氮、磷径流排放规律及流失系数[J].江苏农业学报,2014,30(3):534-540.
[5]秦伟,陆欢欢,王芳,等.太湖流域典型农田系统土壤中磷的

- 流失[J]. 江苏农业科学,2012,40(6):321-323.
- [6] Chen X, Stokol M, Kroeze C, et al. Seasonality in river export of nitrogen: a modelling approach for the Yangtze River [J]. Science Total Environment, 2019, 671: 1282-1292.
- [7] Liu X, Beusen A H W, van Beek L P H, et al. Exploring spatiotemporal changes of the Yangtze River (Changjiang) nitrogen and phosphorus sources, retention and export to the East China Sea and Yellow Sea [J]. Water Research, 2018, 142: 246-255.
- [8] 李文西, 张月平, 毛伟, 等. 水稻磷肥施用效果、经济效益及推荐用量[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(10): 61-63.
- [9] 王朋, 刘洪伏. 不同磷肥运筹对水稻产量形成的影响[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(24): 30-31.
- [10] 赵庆雷, 王凯荣, 马加清, 等. 长期不同施肥模式对稻田土壤磷素及水稻磷营养的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(8): 1539-1545.
- [11] 朱荣松, 沈家禾, 吕连庆, 等. 不同施磷量对水稻产量及肥料利用率的影响[J]. 现代农业科技, 2017(7): 8-9.
- [12] 张祥明, 程生龙, 郭熙盛, 等. 不同氮肥用量对晚稻生长的影响与产量效应[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(17): 4355-4356.
- [13] 王玉雯. 氮肥优化管理对稻麦轮作系统生产力的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [14] 薛利红, 李刚华, 侯朋福, 等. 太湖地区稻田持续高产的减量施氮技术体系研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 729-736.
- [15] 薛峰, 颜廷梅, 乔俊, 等. 太湖地区稻田减量施肥的环境效益和经济效益分析[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(4): 26-31.
- [16] 崔玉亭, 程序, 韩纯儒, 等. 苏南太湖流域水稻经济生态适宜施氮量研究[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 659-662.
- [17] 林忠成. 太湖地区土壤-作物系统氮素利用的综合研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2010.
- [18] 吴靛. 稻麦轮作下施氮量对氮素损失影响及氮肥投入阈值研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- [19] 林忠成, 叶世超, 戴其根, 等. 太湖流域不同施氮水平对水稻产量和土壤氮素的影响[J]. 江苏农业科学, 2009(6): 386-389.
- [20] 赵庆雷, 王凯荣, 马加清, 等. 长期不同施肥模式对稻田土壤磷素及水稻磷营养的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(8): 1539-1545.
- [21] 刘彩玲, 杨松楠, 隋标, 等. 太湖流域水稻最佳养分管理研究[J]. 南京农业大学学报, 2011, 34(4): 71-76.
- [22] 袁佳慧, 汪玉, 王慎强, 等. 稻麦轮作磷肥减施下水稻土磷素生物有效性特征[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(7): 599-605.
- [23] 张瑞卿. 江苏省水稻高产高效生产的农户特征因素调查与分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [24] 杨坤. 磷肥减施增效对太湖流域稻麦产量及磷肥利用率的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [25] 王昆昆, 廖世鹏, 任涛, 等. 连续秸秆还田对油菜水稻轮作土壤磷素有效性及作物磷素利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(1): 94-104.
- [26] 陈新平, 吴良泉, 张福锁, 等. 中国三大粮食作物区域大本文与施肥建议[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 76-93.
- [27] 李美玲, 王文第, 韩凯, 等. 旋耕深度、施氮量和栽植密度对水稻产量与氮素分配利用的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(4): 55-61.
- [28] 蒋伟勤, 马中涛, 胡群, 等. 缓控释氮肥对水稻生长发育及氮素利用的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(3): 777-784.
- [29] 张志胜. 多元共治: 乡村振兴战略视域下的农村生态环境治理创新模式[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2020, 26(1): 201-210.
- [30] 闫金珪, 鲁君明, 候文峰, 等. 磷肥用量对不同水稻品种产量和磷肥利用率的影响[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(8): 74-81.
- [31] 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.
- [32] Zhang M, Wang Y, Chen X, et al. Plasma membrane H^{+} -ATPase overexpression increases rice yield via simultaneous enhancement of nutrient uptake and photosynthesis [J]. Nature Communications, 2021, 12: 735.