

我国主要粮食作物施用锌肥增产效果的整合分析

朱盼盼, 石磊*

(农业农村部长江中下游耕地保育重点实验室 / 华中农业大学微量元素研究中心, 湖北 武汉 430070)

摘要: 锌是作物必需的营养元素, 但我国主要粮食作物施锌的增产效果及其影响因素并不清楚。通过收集 87 篇文献, 基于 Meta 分析研究了小麦、玉米和水稻等锌肥施用的增产效果及其关键影响因素。结果表明: 小麦、玉米和水稻施用锌肥平均增产 9.9%, 其中水稻和玉米的增产率相似且均显著高于小麦。三类粮食作物锌肥土施增产率为 8.2%, 增产效果好于喷施, 但相同施锌量条件下喷施的增产效果较好。水稻、玉米和小麦锌肥的合适用量范围分别为 21 ~ 30、21 ~ 30 和 11 ~ 20 kg/hm², 锌肥的增产效果为华中地区水稻和小麦好于玉米, 东北地区玉米好于水稻和小麦。此外, 水稻、玉米和小麦锌肥增产幅度随着年代发生变化, 2011 年之后呈逐渐增高的趋势。综上所述, 施用锌肥能有效提高粮食作物的产量, 但是其增产效果受作物种类、施用方式、施用量、施用时期等因素的影响。因此, 锌肥的施用要考虑多种因素条件, 应选择合理的施用方式和施用量来提高锌肥的增产效果。

关键词: 粮食作物; 锌肥; 施用方式; 施用量; 增产率; Meta 分析

锌是植物必需的微量营养元素, 作为多种酶的重要组成部分参与植物的代谢, 影响碳水化合物、生长素的合成^[1], 对于作物产量的提高和品质的改善有重要作用。我国土壤缺锌日趋严重, 缺锌土壤面积达 4866.7 万 hm²^[2]。研究表明, 施锌对水稻、玉米和小麦增产均有显著影响。水稻施锌可提高水稻穗数, 进而增加水稻产量^[3-4]。玉米施锌可有效促进玉米的生长发育, 提高玉米的穗长、穗粒数和千粒重等产量因素, 从而显著增加玉米产量^[5-6]。同样, 适量施用锌肥能够提高小麦的发根力、根活性及分蘖力, 延缓小麦花后叶面积衰减进程, 促进干物质的积累, 进而增加小麦干物质积累量、穗粒数、千粒重、穗数, 最终提高小麦的产量^[7-9]。开展锌肥对主要粮食作物的增产潜力研究, 对指导种植户科学合理使用锌肥, 提高主要粮食作物产量, 进而实现饭碗牢牢端在我们自己手上具有重要意义。

锌肥的增产效果不仅与土壤养分状况有关, 而且受作物种类、锌肥施用方式、施用量和施用时期等因素的影响^[10]。研究显示, 水稻产量随着锌肥施

用量的增加先上升后下降, 玉米产量随着锌肥施用量的增加上升后趋于平稳^[11]。在华北石灰性土壤, 土施和叶面喷施锌肥没有显著提高玉米产量, 但对小麦产量有一定程度地提高^[12]。水稻土壤施锌各处理平均增产效果显著高于叶面喷锌^[3]。不同年代土壤肥力、气候、产量水平、作物品种、农艺措施差异较大, 锌肥的增产效果差异也很大^[13]。土壤干旱时土施锌肥对小麦产量无显著影响, 但叶喷锌肥有增产趋势^[14]。不同地区土壤锌含量和气候等因素不同, 锌的利用效率也不同, 但不同气候等环境因子和农艺措施等管理措施对锌肥施用影响的研究不多。总体上, 上述研究基本都是施用锌肥对主要粮食作物增产的单因素分析, 但单个田间试验研究难以准确回答较大区域上施用锌肥对主要粮食作物产量的影响。

Meta 分析是一种能够将若干独立研究的结果进行综合分析, 可对多个具有共同研究目的且相互独立的多个研究结果进行定量合并, 剖析研究间差异特征, 定量综合评价研究结果的统计方法^[15]。近年来, Meta 分析在农学专业领域的应用发展迅速, 周燕等^[16]运用 Meta 分析方法定量分析施氮对棉花产量和氮素吸收量的影响。夏思瑶等^[17]采用 Meta 数据整合分析方法, 定量分析施用有机肥对生菜产量和品质的综合效应。石如岳等^[18]通过 Meta 分析方法综合分析施用中微量元素对番茄产量和品质的作用效果。但是, 目前国内没有关于锌肥对粮食作物产量增产效应方面的 Meta 分析报道。本研究通过总结

收稿日期: 2022-05-11; 录用日期: 2022-07-11

基金项目: 国家重点研发计划重点专项 (2023YFD1700204)。

作者简介: 朱盼盼 (1998-), 硕士研究生, 主要从事微量元素与农产品品质研究。E-mail: zpp155367@163.com。

通讯作者: 石磊, E-mail: leish@mail.hzau.edu.cn。

2000 年后锌肥施用对我国主要粮食作物水稻、玉米和小麦产量的影响,分析不同作物种类、锌肥施用量、锌肥施用方式、锌肥施用年代和地区对主要粮食作物增产的差异,为我国粮食作物增产中锌肥的合理施用提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据收集

以“锌+产量+水稻”“锌+产量+玉米”“锌+产量+小麦”为关键词,在知网、万方、维普、Web of Science 等文献数据库中检索 2000 年 1 月 1 日至 2021 年 10 月 1 日之间发表的田间试验论文(不包括室内试验、评价类、综述类、模型模拟类等文章及相关专业的硕、博士学位毕业论文)进行对比^[19]。

设置以下条件对检索到的文献进行筛选以获得符合整合(Meta)分析要求的文献数据:(1)试验结果发表在核心期刊中;(2)试验是在中国进行的对比试验,以水稻、玉米、小麦为研究对象,试验设计包括施锌处理与不施锌处理;(3)试验必须在大田进行,剔除盆栽及营养液培养等试验结果;(4)文献中明确说明了不同处理的试验重复数及各试验处理的产量均值(试验重复至少 3 次);(5)相同田间对照试验发表在不同期刊时,选择相关信息描述最为详细的文献;(6)补充原文参考文献中引用但未被检索到的遗漏文献,剔除存在显著发表偏倚性的文献。经筛选,共获得 87 篇相关文献,整理数据 500 组。在数据搜集过程中,如果文献中的数据是以图表形式表现的,则采用 GetData Graph Digitizer 2.25 来获取^[20]。

1.2 数据分析

在 Excel 2016 中建立关于农作物产量的数据库,并根据研究目的进行分类和计算,使用反应比 R 的自然对数(lnR)作为效应值:

$$R=X_t/X_c$$

$$\ln R=\ln(X_t/X_c)=\ln X_t-\ln X_c$$

式中 X_t 是试验组作物产量指标的均值, X_c 是对照组作物产量指标的均值^[21]。因为入选的研究大多没有报道试验数据的标准误或标准差,故本文采用无权重分析方法,利用重复抽样技术计算效应值^[18]。采用 SPSS 23.0 进行 bootstrap 计算,抽样频率为 5000 次,得到平均效应值和上下限,利用 Origin 2017 制作森林图^[22-24]。

为更直观地观察锌肥对作物增产率的影响效果,需将 lnR 转化为锌肥施用的增效率(Z):

$$Z=(R-1)\times 100\%$$

如果在 95% 的置信区间内不包括 0,则效应值是显著的;如果分类变量之间 95% 的置信区间不重叠,则分类变量之间的差异是显著的^[25]。

1.3 模型选择

本研究纳入的数据源自国内独立试验研究,不同试验间土壤质地、施肥方式、气候条件、栽培年份、作物品种以及田间管理等方面存在着差异,故研究间存在着很大变异,所以选择随机效应模型计算综合效应值。

1.4 数据分类

为探究不同因素对施用锌肥对粮食作物的增产效应的影响,根据从文献中所提取的数据,按照作物种类、地区、施用方式、施用量以及施用年份来进行分类,分类结果如表 1 所示。

数据收录了东北、华北、华东、华南、华中、西北、西南 7 个区域内的试验数据^[26],按照中国地理区域划分,华中地区包括河南省、湖北省、湖南省,华东地区包括山东省、江苏省、浙江省、安徽省、福建省、江西省、上海市、台湾省,华南地区包括广西省、广东省、海南省、香港特别行政区、澳门特别行政区,华北地区包括北京市、天津市、山西省、河北省、内蒙古自治区,东北地区包括黑龙江省、吉林省、辽宁省,西南地区包括四川省、重庆市、云南省、贵州省、西藏自治区,西北地区包括新疆省、青海省、甘肃省、宁夏省、陕西省,其中,在华南和西南地区无相关田间试验报道。

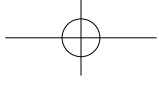
表 1 各影响因素分类概况

影响因素	分类
作物种类	水稻、玉米、小麦
施用方式	土施、喷施、土施+喷施
施用量 (ZnSO ₄ ·7H ₂ O, kg/hm ²)	0~10、11~20、21~30、≥31
试验地区	华中、华东、华南、华北、东北、西北
试验年份	2000—2005、2006—2010、 2011—2015、2016—2021

2 结果与分析

2.1 施用锌肥对水稻、玉米和小麦产量的影响

水稻、玉米和小麦施用锌肥的增产效应显



著,其中水稻、玉米、小麦及总体粮食作物施用锌肥的增产幅度分别为9.9%、9.2%、6.2%和8.5% (图1)。水稻和玉米施用锌肥的增产率相似且显著高于小麦 (图1)。

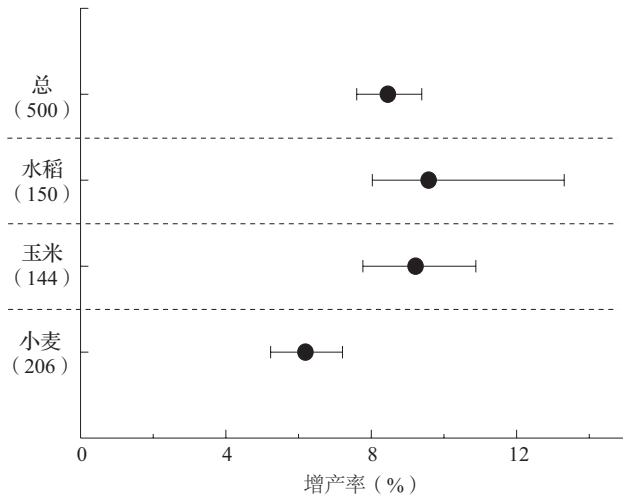


图1 锌肥施用对不同粮食作物增产的影响

注:纵坐标作物下括号内的数值代表样本数。下同。

2.2 锌肥不同施用方式对水稻、玉米和小麦产量的影响

与不施锌肥处理比较,锌肥土施、喷施以及同时土施和喷施 (土施+喷施) 均显著提高了水稻、小麦和玉米的产量。其中,锌肥土施增产效果最好,增产率为8.2%;但施锌量相同时,喷施增产作用最好 (图2、3)。水稻和小麦锌肥土施的增产效果最好,增产率分别为9.8%和6.8%;玉米土施+喷施的增产效果最好,增产率为11.3% (图2)。总体上同一作物不同施锌方式之间的增产率没有显著差异,水稻和玉米锌肥增产效果优于小麦 (图2、3)。

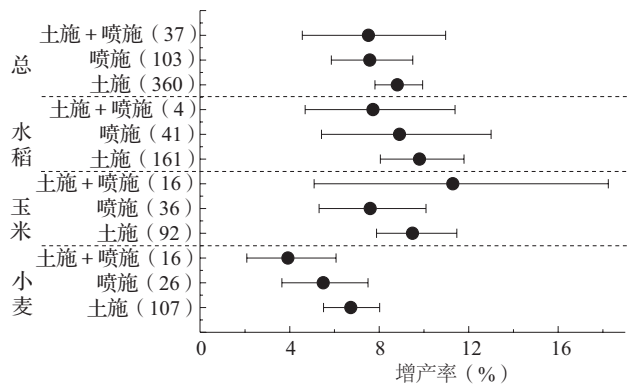


图2 施用方式对不同作物增产率的影响

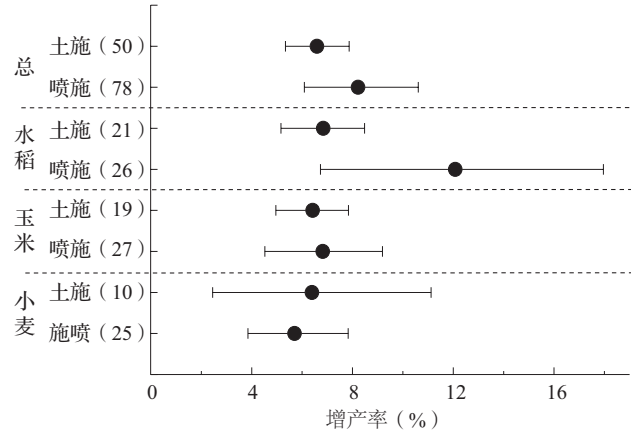


图3 相同锌肥用量下施用方式对不同作物增产率的影响

2.3 锌肥不同施用量对水稻、玉米和小麦产量的影响

总体上,水稻、玉米和小麦增产率开始时随锌肥施用量 (按 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 计算) 的增加而增加,在锌肥施用量范围为 $21 \sim 30 \text{ kg/hm}^2$ 时的增产效果最好,增产率达9.5%;当锌肥用量超过 30 kg/hm^2 后作物增产率均下降 (图4)。不同锌肥用量对水稻、玉米和小麦增产效果不同,其中水稻和玉米在锌肥施用量为 $21 \sim 30 \text{ kg/hm}^2$ 时增产效果最好,增产率分别为11.2%和10.6%,施用量超过 30 kg/hm^2 后增产率均下降;而小麦锌肥施用量在 $11 \sim 20 \text{ kg/hm}^2$ 时增产效果最好 (7.2%),当锌肥施用量超过 20 kg/hm^2 后增产呈下降趋势 (图4)。相同锌肥施用量范围,水稻和玉米的增产效果优于小麦 (图4)。

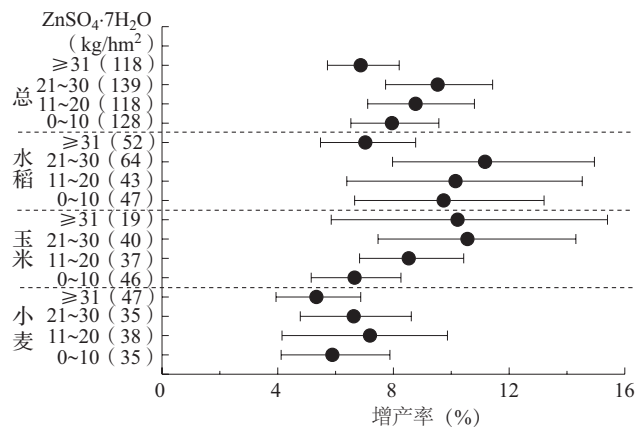


图4 锌肥用量对不同作物增产率的影响

2.4 不同地区施用锌肥对水稻、玉米和小麦产量的影响

总体上,华中地区施用锌肥的作物增产效果最佳,增产率可达11.2%;华东地区施用锌肥增产效果最差,增产率为6.4% (图5)。

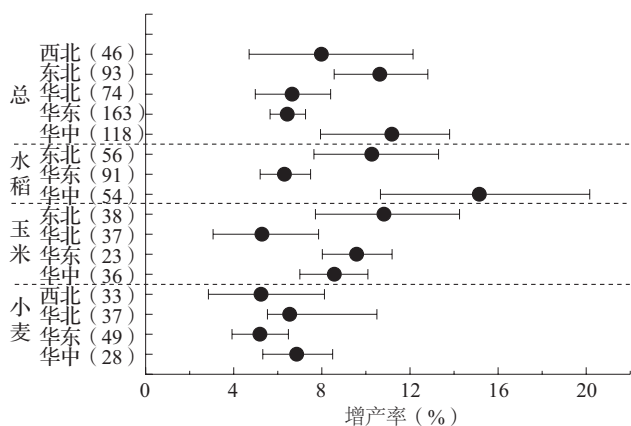


图5 不同地区施用锌肥对不同作物增产率的影响

华中地区水稻施用锌肥的增产效果最佳, 增产率可达 15.2%; 在华东地区的增产效果最差, 增产率仅为 6.3%; 与华东地区比较, 华中和东北地区增产率分别显著提高 140.5% 和 63.0%。玉米施用锌肥在东北地区的增产效果最佳, 增产率可达 10.8%, 华北和华东地区增产率有显著差异。各地区小麦施用锌肥的增产率差异不显著 (图 5)。

华东地区土壤有效锌含量较高, 华中、华北、东北、西北地区有效锌含量差异不明显 (图 6)。

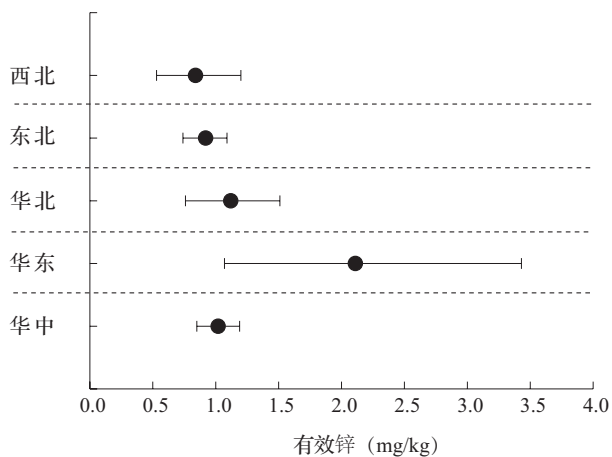


图6 不同地区土壤有效锌的平均含量

2.5 不同年代施用锌肥对水稻、玉米和小麦产量的影响

不同年代施用锌肥增产效果不同 (图 7)。总体上, 2016 年之前施用锌肥的增产率相近似, 2016 年之后施用锌肥的增产效果明显增加。其中, 水稻和玉米锌肥增产率随年份增加而提高, 2016 年之后的增产效果明显, 增产率分别达 10.5% 和 11.6%。小麦施用锌肥, 2006—2010 年之间的增产效果明显, 增产率达 11.5%, 2011—2015 年之间锌肥增产效果

差, 增产率为 4.1%, 与 2011—2015 年相比, 2016 年之后小麦锌肥增产率有增加趋势 (图 7)。

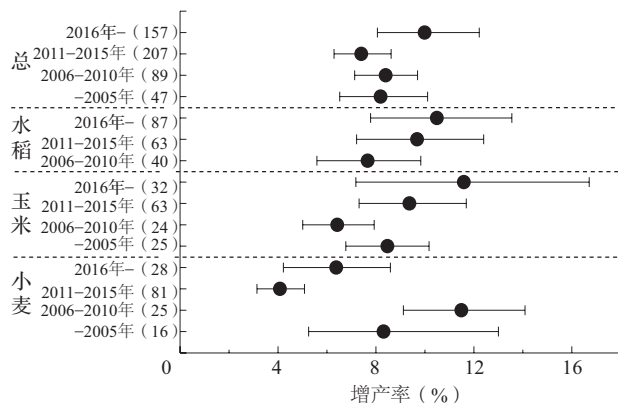


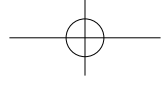
图7 不同年代施用锌肥对不同作物增产率的影响

3 讨论

在同一施锌量条件下, 玉米和水稻的增产效果明显, 而小麦的增产效果不明显^[13]。本研究 Meta 分析结果也表明, 施用锌肥能显著提高小麦、玉米和水稻的产量, 且水稻与玉米增产效果显著优于小麦 (图 1)。由于玉米和水稻对锌敏感, 而小麦对锌不敏感^[27-28], 在缺锌和低锌条件下, 对缺锌敏感的玉米来说, 新老叶片中叶绿素含量及光合速率降低程度高于小麦^[29], 所以生长受到更大的抑制。

本研究 Meta 分析结果显示水稻和小麦锌肥土施增产效果最好 (图 2)。Yilmaz 等^[30] 和 Haslett 等^[31] 研究也发现, 小麦土施锌肥的产量高于叶面喷施锌肥。锌肥土施效果较好主要是因为土施锌肥的施用量远远大于喷施, 土壤能够不断为作物生长提供需要的锌^[32], 而叶面喷施植物锌的吸收有限^[33]。相同施锌量时, 锌肥叶面喷施的增产效果优于土施 (图 3), 由于相同施锌量下, 施入土壤中的锌会被土壤固定^[14], 有效性降低, 而叶面喷施锌肥的表观利用率高于土施锌肥^[34]。

锌作为微量元素, 适宜和过量的范围很窄。过量的锌会使植物根系的生长受到抑制, 叶面喷锌浓度过高会干扰植物叶绿素的合成, 阻碍光系统的电子传递, 进而影响植物的光合作用^[35]。小麦低锌处理的穗粒数和千粒重最多, 中锌处理的穗数最多, 高锌处理的穗数、穗粒数、千粒重均减少, 低锌和中锌水平产量显著提高, 建议锌肥施用量以 11.25 kg/hm² 为宜^[7]。也有研究显示, 玉米产量随锌肥施用量的增加呈先增加后降低趋势^[6], 小



麦、玉米和水稻的增产率随土施锌肥量的增加而增加,当施锌量达到一定的范围后,增产率降低,建议小麦、玉米和水稻土施锌肥的合适用量分别为 15 ~ 45、20 ~ 30 和 20 ~ 30 kg/hm²^[13]。本研究 Meta 结果也表明,水稻、玉米和小麦增产率随着锌肥施用量的增加而增加,当锌肥用量达到一定程度时,增产率随锌肥施用量的增加而降低,水稻、玉米和小麦土施锌肥的合适用量分别为 21 ~ 30、21 ~ 30 和 11 ~ 20 kg/hm² (图 4)。因此,在农业生产中要根据土壤和作物确定锌肥的合理用量。

华中地区水稻和小麦施用锌肥的增产效果较好,东北地区玉米施用锌肥的增产效果较好;华东地区水稻和小麦施用锌肥的增产效果较差 (图 5)。与华中、华北、东西和西北地区比较,华东地区土壤有效锌含量较高 (图 6)。这表明,土壤有效锌含量较低的地区施用锌肥作物的增产最显著。但是,我们对不同地区三类作物所有田间试验土壤有效锌含量和产量的反应 (增产率) 进行相关性分析,结果表明两者相关性不显著 ($r=0.027$), 因为: (1) 不同地区的土壤条件和气候状况不同,土壤有效锌含量不同,而锌肥施用效果不仅与土壤有效锌含量有关,而且与土壤有效锌临界值密切相关^[35],因此相同施锌量下有的地区增产,有的地区却不增产。锌肥肥效还受土壤有机质和 pH 等多种因素影响^[36]。土壤较高的碳酸钙含量及 pH 使施入土壤中的锌很快转化为非有效态即钝化形态^[14]。因此,在碱性土壤中,如我国西北地区土壤,对锌的固定作用很强^[37],锌肥的利用效率低,作物增产效率低。(2) 同一试验土壤有效锌含量相同,但不同锌肥施用量及施用方式的增产率不同。

本研究 Meta 分析结果表明,不同年代下,施用锌肥对主要粮食作物的增产效果不同 (图 7)。由于不同年代气候、土壤肥力、产量水平、作物品种、农艺措施差异较大,锌肥施用效果具有年际效应^[13]。总体来看,2006 年之后,水稻和玉米施用锌肥增产率呈增长趋势,这与国家从 2005 年测土配方施肥全面推进有关,即通过配方施肥补足其他最小养分,锌肥的利用效率提高。由于在土壤-植物体系中磷和锌存在拮抗作用,过量磷肥的施用降低了锌的有效性,这可能是一段时间内小麦施锌增产率降低的一个原因。2011 年之后,水稻、小麦和玉米锌肥增产率都随年代增加而提高,可能是长期耕作下消耗过多的土壤锌得到了及时、科学的补充,同时与土

壤基础地力提升、更加科学施肥、施用功能性新型作物专用肥料也有直接关系,施锌增产显著。

4 结论

施用锌肥能提高我国主要粮食作物的产量,其中在水稻和玉米上的增产效果优于小麦,尤其以华中的水稻、东北的玉米作为重点区域多施锌肥,推荐用量分别为 21 ~ 30、21 ~ 30 kg/hm²,同时,在不同的地区,需要根据土壤有效锌含量选择合适的锌肥施用量及施用方式,提高锌肥利用效率,实现我国粮食作物的稳产高产。

参考文献:

- [1] 张俊伶. 植物营养学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2021: 144-146.
- [2] 李庆逵, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题 [M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998.
- [3] 冯绪猛, 郭九信, 王玉雯, 等. 锌肥品种与施用方法对水稻产量和锌含量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (5): 1329-1338.
- [4] 郭九信, 廖文强, 凌宁, 等. 氮锌配施对小麦产量及氮锌含量的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2013, 36 (2): 77-82.
- [5] 汪洪, 刘新保, 褚天铎, 等. 锌肥对作物产量、子粒锌及土壤有效锌含量的后效 [J]. 土壤肥料, 2003 (1): 3-6, 9.
- [6] 杜秀玲, 王海玮, 徐杏. 锌肥不同施用量对玉米产量及植株性状的影响 [J]. 安徽农业科学, 2016, 44 (21): 37-38.
- [7] 韩金玲, 杨晴, 周印富, 等. 旱地施用锌肥对冬小麦干物质积累和产量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2010, 30 (2): 358-361.
- [8] 兴荣荣, 马丽娅·马木提, 张保军, 等. 锌铁微肥对冬小麦籽粒产量及其微量元素含量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2018, 38 (12): 1490-1495.
- [9] 李强. 锌对小麦生长及产量的影响 [J]. 土壤肥料, 2004 (1): 16-18.
- [10] 褚天铎, 刘新保, 王淑惠, 等. 小麦施锌肥效果及使用技术的研究 [J]. 土壤肥料, 1987 (4): 24-26.
- [11] 王子腾, 耿元波. 国内外主要粮食作物对施用锌肥响应的研究进展 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (3): 805-816.
- [12] 刘敦一, 庞丽丽, 张伟, 等. 锌肥施用方式对小麦、玉米产量和籽粒锌含量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014 (4): 76-80, 90.
- [13] 王孝忠, 田娣, 邹春琴. 锌肥不同施用方式及施用量对我国主要粮食作物增产效果的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (4): 998-1004.
- [14] 李孟华, 王朝辉, 王建伟, 等. 低锌旱地施锌方式对小麦产量和锌利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (6): 1346-1355.
- [15] 金玉文, 芦远阔, 许华森, 等. Meta 分析养分管理措施对

- 菜田土壤硝酸盐累积淋溶阻控效应[J]. 农业工程学报, 2022, 38 (3): 103–111.
- [16] 周燕, 孙洋洋, 胡志伟, 等. 氮肥对棉花产量和氮素吸收量影响的 Meta 分析[J]. 福建农业学报, 2022, 37 (3): 317–325.
- [17] 夏思瑶, 王冲, 王新宇. 施用有机肥对生菜产量和品质影响的 Meta 分析[J]. 中国土壤与肥料, 2021 (6): 312–318.
- [18] 石如岳, 王冲, 杨俊雪, 等. 中微量元素对番茄产量和品质影响的整合分析[J]. 中国瓜菜, 2021, 34 (3): 66–71.
- [19] 杨锦忠, 张洪生. 玉米氮、磷、钾、水和二氧化碳资源积累与利用的 Meta 分析[J]. 玉米科学, 2015, 23 (5): 136–141.
- [20] 王媛媛, 秦刚, 汪徐林, 等. GetData Graph Digitizer 软件在生存分析中的应用[J]. 中国卫生统计, 2016, 33 (2): 339.
- [21] Hedges L V, Gurevitch J, Curtis P S. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology[J]. Ecology, 1999, 80 (4): 1150–1156.
- [22] Adams D, Gurevitch J, Rosenberg M S. Resampling tests for meta-analysis of ecological data[J]. Ecology, 1997, 78 (4): 1277–1283.
- [23] Gurevitch J, Hedges L V. Statistical issues in ecological meta-analyses[J]. Ecology, 1999, 80 (4): 1142–1149.
- [24] Rosenberg M S, Adams D C, Gurevitch J. Metawin: statistical software for Meta-analysis, version 2.0 [M]. Sunderland: Sinauer Associates Inc., 1999.
- [25] Curtis P S, Wang X Z. A meta-analysis of elevated CO₂ effects on woody plant mass, form, and physiology[J]. Oecologia, 1998, 113 (3): 299–313.
- [26] 夏思瑶, 王冲, 王新宇. 施用有机肥对生菜产量和品质影响的 Meta 分析[J]. 中国土壤与肥料, 2021 (6): 312–318.
- [27] Alloway B J. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2009, 31 (5): 537–548.
- [28] 高质, 林葆, 周卫. 锌素营养对春玉米内源激素与氧自由基代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7 (4): 424–428.
- [29] 王妍. 微量元素缺乏时小麦、玉米叶绿素快相荧光动力学特征的比较[D]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2013.
- [30] Yilmaz A, Ekiz H, Torun B, et al. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils[J]. Journal of Plant Nutrition, 1997, 20 (4–5): 461–471.
- [31] Haslett B S, Reid R J, Rengel Z. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots[J]. Annals of Botany, 2001, 87 (3): 379–386.
- [32] 周伟. 不同施锌方法对小麦含锌量及产量影响的研究[J]. 生态农业研究, 1995, 3 (1): 34–38.
- [33] 叶廷红, 张赓, 李小坤. 水稻锌营养及锌肥高效施用研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2019 (6): 1–6.
- [34] Rajendra P, Shivay Y S, Dinesh K. Agronomic biofortification of cereal grains with iron and zinc[J]. Advances in Agronomy, 2014, 125: 55–91.
- [35] Wissuwa M, Ismail A M, Graham R D. Rice grain zinc concentrations as affected by genotype, native soil-zinc availability, and zinc fertilization[J]. Plant Soil, 2007, 306 (1–2): 37–48.
- [36] 甘万祥, 高巍, 刘红恩, 等. 锌肥施用量及方式对夏玉米籽粒淀粉含量和产量的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29 (6): 202–207.
- [37] Prasad R, Shivay Y S, Kumar D. Interactions of zinc with other nutrients in soils and plants—a review[J]. Indian Journal of Fertilisers, 2016, 12 (5): 16–26.

Effects of application of zinc on the yield increase of main grain crops in China by Meta-analysis

ZHU Pan-pan, SHI Lei* [Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Microelements Research Centre, Huazhong Agricultural University, Wuhan Hubei 430070]

Abstract: Zinc is an essential micronutrient for crops growth. However, the effect of zinc fertilizer application on cereal crops grain yield and the influencing factors are not summarized. By collecting 87 literatures to study the effect of zinc fertilizer application on the grain yields of wheat, maize and rice, as well as the key influencing factors by Meta-analysis. The results showed that the average grain yield of wheat, maize and rice increased by 9.9% by zinc fertilizer application. The rates of grain yield increase of rice and maize were similar, and were significantly higher than that of wheat. The average rate of grain yield increase of soil application of zinc was 8.2%, which was higher than that of spraying of zinc fertilizer, but the effect of spraying of zinc fertilizer was better than that of soil application of zinc fertilizer when the zinc application rate were the same. The optimum application rates of zinc fertilizer for rice, maize and wheat were 21–30, 21–30 and 11–20 kg/hm², respectively. In central China, the effect of zinc fertilizer on the increase of grain yield in rice and wheat was better than that in corn; and in northeast China, the effect of zinc fertilizer on the increase of grain yield in corn was better than that in rice and wheat. In addition, the increase of zinc fertilizer in rice, maize and wheat varied with age, and showed a trend of increasing after 2011. In conclusion, the application of zinc fertilizer can effectively improve the grain yield of cereal crops, but the rate of increase was affected by crop varieties, application methods, application rate, application time and other factors. Therefore, a variety of factors should be considered, and a reasonable application method and dosage should be determined before the application of zinc fertilizer to improve the effect of zinc fertilizer on grain yield of cereal crops.

Key words: cereal crops; zinc fertilizer; application method; application rate; increasing rate grain yield; Meta-analysis