

《农用地土壤采样测试及富锌土壤划定》

（征求意见稿）

编制说明

河南省地质科学研究所有限公司

二〇二五年三月

目 录

一、编制的目的和意义	1
（一）编制目的	1
（二）编制意义	1
二、任务来源及编制原则和依据	2
（一）任务来源	2
（二）编制原则和依据	2
三、编制过程	3
（一）前期调查与研究基础	3
（二）成立编制小组	4
（三）调研资料与采集数据	4
（四）分析数据	4
（五）起草标准及上报	4
四、主要内容的确定	4
（一）收集相关标准与文献资料	5
（二）土壤锌元素地球化学分布特征	13
（三）土壤锌元素迁移转换规律分析	16
（四）富锌土壤锌含量的确定	19
五、与国家法律法规和强制性标准的关系	23
六、标准实施的建议	24

一、编制的目的和意义

（一）编制目的

制定本标准的目的是规范我省农用地土壤锌含量丰缺评价，为开发利用富锌特色土壤资源、发展富锌产业和打造“豫农优品”提供科学依据。

（二）编制意义

锌是人体必需的一种微量金属元素,对维持人体的pH值平衡,促进骨骼发育,免疫调节、维生素的利用等起着极其重要的作用。缺锌会引起生长发育滞后、智力发育不良、皮肤炎、伤口愈合缓慢、脱发、神经精神障碍等疾病。同时锌有维持人体正常食欲的功能,缺锌会导致味觉下降,患者出现厌食、偏食、肠道菌群失调、消化功能紊乱等情况。根据我省多目标地球化学调查成果显示,我省拥有较大面积的锌富集土地资源,这为河南省发展特色农业、富锌产业等提供了资源保障。

目前富锌土壤没有国家标准和行业标准,对富硒土壤的界定值各地有所不同。研究证明,土壤中锌的有效性是影响植物锌含量的决定性因素,土壤pH值等因素都会影响土壤锌的有效性。因此根据以往的调查研究,制订具有针对河南土壤性质的地方标准很有必要。

建立河南省富锌土壤标准,可以规范我省富锌土壤的划分与评价,为评价我省农产品土壤锌元素丰缺、准确圈定富锌特色土

壤资源分布提供技术支撑，为我省各级政府引导企业有效利用、合理开发富锌土壤资源提供科学依据，对发展富锌产业、促进农业提质增效、农民增收具有重要的意义，也是建设“豫农优品”、巩固脱贫攻坚成果、促进本面乡村振兴重要支撑。

二、任务来源及编制原则和依据

（一）任务来源

根据河南省地质灾害防治和生态保护修复协会相关要求，我单位申报拟“农用地土壤采样测试及富锌土壤划定”团体标准制订计划。本标准由河南省地质科学研究所有限公司起草。

（二）编制原则和依据

1. 本标准按 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

2. 本标准的编写以“河南省多目标地球化学调查”和“河南省土地质量地球化学调查与评价”项目所获取的土壤锌含量资料为基本依据。

3. 本标准所定义的富锌土壤均指的是土壤在自然形成过程中的锌含量，而非直接添加锌元素的土壤。

4. 标准编制遵循“科学可行”原则，既尊重科学，又结合实际与文献资料，并广泛征求、听取各方意见，确保本标准行之有效。

本标准以河南省豫地科技集团 2023 年度科技项目（自筹经费）“富锌土壤锌含量要求研究”项目（任务书编号：

JTZCKY2023015) 为主要依据, 按照 GB/T 1.1 – 2009《标准化工作导则第一部分:标准的结构和编写规则》起草。起草主要参考了如下文件:

GB/T 17138 土壤质量 铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法;

DZ/T 0295 土地质量地球化学评价规范;

NY/T 395 农田土壤环境监测技术规范;

NY/T 1377 土壤 pH 的测定。

三、编制过程

(一) 前期调查与研究基础

本次编制的《富锌土壤锌含量要求》地方标准是依托于前期大量调查与科研工作的基础上进行的。2003 年起, 中国地质调查局下达的河南省多目标区域地球化学调查和河南土地质量地球化学调查与评价项目, 完成 1:25 多目标区域地球化学调查 12.54 万平方千米, 其中调查耕地 1.2 亿亩。同时在郑州市、温县、唐河县、邓州市等地区完成较高精度的 1:5 万调查 8685 平方千米, 通过采集土壤和农作物样品, 初步分析了土壤锌含量与农作物锌含量关系。

河南省土地质量地球化学调查累计采集表层土壤样品 12 万余件, 仅土壤测量分析数据就高达 173 万多条, 取得了大量的土地质量地球化学数据。

2023 年，由豫地科技集团统一部署，河南省地质科学研究所有限公司开展了“富锌土壤锌含量要求研究”地质科研项目，对河南省富锌土壤分布以及农作物与土壤锌含量的相关性做了大量研究工作，为制定标准打下了坚实的科研基础。

（二）成立编制小组

由河南省地质科学研究所有限公司委派技术骨干力量为本标准的编制人员，组成编制小组。

（三）调研资料与采集数据

主要包括：国内外富锌标准调研，国内富锌土壤、富硒农产品现状调查，国内外富锌产业发展现状调查，河南省土地质量地球化学调查，河南省农耕区土壤锌含量分布特征、农作物锌含量数据调查等。

（四）分析数据

主要包括：河南省土地质量地球化学调查数据分析，河南省土壤中锌的含量与分布，农作物中锌含量与分布情况，以及土壤锌含量与农产品锌含量的相关性分析。

（五）起草标准及上报

起草标准讨论稿，组织相关领域专家讨论，提出修改意见。形成送审稿，上报主管部门。

四、主要内容的确定

河南省地质科学研究所有限公司参与实施的我省 1：25 万土

地质量地球化学调查，通过对 1 亿多亩耕地的 25600 余件土壤样品进行了高精度测试，获得了我省耕地土壤锌资源普查有效数据。2023 年河南省地质科学研究所有限公司开展的“富锌土壤锌含量要求研究”地质科研项目对河南省富锌土壤和小麦锌含量的相关性做了大量研究工作，依据调查与研究结果并参考相关标准、文献资料确定了本标准内容。

（一）收集相关标准与文献资料

近年来，国内学者对富锌的土壤研究，大多以土地质量地球化学调查成果为基础开展相关探索。

黑龙江省地质调查研究总院、黑龙江省地质矿产测试应用研究所于 2019 年对富锌土壤标准制定进行了研究，并由黑龙江省市场监督管理局于 2019 年 7 月正式发布《富锌土壤评价技术要求》（DB23/ T 2410—201 9）省级地方标准。该标准规定了富锌土壤评价的术语、定义、评价原则和依据、评价目标和单元划分、评价分级标准、调查评价要求将富锌土壤划分了缺锌、低锌、锌适量、足锌、富锌、过锌 6 个等级。

中国地质调查局天津地质调查中心、华北地质科技创新中心于 2019 年在河北省饶阳县对富锌、硒特色土地及其生态效应进行了评价（王昌宇、张素荣、刘继红等，地质调查与研究，第 42 卷第 1 期），该研究成果以河北省饶阳县表层土壤和大众农作物小麦、玉米、葡萄、茄子及协同调查的根系土为研究对象，在对锌、

硒、有机碳、pH 等指标测试分析的基础上，开展了 研究区以锌、硒为特色的土地资源及生态效应评价。研究表明，不同农作物对锌元素吸收能力大小顺序为小麦>玉米>茄子>葡萄，且农作物对锌的吸收能力与土壤中的有机碳呈负相关，与 pH 值呈正相关。

国家地质实验测试中心、自然资源部生态地球化学重点实验室等于 2021 年对江西省赣州市石城县的天然富锌土地资源特征与开发利用进行了研究（刘久臣、魏吉鑫、张明等，地质通报，第 40 卷第 2~3 期），该研究成果以 1:5 万土地质量地球化学调查为基础，对石城县土壤中锌含量及空间分布特征、土壤环境质量与肥力状况进行了系统研究，结合调查区成土母质空间分布及锌含量特征，对土壤中锌的成因来源进行了初探，结果表明当地土壤锌含量主要受控于成土母质的锌含量。

安徽省勘查技术院、合肥工业大学于 2023 年对安徽省潜山市的富锌土壤资源分布特征及成因分析进行了研究（齐尚星、安邦、张军等，矿产勘查，第 14 卷第 3 期），该研究成果主要利用安徽省潜山市土地质量地球化学调查评价数据资料，对潜山市富锌土壤资源的分布特征及成因进行了分析研究。研究表明，土壤锌含量受土壤类型、土地利用方式的影响，与土壤有机质呈弱正相关关系；研究区土壤 pH 值整体呈酸性，土壤 pH 值对土壤锌含量影响不显著。

包括主要条款的说明，主要试验（验证）的分析、综述报告，

技术经济论证，预期的经济效益。修订标准，还应列出和原标准主要差异情况。

本次标准研究与制订还参考了以下关于土壤与农作物的锌含量及影响因素的研究文献。

[1]刘铮.我国土壤中锌含量的分布规律[J].中国农业科学,1994,27(1):30-37.

[2]杨忠芳,余涛,李敏,等.土地质量地球化学评价规范[M].北京:地质出版社,2016.

[3]高艳芳,柳青青,王玮,等.正态分布和对数变换在化探数据处理中存在问题的讨论[J].物探化探计算技术,2017,39(3):404-410.

[4]解庆锋,丁汉铎,焦静华,等.基于 C#编程统计地球化学异常特征参数及综合异常评序的方法 [J]. 物探化探计算技术,2012,34(4):497-502+370.

[5]宁运旺,张永春,汪吉东,等.土壤-植物-人类系统中锌与富锌农产品的开发[J],江苏农业科学, 2009,37(3):1-4.

[6]解庆锋,周小果,马振波,等.南阳盆地农耕区表层土壤酸碱度现状研究[J].安徽农业科学,2021,49(5):69-71+75.

[7]孙洪仁,曹影,刘琳.土壤中锌的迁移转化与蔬菜富锌特性研究[D].泰安:山东农业大学,2007.

[8]任彧,陈杰,韩杏杏,等.不同母质类型下耕地土壤速效锌与速效钼的空间变异及其影响因素 [J]. 安徽农业科

学,2018,46(23):93-97.

[9]刘超,侯克斌,黄俊,等.安徽桐城大沙河流域富锌土壤资源分布特征及成因分析[J].安徽地质,2022,32(3):217-219.

[10]陈文强.微量元素锌与人体健康[J].微量元素与健康研究,2006,23(4):62-65.

[11]陈文成,郑志强.从茶叶中微量元素含量特征试论福建“天然富锌茶”的开发[J].福建地质,1997(2):85-97.

[12]汤明,董旭,姜明亮.石台县富锌土壤分布特征及成因分析[J].安徽农学通报,2020,26(23):97-99,117.

[13]齐尚星,安邦,张军,等.安徽省潜山市富锌土壤资源分布特征及成因分析[J].矿产勘查,2023,14(3):502-509.

[14]周刊,周建川,王喜宽,等.河南洛阳农田土壤中硒锌的有效态与形态关系及影响因素[J].岩矿测试,2024,43(02):315-329.DOI:10.15898/j.ykcs.202308210139.

[15]]Saqib R ,Muhammad Z ,A. S A , et al.Effects of zinc-enriched amino acids on rice plants (*Oryza sativa* L.) for adaptation in saline-sodic soil conditions: Growth, nutrient uptake and biofortification of zinc[J].South African Journal of Botany,2023,162370-380.

[16] Reza H B ,G. A H ,Mahdi G N , et al.Comparative Study of Individual and Combined Application of Humic Acid, Wood Vinegar, and Biochar on Soil Zn Chemical Fractions and Its Uptake by Sour

Orange (;*Citrus aurantium*;L.) Seedlings[J].Communications in Soil Science and Plant Analysis,2024,55(1):79-89.

[17] Ortiz R ,Gascó G ,Méndez A , et al.Comparative Study of Traditional and Environmentally Friendly Zinc Sources Applied in Alkaline Fluvisol Soil: Lettuce Biofortification and Soil Zinc Status[J].Agronomy,2023,13(12).

[18]Zhaojun N ,Linglu W ,Peng Z , et al.Metabolomics reveals the impact of nitrogen combined with the zinc supply on zinc availability in calcareous soil via root exudates of winter wheat (*Triticum aestivum*).[J].Plant physiology and biochemistry : PPB,2023,204108069-108069.

[19]赵君,饶竹,王鹏,等. 黑龙江讷河市富锗土壤地球化学特征及影响因素浅析[J]. 岩矿测试,2022,41(4):642-651.

[20]李朋飞,吴衡,管后春,等.淮北平原农用地土壤钼测定与分布特征及影响因素[J].岩矿测试,2023,42(02):361-370.

[21]刘久臣,魏吉鑫,张明,等.江西赣州市石城县天然富锌土地资源特征与开发利用[J]. 地质通报,2021,40(S1):442-450.

[22]刘志坚,张琇,董元华,等.宁夏卫宁平原土壤锌地球化学特征与富锌小麦种植区预测[J/OL].中国地质:1-16.

[23]河南省土壤普查办公室.河南土壤[M],北京:中国农业出版社,2004 年.

[24] 魏克循.河南土壤地理[M],郑州:河南科学技术出版社,

1995 年.

[25]藏金生,李诗言,蔡新明.化探中五个常用参数的应用[J].科技视界,2013(28):8-10+31.

[26]迟清华,鄢明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M],北京:地质出版社,2007 年.

[27]Yi-chang WEI, You-lu BAI, Ji-yun JIN, Li-ping YANG, Zheng YAO, Si-xin XU, Guo-an LUO, Wei SONG, Chun-mei ZHU.Sufficiency and deficiency indices of soil available zinc for rice in the alluvial soil of the coastal yellow sea.Rice Science,2007(14)3:223-228.

[28]David Fernández-Calviño, Mirian Pateiro-Moure, Juan Carlos Nóvoa-Muñoz, Beatriz Garrido-Rodríguez, Manuel Arias-Estévez Zinc distribution and acid–base mobilization in vineyard soils and sediments. Science of the Total Environment, 2012 (414) 470–479.

[29]Yating Shen ;Elizabeth Wiita;Athena A. Nghiem ;Jingyu Liu ;Ezazul Haque ;Rachel N. Austin;Chheng Y. Seng;Kongkea Phan ;Yan Zheng & ...Benjamin C. Bostick .Zinc localization and speciation in rice grain under variable soil zinc deficiency[J].Plant and Soil,2023,Vol.491(1): 1-22.

[30]Steffen A. Schweizer;Benjamin Seitz;Marcel G.A. van der Heijden;Rainer Schulin;Susan Tandy.Impact of organic and conventional farming systems on wheat grain uptake and soil

bioavailability of zinc and cadmium.[J].Science of the Total Environment,2018,Vol.639(1): 608-616

[31]Zhongren Nan, Jijun Li.Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions[J].Science of the Total Environment,2002,Vol.285(43468): 187-195.

[32]Yang, YM (Yang, Yiming); Nan, ZR (Nan, Zhongren); Zhao, ZJ (Zhao, Zhuanjun); Wang, SL (Wang, Shengli); Wang, ZW (Wang, Zhaowei); Wang, X (Wang, Xia).Chemical fractionations and bioavailability of cadmium and zinc to cole (Brassica campestris L.) grown in the multi-metals contaminated oasis soil, northwest of China[J].Journal of Environmental Sciences,2011,Vol.23(2): 275-281.

[33]Nikolic, Miroslav;Nikolic, Nina;Kostic, Ljiljana;Pavlovic, Jelena;Bosnic, Predrag;Stevic, Nenad;Savic, Jasna;Hristov, Nikola.The assessment of soil availability and wheat grain status of zinc and iron in Serbia: Implications for human nutrition.[J].Science of the Total Environment,2016,Vol.553: 141-148.

[34]Kankunlanach Khampuang , Nanthana Chaiwong , Atilla Yazici , Baris Demirer , Ismail Cakmak , Chanakan Prom-U-Thai.Effect of sulfur fertilization on productivity and grain zinc yield of rice grown under low and adequate soil zinc applications[j].rice science,2023,30(6): 632-640.

[35]Huang Tingmiao;Huang Qiannan;She Xu;Ma Xiaolong ;Huang Ming;Cao Hanbing;He Gang;Liu Jinshan;Liang Dongli;Malhi Sukhdev S.;Wang Zhaohui.Grain zinc concentration and its relation to soil nutrient availability in different wheat cropping regions of China.[J].Soil & Tillage Research,2019,Vol.191: 57-65.

[36]Hanyi Liu, un Ling, a Liu,Ying Chen, hiqiang Wei.The determination of regulating thresholds of soil pH under different cadmium stresses using a predictive model for rice safe production[J].Environmental science and pollution research international,2022,Vol.29(58): 88008-88017

[37]Zhiliang Wu,Qingye Hou,Zhongfang Yang,Tao Yu,Dapeng Li,Kun Lin,Xuezhen Li,Bo Li,Changchen Huang,Jiaxin Wang.Driving factors of molybdenum (Mo) bioconcentration in maize in the Longitudinal Range-Gorge Region of Southwestern China[J].Environmental geochemistry and health,2024,Vol.46(12): 499.

[38]Rosalind S Gibson;Sonja Y Hess;Christine Hotz;Kenneth H Brown.Indicators of zinc status at the population level: a review of the evidence[J].The British journal of nutrition,2008,(99): 14-23

[39]B.J Alloway.Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans.[J] .Environmental Geochemistry & Health,2009,(31)5:537-548

[40]Cakmak,I;Kutman,U.B.Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review.[J].European Journal of Soil

Science,2018,69(1): 172-180;

[41]Y.A.Nanja Reddy, A. B. Narayana Reddy, A.Nirmalakumari,T.S.S.K.Patro, M.Subba Rao, Prabhakar,M.V.C.Gowda. Foliar application of zinc enhances the grain zinc concentration,whereas the soil application improves the grain yield of finger millet. Plant Physiology Reports, 2023(28):513–520

[42]鲁春霞, 刘爱民,肖玉,刘晓洁,谢高地,成升魁. 中国粮食生产格局演变及城镇化与膳食结构变化的影响[J].资源与生态学报, 2020, 11(4): 358-365.

(二) 土壤锌元素地球化学分布特征

以不同地貌单元、土壤类型、土壤酸碱度作为统计单元,分别与河南省锌元素背景值和中国土壤锌元素含量相比,得到浓集比率 K 和浓集克拉克 KK ,其中河南省背景值为河南省农用地表层土壤锌元素含量经逐步剔除离群值(平均值 ± 3 倍标准离差)后得到算术平均值(63.0mg/kg),中国土壤锌元素含量为《应用地球化学元素丰度数据手册》“表 4.1 中国土壤化学元素含量”中的“中国土壤”锌元素含量(68.0mg/kg)。整体上浓集比率 $K1$ 和浓集克拉克 KK 特征基本相似,多在 0.9~1.2 之间,差异相对较小。

地貌类型中,太行山山地丘陵盆地、三门峡-洛阳黄土丘陵山地、崤山-熊耳山-伏牛山山地、黄河冲积平原、桐柏-大别山地丘

陵中，K 值 > 1.0，其他 K 值 < 1.0，说明丘陵山地和黄河冲积平原分布区表层土壤锌元素相对较富集（图 4-1）。

成土母质中，残积和坡积物、河流冲积物、河湖相沉积物中，K 值 > 1.0，其他 K 值 < 1.0，说明锌元素富集与残积和坡积物及河流冲积沉积关系较密切（图 4-2）。

土壤类型中，除黄褐土、水稻土 K 值 < 1.0 外，其他 K 值 > 1.0，说明土壤类型对锌元素富集存在一定的影响（图 4-3）。

土壤酸碱度中，中性、碱性 K 值 > 1.0，其他 K 值 < 1.0，说明锌元素与土壤呈中性或碱性，锌元素更易富集（图 4-4）。

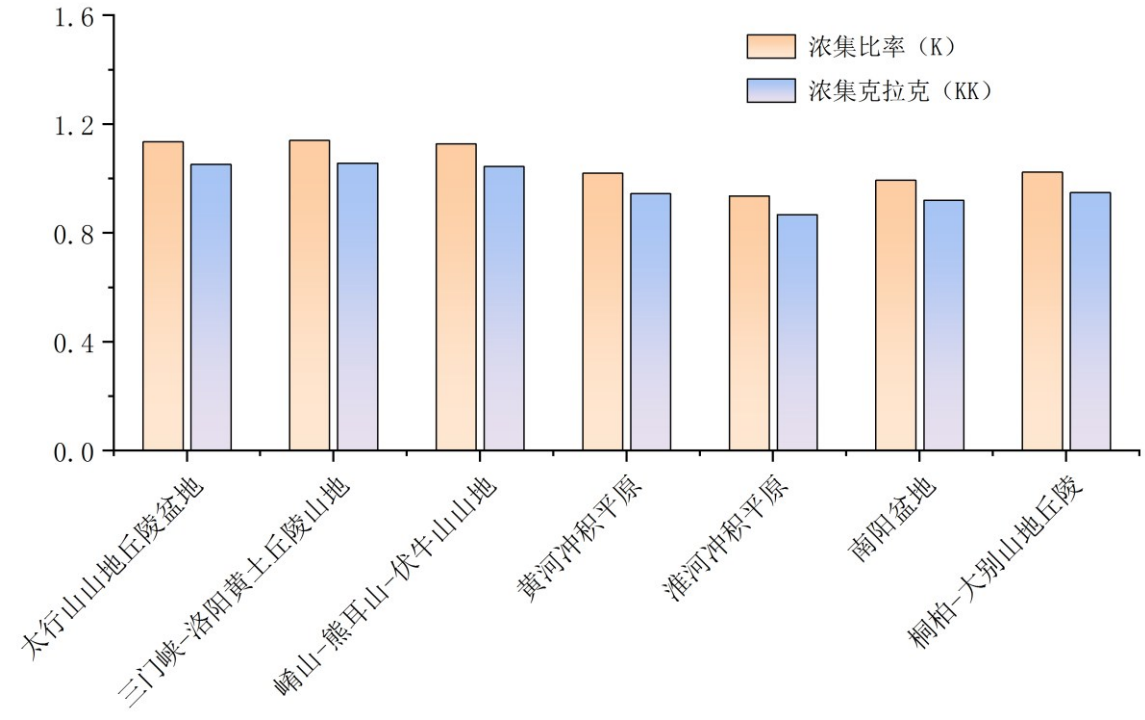


图 4-1 不同地貌单元地球化学富集特征柱状图

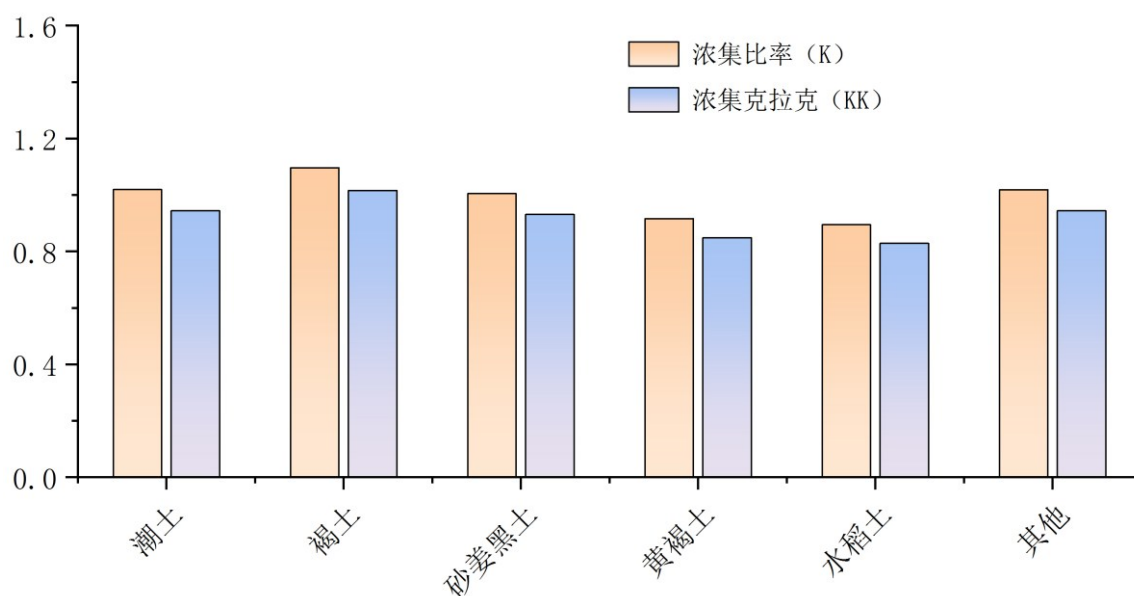
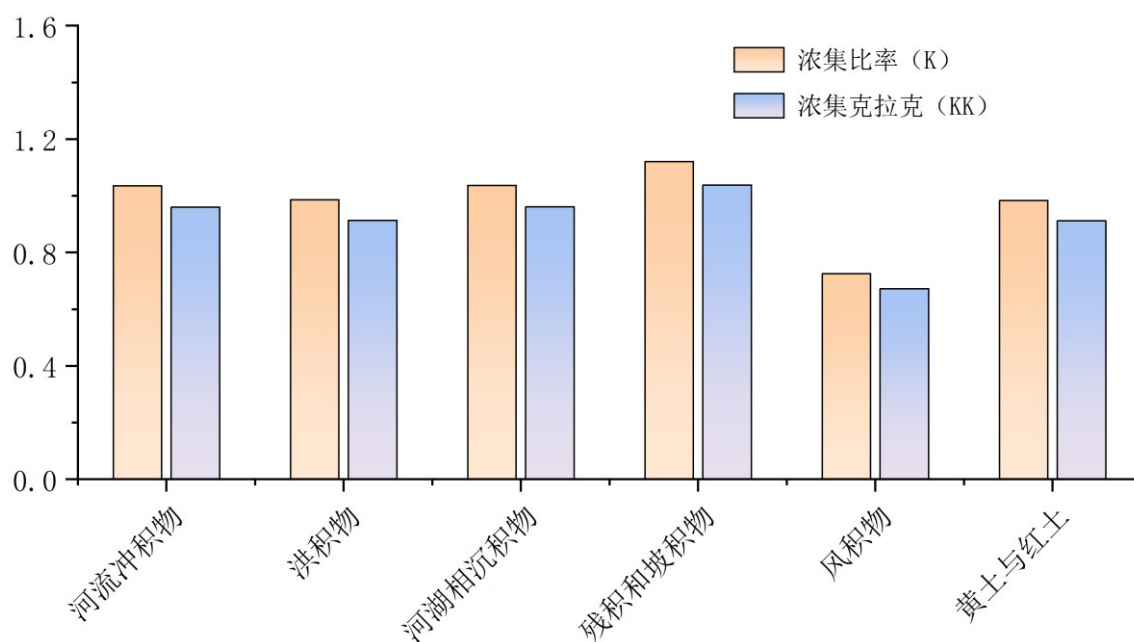


图 4-2 不同成土母质地球化学富集特征柱状图

图 4-3 不同土壤类型地球化学富集特征柱状图

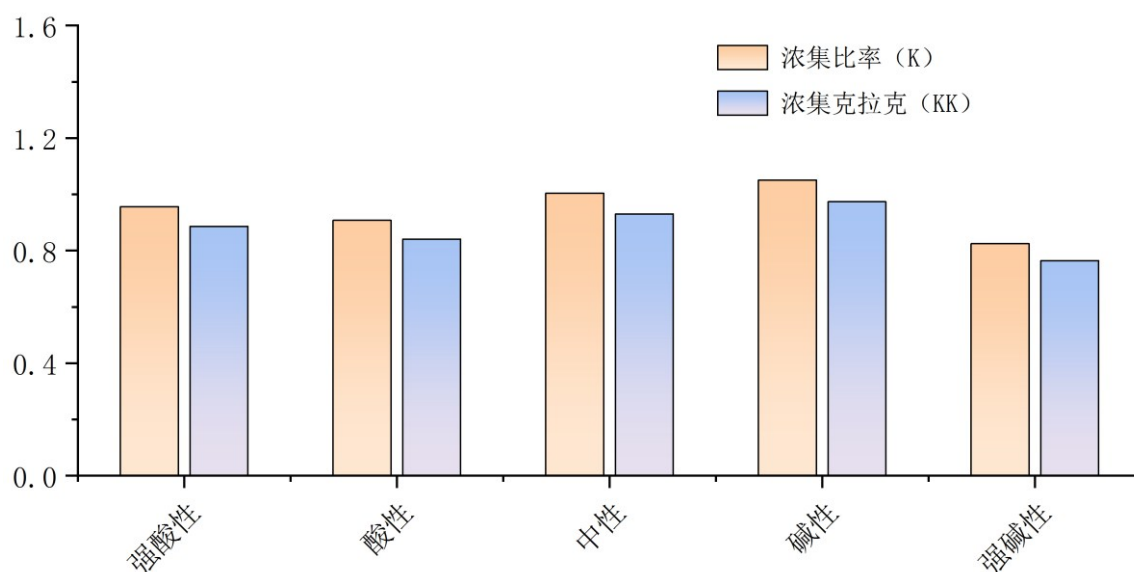


图 4-4 不同酸碱度地球化学富集特征柱状图

(三) 土壤锌元素迁移转换规律分析

土壤 pH 值是影响土壤中金属元素活性的一个重要环境指标 (David Fernández-Calviño, 2012; Hanyi Liu, 2022), “富锌土壤锌含量要求研究”项目共取得根系土及小麦农作物协同数据 180 组, 统计分析表明, 小麦籽实锌含量与有效锌存在显著关系, 表 4-1、图 4-5 和图 4-6 进一步反应了小麦籽实锌含量与土壤有效锌在不同土壤 pH 值环境下之间关系, 总体上, 小麦籽实锌含量与土壤锌全量相关性较弱且不显著, 相关系数为 -0.06, p 值为 0.45, 但与有效锌存在正相关关系, 但不显著, 相关系数为 0.11, p 值为 0.15。在土壤 pH 值小于 5.0 强酸性土壤分布区, 小麦籽实锌含量与土壤锌全量存在线性正相关, 相关系数分别为 0.30, 但不显著, p 值为 0.34; 小麦籽实锌含量与有效锌负相关但不显著, 相关系数 -0.08, p 值 0.81。在 pH 值 5.0~6.5 之间酸性土壤分布区,

小麦籽实锌含量与土壤锌全量存在线性正相关但不显著，相关系数 0.21，p 值 0.09；小麦籽实锌含量与有效锌在负相关但不显著，相关系数为 0.21，p 值 0.09。在 pH 值大于 6.5 的中性、碱性、强碱性土壤中，小麦籽实锌含量与土壤锌全量均为线性负相关，相关系数分别为-0.48、-0.07、-0.61，在中性（pH 在 6.5~7.5 之间）和强碱性（pH 大于 8.5）土壤分布区中相关性显著，p 值为 0.04、0.05；小麦籽实锌含量与土壤有效锌在中性、强碱性土壤分布区中为线性负相关且不显著，相关系数分别为-0.02、-0.26，p 值分别为 0.93、0.44，在碱性土壤分布区中，呈线性正相关且相关性高度显著，相关系数 0.34，p 值 0.00。小麦籽实锌含量与有效锌含量散点关系图也反应出上述变化特征。

表 4-1 小麦籽实锌含量根系土壤全量锌相关系数统计

pH 分区	研究区	<5.0 强酸性	5.0~6.5 酸性	6.5~7.5 中性	7.5~8.5 碱性	>8.5 强碱性
样本数	180	12	67	18	72	11
与全量锌 相关系数	-0.06	0.30	0.21	-0.48	-0.07	-0.61
P 值	0.45	0.34	0.09	0.04	0.55	0.05
与有效锌 相关系数	0.11	-0.08	0.29	-0.02	0.34	-0.26
P 值	0.15	0.81	0.02	0.93	0.00	0.44
最小值	19.35	19.8	19.35	22.82	22.3	22.3
最大值	17.7	48.4	50.64	48.20	45.67	43.47
均值	50.64	32.71	31.69	30.82	30.62	32.38
标准差	6.20	7.44	6.76	6.04	5.58	5.86

注：0.05 置信水平下。

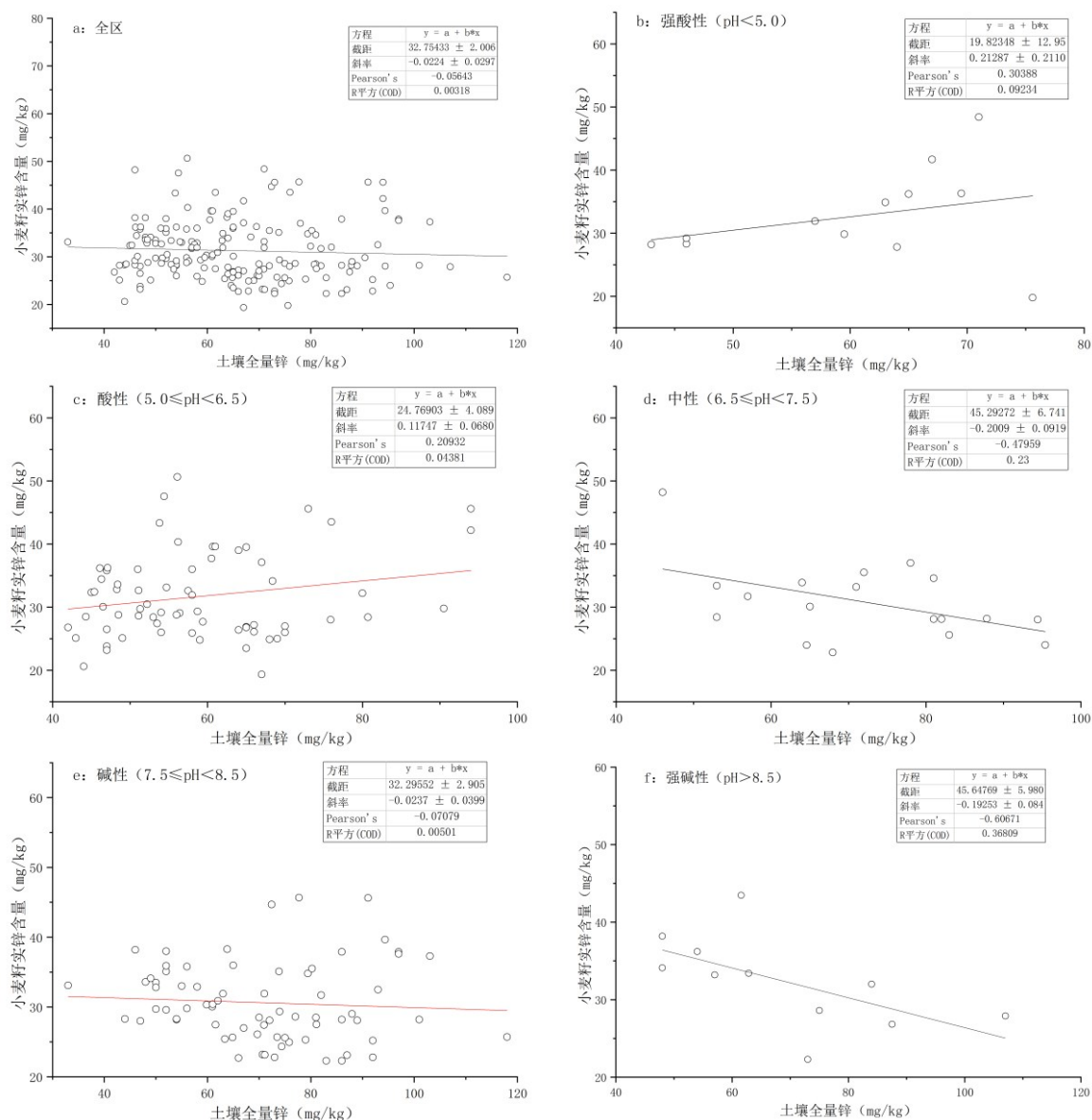
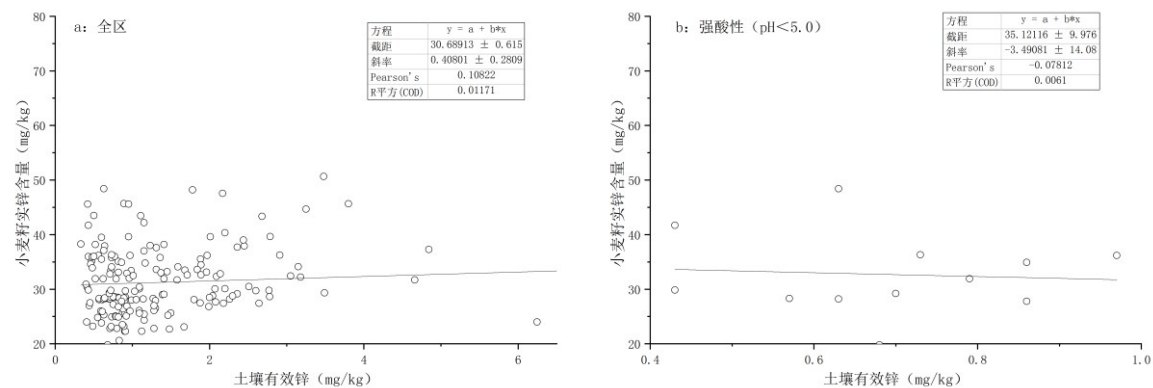


图 4-5 小麦籽实锌含量与土壤锌全量变化关系



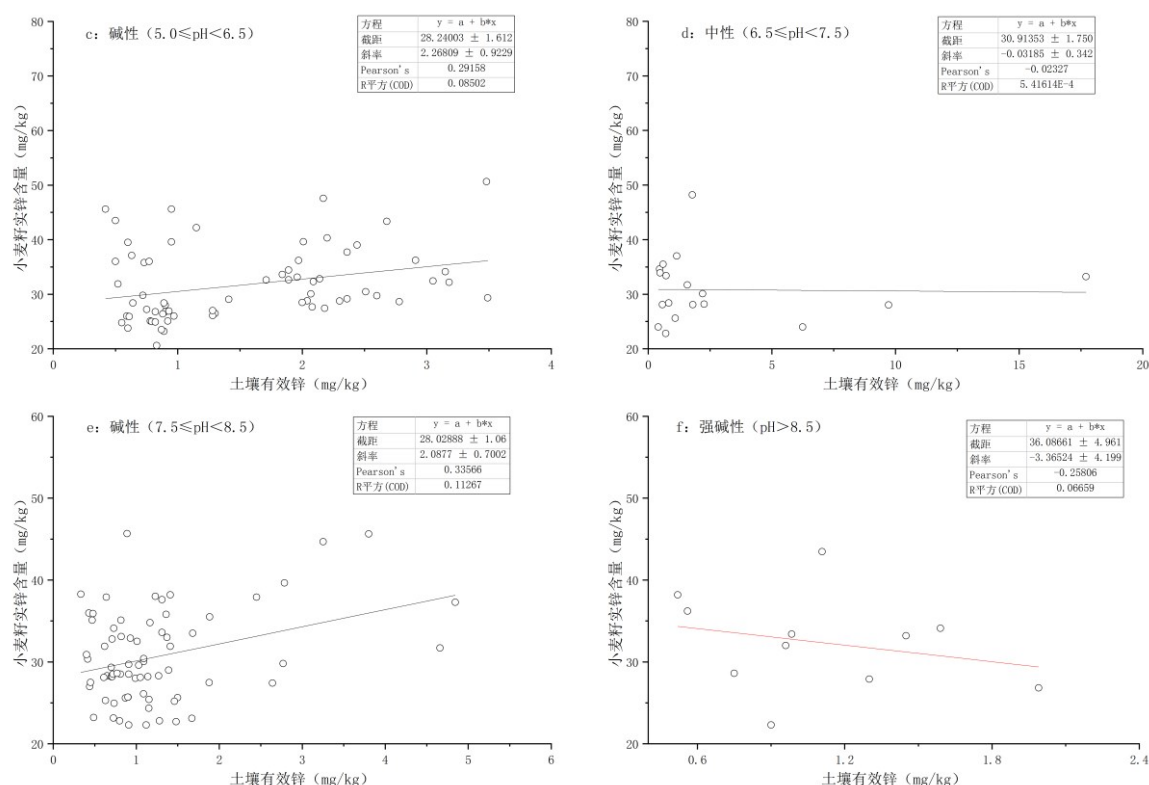


图 4-6 小麦籽实锌含量与土壤有效锌含量变化关系

(四) 富锌土壤锌含量的确定

农作物是否富锌是以作物籽实锌含量满足人体需求为主要参考依据，而作物籽实对土壤中锌元素的累积达到富锌作物的最低土壤锌元素含量是评价富锌土壤的主要依据之一。

从医学角度逐渐研究确定，基于年龄、性别、饮食类型和其他因素等给出了维持人体正常的每日锌摄入量。Alloway (2009) 推荐的每日摄入量在 3 到 16 毫克之间；Rosalind (2008) 通过试验及前期数据的收集和分析发现，当每天通过饮食锌摄入量低于 2~3mg 时，血清锌浓度急剧下降，但当大于 2~3mg 时，血清锌浓度略有但持续上升，当锌摄入量达到 25~30mg 时，血清浓度达到最佳状态，而当摄入量达到 20mg 时，也能保持血清锌正常

浓度；Cakmak（2018）通过长期研究，在考虑人体吸收影响，才能达到人体健康需求；Y.A.Nanja（2023）认为成年人的每日锌摄入量 15mg 可满足基本需求。

鲁春霞（2020）研究表明，随着城镇化推进，北方居民的膳食结构呈现多元化趋势，肉类、蔬菜和乳制品摄入增加，但小麦仍占能量来源的 40%~50%。根据每日锌摄入量 15mg 满足人体基本需求（Y.A.Nanja，2023），以每日小麦摄入量 40%为计算依据，小麦摄入锌元素 6mg，其余由其他膳食进行补充。如果按人均食用面粉 0.25kg 计算，小麦最低锌含量为 24mg/kg 即可满足人体对锌含量的需求，故将富锌小麦含量标准定为 25mg/kg。

研究区小麦样品 180 件中，由于本次样品采集在以往调查土壤锌富集区，多数样品在 20 ~ 40mg/kg 之间，占总样数的 91%，其中大于 25mg/kg 可作为富锌小麦的样品为 158 件，占总样数的 88%（图 4-7）。富锌小麦籽实的锌含量主要分布在 25~40mg/kg 之间，部分在 40~50mg/kg 之间，仅 1 件样品大于 50mg/kg。

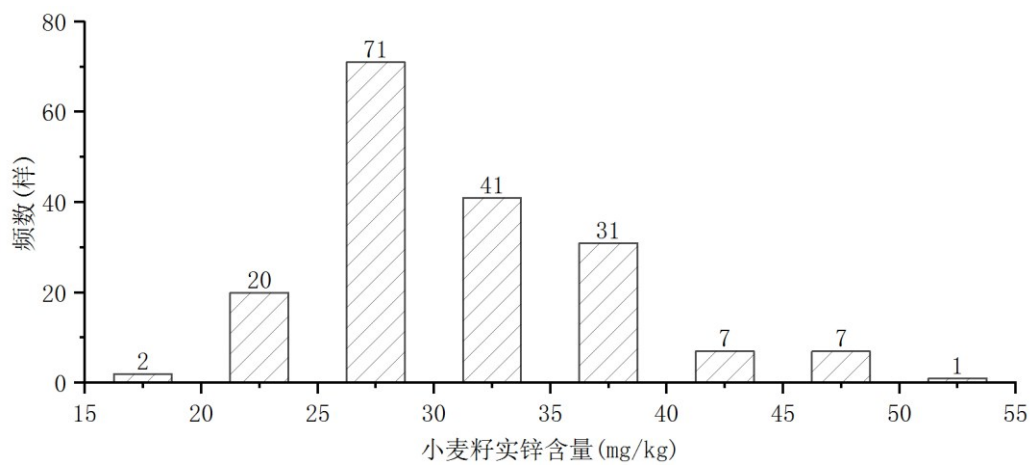


图 4-7 小麦籽实锌含量统计特征

在土壤呈中酸性（ $\text{pH} < 7.5$ ）环境下，富锌小麦籽实锌含量与土壤锌全量正相关，但不显著，相关系数为 0.136， p 值为 0.088；土壤呈碱性（ $\text{pH} \geq 7.5$ ）时，富锌小麦籽实锌含量与土壤锌全量负相关，但不显著，相关系数为 -0.075， p 值为 0.53（图 4-8）

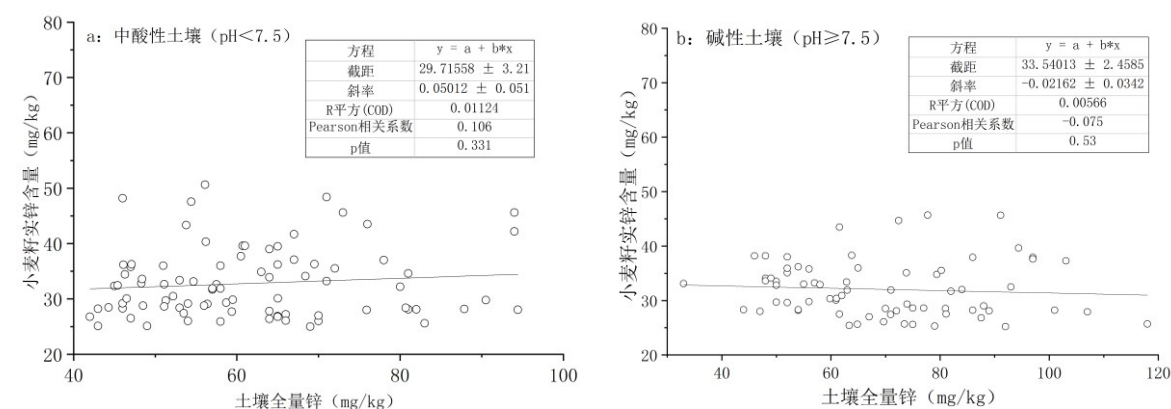


图 4-8 富锌小麦籽实锌含量与土壤锌全量关系

富锌小麦籽实与土壤全量锌分布关系中，当土壤呈中酸性时，土壤全量锌集中分布在 45 ~ 70mg/kg，当土壤全量锌达到 65mg/kg 时，累积频率为 60%以上，暂定土壤全量锌 65mg/kg 为富锌土壤的最低要求；当土壤呈碱性时，土壤全量锌集中分布在 50 ~ 75mg/kg，当土壤全量锌达到 75mg/kg 时，累积频率为 60%以上，暂定土壤全量锌 75mg/kg 为富锌土壤的最低要求（表 4-2，图 4-9、4-10），碱性土壤比酸性土壤的全量锌最低含量要求相对较高，说明在碱性土壤中，土壤全量锌与有效锌、小麦籽实锌含量呈负相关关系较密切。

表 4-2 土壤锌全量分布频数统计

土壤全量锌 含量区间	中酸性土壤（ $\text{pH} < 7.5$ ）			碱性土壤（ $\text{pH} \geq 7.5$ ）		
	样品计数	相对频率	累积频率	样品计数	相对频率	累积频率

(mg/kg)	(组)	(%)	(%)	(组)	(%)	(%)
<45	4	4.65	4.65	2	1.39	2.78
45 ~ 50	15	17.44	22.09	6	8.33	11.11
50 ~ 55	14	16.28	38.37	10	13.89	25.00
55 ~ 60	13	15.12	53.49	6	8.33	33.33
60 ~ 65	8	9.30	62.79	11	15.28	48.61
65 ~ 70	12	13.95	76.74	2	2.78	51.39
70 ~ 75	6	6.98	83.72	8	11.11	62.50
75 ~ 80	3	3.49	87.21	6	8.33	70.83
80 ~ 85	6	6.98	94.19	6	8.33	79.17
85 ~ 90	1	1.16	95.35	5	6.94	86.11
≥90	4	4.65	100.00	10	12.50	91.67

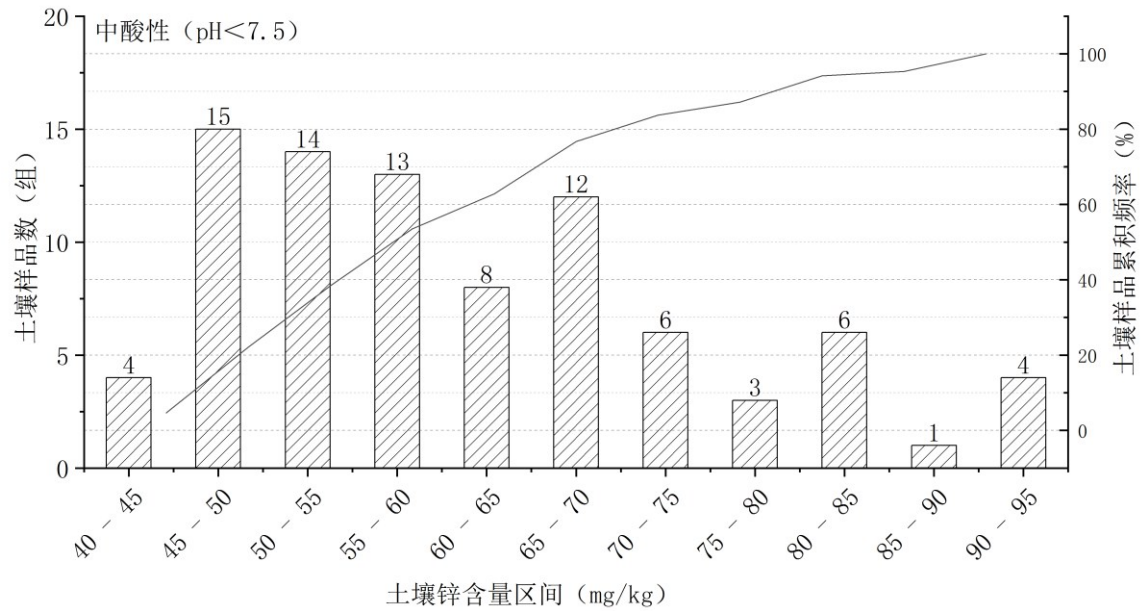


图 4-9 中酸性环境土壤锌全量分布频数统计

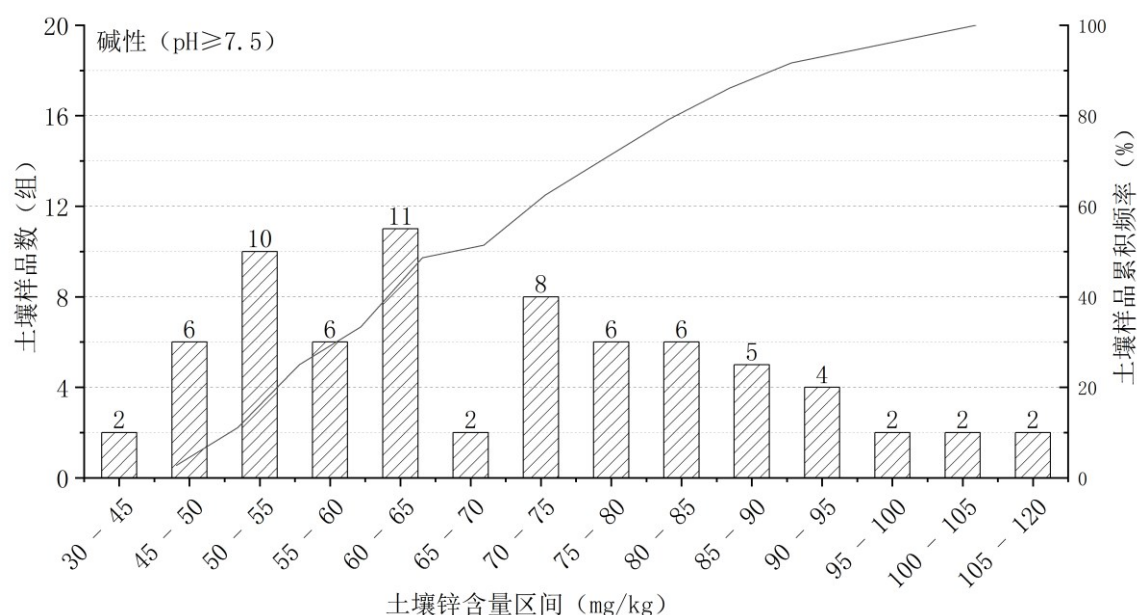


图 4-10 碱性环境土壤锌全量分布频数统计

在本次研究区采集的 180 组样本中，土壤呈中酸性达到富锌土壤要求（土壤全量锌 $\geq 65\text{mg/kg}$ ）的 38 组，富锌小麦（籽实锌含量 $\geq 25\text{mg/kg}$ ）32 件，占比 84.21%；土壤呈碱性达到富锌土壤要求的 32 组，富锌小麦（籽实锌含量 $\geq 25\text{mg/kg}$ ）27 件，占比 84.38%。说明本次对富锌土壤锌含量要求的确定是合理的，可以作为富锌土壤的锌含量值。

结合《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618-2018），基于上述分析研究，本次确定河南省富锌土壤锌含量要求为：当 $\text{pH} < 7.5$ 时， $65\text{mg/kg} \leq$ 富锌土壤锌含量 $< 65\text{mg/kg}$ ；当 $\text{pH} \geq 7.5$ 时， $75\text{mg/kg} \leq$ 富锌土壤锌含量 $< 300\text{mg/kg}$ 。

五、与国家法律法规和强制性标准的关系

本标准制定是依据《中华人民共和国标准化法》等国家现行法律、法规和强制性标准，结合地方实际情况制定的地方标准，

因此与我国现行的法规和相关标准并不冲突。

六、标准实施的建议

建议将《农用地土壤采样测试及富锌土壤划定》作为河南省团体推荐性标准发布。