

网络出版时间:2025-03-10

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20250307.1315.010

燕麦籽粒四种矿质元素含量与其在土壤中有效态含量的相关性分析

祝天天¹, 贺鹏², 李军辉¹, 安桦¹, 杨珍平¹

(1. 山西农业大学农学院, 山西晋中 030801; 2. 晋能控股煤业集团朔州煤电小峪煤业有限公司, 山西朔州 038300)

摘要:为探究 Zn(锌)、Fe(铁)、Ca(钙)、B(硼)4 种矿质元素在燕麦籽粒中的含量与其在土壤中的有效态含量的相关性,在山西省燕麦种植面积较大的 3 个区县(朔州市平鲁区、右玉县和大同市左云县),选取了 240 个村莊的 332 个点位,采集耕层土壤,并收集其上种植收获的燕麦籽粒样品,检测 4 种元素在土壤中的有效态含量和在燕麦籽粒中的含量,并分析二者的相关性。结果表明:(1)4 种元素在 3 个生产区土壤中的有效态含量表现为 $Ca > Fe > Zn > B$,且 Ca 含量属于高水平,Fe、Zn、B 含量属于中等或低水平;在同一区县不同采样点间,土壤有效 Zn 含量差异较大,有效 Ca 含量差异较小,另两种元素含量的差异性介于二者之间。(2)4 种元素在燕麦籽粒中的平均积累量为 $Ca > Fe > B > Zn$,与其他学者的研究结果相比,Fe 与 Zn 的平均含量相对较低,Ca 的平均含量相对较高;同一区县不同采样点间,燕麦籽粒中 B 积累量差异较大,Zn 积累量差异较小,Fe、Ca 积累量差异居中。(3)经相关分析,土壤中有有效态 Zn、Fe、B 含量间存在显著正相关关系($P < 0.05$),三种元素含量与 Ca 含量的相关程度存在地区差异;燕麦籽粒中 Zn、Fe、B 含量与 Ca 的积累量呈正相关;4 种元素在燕麦籽粒中的积累量与其在土壤中的有效态含量的相关性在三个区县表现不一,其中在土壤有效态含量尤其 Ca 含量相对较高的右玉县,燕麦籽粒 Zn 含量与土壤有效态 Zn、Ca、B 含量均呈显著正相关。综上,本试验所在燕麦生产区,土壤有效态 Fe、Zn、B 含量与燕麦籽粒中 Fe、Zn、B 含量均有提升空间;钙质土壤区适当降低土壤有效态 Ca 含量有助于促进燕麦籽粒 Ca 积累。

关键词: 燕麦;中微量元素;有效态含量;籽粒矿质元素;相关性分析

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)04-0502-08

Correlation Analysis between the Content of Four Trace Elements in Oat Grains and Their Available Contents in Soil

ZHU Tiantian¹, HE Peng², LI Junhui¹, AN Hua¹, YANG Zhenping¹

(1. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Jinzhong, Shanxi 030801, China;

2. Jinneng Holding Coal Group Shuozhou Coal Xiaoyu Coal Industry Co., Ltd., Shuozhou, Shanxi 038300, China)

Abstract: In order to explore the correlation between the available contents of Zn(zinc), Fe(iron), Ca (calcium) and B(boron) in oat grains and their available contents in soil, 332 sites of 240 villages were selected in three districts and counties with large oat planting area in Shanxi Province (Pinglu District and Youyu County of Shuozhou City, and Zuoyun County of Datong City). The topsoil was collected and the oat grain samples were harvested. The available contents of the four elements in the soil and their contents in oat grains were determined, and the correlation between the two was analyzed. The results showed that: the available contents of the four elements in the soil of the three production areas ranked as $Ca > Fe > Zn > B$, where the content of Ca was high, and the contents of Fe, Zn, and B were medium or low. Comparing the available contents of the four elements in the soil of different

收稿日期:2024-03-06 修回日期:2024-04-21

基金项目:山西农谷建设科研专项(SXNGJSKYZX201701);山西省回国留学人员科研资助项目(2023-093);黄土高原特色作物优质高效生产省部共建协同创新中心课题(SBGJXTZX-21)

第一作者 E-mail:1399391815@qq.com(祝天天)

通讯作者 E-mail:yangzp.2@163.com(杨珍平)

sampling points under the same district and county, the variation of available Zn content was large, the variation of available Ca content was small, and the differences of the available Fe or B contents fell into the middle. The average accumulation of the four elements in oat grain ranked as $Ca > Fe > B > Zn$. Compared with the results of other studies, the average content of Fe and Zn was relatively low, while the average contents of Ca was relatively high. Compared the accumulation of the four elements in oat grains in the different sampling sites under the same district and county, the variation of B accumulation was large, the variation of Zn accumulation was small, and the variations of Ca or Fe accumulation were in the middle. Correlation analysis showed that there was significantly positive correlation between the contents of available Zn, Fe and B in soil, and there were regional differences in the correlation between the contents of these three elements and Ca content. The contents of Zn, Fe and B in oat grains were positively correlated with the accumulation of Ca. The correlation between the original accumulation of the four elements in oat grains and their available contents in soil was different in the three counties. Among them, in Youyu County, where the available content of soil, especially Ca content, was relatively high, there was significantly positive correlation between grain Zn and soil available Zn, Ca and B. The correlation between grain Zn and soil available Zn, Ca and B was significantly positive. In summary, the contents of available Fe, Zn and B in soil and the content of Fe, Zn and B in oat grains in the oat production area of this experiment could be improved. Appropriate reduction of soil available Ca content in calcareous soil area is helpful to promote Ca accumulation in oat grains.

Keywords: Oats; Medium trace elements; Available state content; Mineral elements in grains; Correlation analysis

在世界范围内种植的禾谷类作物中,燕麦(*Avena sativa* L.)的种植面积排在第六位,其籽粒富含多种矿质元素,被推崇为“全价营养食品”^[1-2]。锌(Zn)、铁(Fe)、钙(Ca)、硼(B)等矿质元素是植物必需的中微量元素,也是人体健康所必需的营养元素^[3-4]。有资料表明,当前中国有近3亿居民处于中微量营养元素摄入不足状态,其主要原因之一是粮食中矿质元素含量下降,日常膳食摄入不足^[5]。作物积累矿质元素的途径主要是通过根系从土壤中吸收并经茎叶运输,提高土壤中矿质元素有效态含量是提高其在粮食中积累量的有效方法。科学施肥既能满足粮食作物正常生长与矿质元素积累,也能避免矿质元素过剩对环境带来负面效应^[6]。研究燕麦籽粒矿质元素积累量及其与土壤中矿质元素含量的相关性,对于提高籽粒营养品质具有一定的指导意义。

有关燕麦籽粒中矿质元素含量之间相关性的研究已有较多。如苗玉红等^[7]发现,燕麦籽粒中Zn与Fe含量呈显著正相关;齐冰洁等^[8]研究表明,燕麦籽粒中Ca与Fe含量呈极显著负相关。有关其他植物收获器官中矿质元素积累量与其在土壤中含量间关系的研究也较多,如马前涛等^[9]

通过研究滇西地区土壤矿质元素全量与红袍刺藤果实矿质元素含量之间的相关性,发现土壤总Ca含量与果实Ca含量呈显著正相关,而土壤总Zn含量与果实Zn含量呈极显著负相关;杨树明等^[10]研究发现,云南水稻田有效态Zn、Fe含量与精米和糙米中Zn、Fe含量呈显著正相关。有关燕麦籽粒中矿质元素积累量与其在土壤中有效态含量之间的相关研究尚未见报道。本研究在山西省三大燕麦主产区(朔州市平鲁区、右玉县和大同市左云县),以4种对作物生长有益的中微量元素(Ca、Fe、Zn、B)为研究对象,采集3个区县共计332个采样点的耕层土壤与燕麦籽粒,分析Zn、Fe、Ca和B元素在土壤中的有效态含量与其在燕麦籽粒中的积累量之间的相关性,为优化燕麦栽培技术、提高燕麦籽粒营养品质提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采样点设在山西省3个燕麦生产区,分别为朔州市平鲁区、右玉县和大同市左云县。根据每个县(区)的燕麦种植面积和实际分布情况,在平鲁区设置112个采样点(分布在62个村),右玉县

设置 118 个采样点(分布在 79 个村),左云县设置 102 个采样点(分布在 99 个村),总计 332 个采样点。3 个区县的采样点分布如图 1 所示。

在燕麦收获后至播种前的休闲期,采集耕层(0~20 cm)土壤。土壤采集时间:平鲁区和右玉县均为 2020 年 10 月上旬,左云县为 2021 年 5 月上旬。土壤采样方法:根据采样地块大小、形状等特征,采用“S”形法或五点法用土钻采集耕层土壤,混合样品并记录取样地点的经纬度。样品

通过四分法处理,留取 1 kg 带回实验室进行矿质元素有效态含量测定。

于 2021 年 8 月下旬—10 月初燕麦收获期,收集采样点田地收获的燕麦籽粒样品,同时调查采样点的农户在燕麦种植中的施肥情况。将燕麦籽粒样品后带回实验室,洗净后烘干,去杂和挑去不完整籽粒,研磨过 0.15 mm 筛,装入自封袋贴签、标号并保存,用于测定燕麦籽粒矿质元素 Zn、Fe、Ca 和 B 的含量。

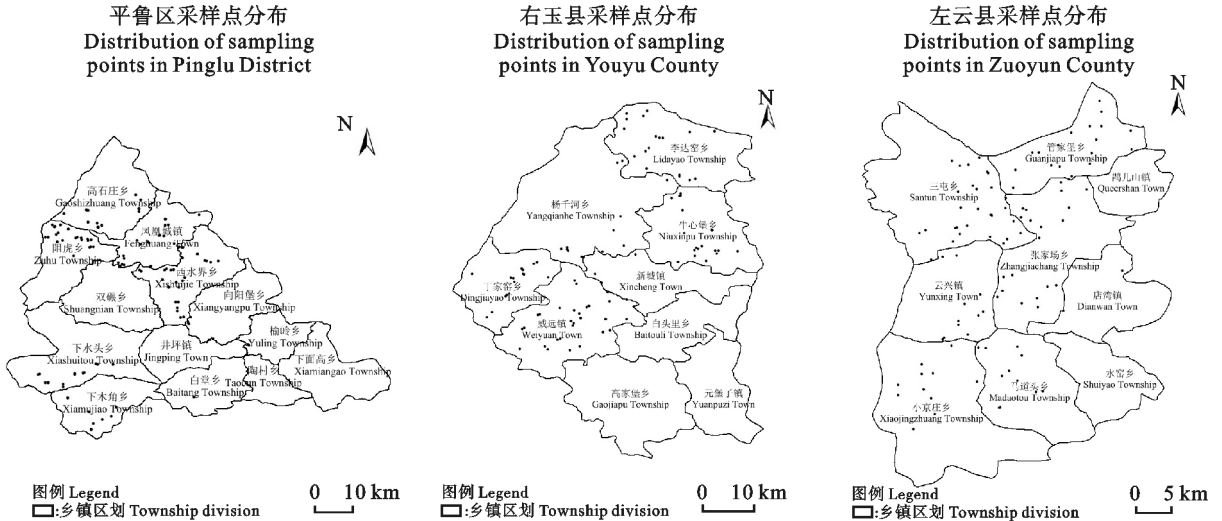


图 1 燕麦生产区采样点分布图

Fig. 1 Sampling point distribution map of oat production area

调查结果表明,当地农户使用的肥料基本上都是氮、磷、钾等大量元素肥料,仅有极个别农户施用了含 Ca 的过磷酸钙或有机肥,没有额外施用 Ca、Fe、Zn、B 中微量元素肥的习惯。因此,农户的施肥习惯对本次研究中 4 种矿质元素的整体影响较小,忽略不计。

1.2 测定指标及方法

(1)土壤有效态 Zn、Fe 含量:采用 DTPA 浸提,用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES, Thermo, USA)测定^[11]。

(2)土壤有效态 Ca 含量:采用水溶提取与乙酸铵提取,用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES, Thermo, USA)测定^[12]。

(3)土壤有效态 B 含量:采用沸水浴提取,用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES, Thermo, USA)测定^[13]。

(4)燕麦籽粒矿质元素 Zn、Fe、Ca 和 B 含量:采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS iCAP Q, Thermo, USA)测定^[14]。

1.3 数据处理与分析

利用 ArcGIS 制作采样点分布图,利用 SPSS 对数据进行相关性分析,利用 Origin 制作箱形图与相关性热图。

2 结果与分析

2.1 土壤中 4 种元素的有效态含量

从图 2 可以看出,3 个区县土壤中,4 种被测元素有效态含量由高到低依次为 Ca、Fe、Zn、B,右玉县的 4 种元素有效含量相对较高,平均值依次为 1 405.7、4.679、0.679 和 0.164 mg · kg⁻¹;其次为平鲁区,依次为 1 232.6、4.561、0.646 和 0.159 mg · kg⁻¹;左云县的 4 种元素有效含量显著低于前两个区县(P<0.05),依次为 744.6、2.647、0.385 和 0.122 mg · kg⁻¹;右玉县与平鲁区间除有效 Ca 含量差异显著外,其余 3 种元素的有效含量差异均不显著。

就同一区县而言,土壤有效 Zn 含量的变异系数较大,3 个区县均达到 72%以上;右玉县的土壤

有效态 Zn 含量为 0.150~1.526 mg · kg⁻¹,平鲁区为 0.125~1.176 mg · kg⁻¹,左云县为 0.069~0.811 mg · kg⁻¹。与其他 3 种元素相比,土壤有效 Ca 含量的变异系数相对较小,平鲁区与右玉县的变异系数分别为 32.9%和 23.7%,而左云县仅

为 10.2%;土壤有效 Ca 含量分布范围集中在 601.9~953.6 mg · kg⁻¹ 之间。土壤有效 Fe 和 B 含量的变异系数居中。这说明同一区县不同采样点土壤有效 Zn 含量分布不均,差异较大,而土壤有效 Ca 含量分布较为均匀,差异较小。

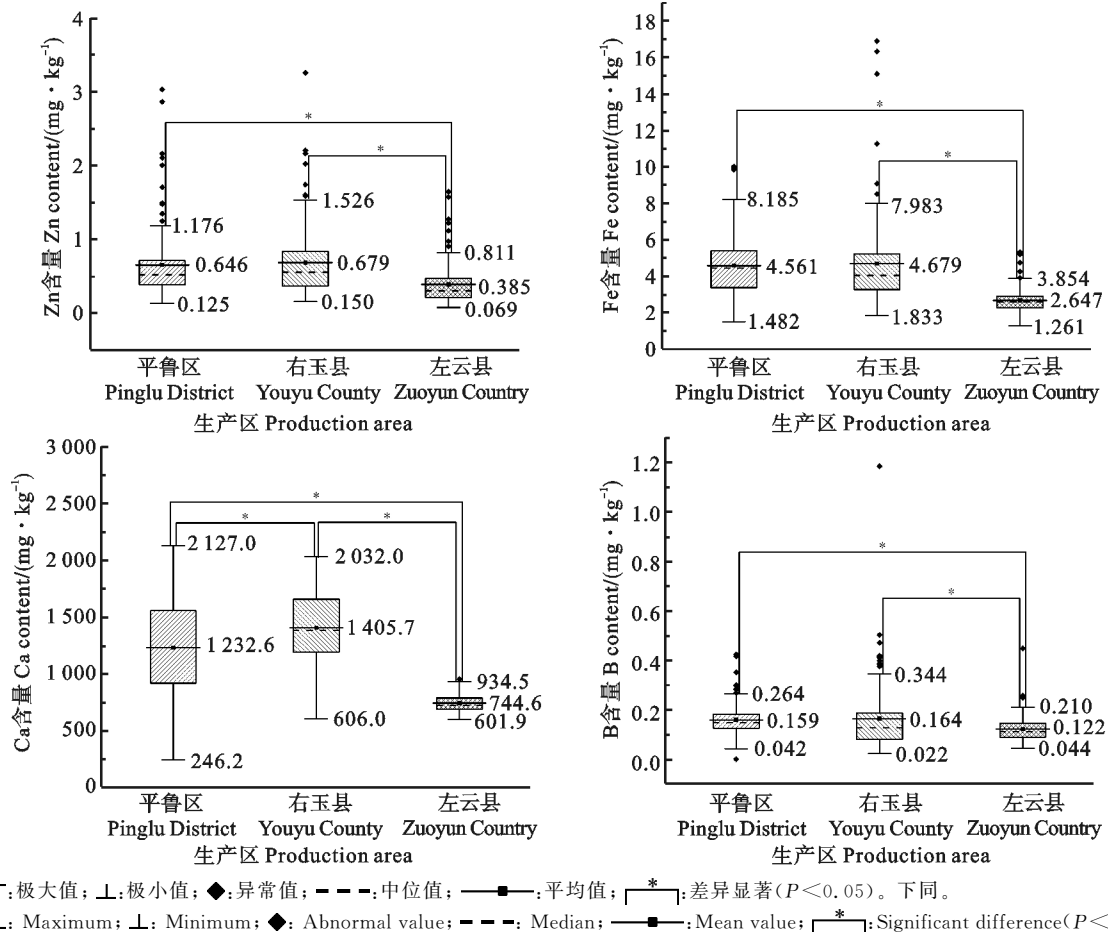


图 2 三个燕麦生产区土壤中 4 种元素的有效态含量
 Fig. 2 Available content of four elements in the soil of three oat production areas

2.2 燕麦籽粒中 4 种元素的含量

3 个区县收获的燕麦籽粒中,4 种元素的平均含量由高到低依次为 Ca、Fe、B、Zn(图 3)。其中,左云县燕麦籽粒 Ca 平均含量最高,为 1 818.1 mg · kg⁻¹,且显著高于平鲁区的 1 667.9 mg · kg⁻¹和右玉县的 1 638.0 mg · kg⁻¹(P < 0.05),后两者间差异不显著。平鲁区和左云县的燕麦籽粒 Zn 平均含量相对较高,分别为 17.42 和 17.40 mg · kg⁻¹,二者间差异不显著,但显著高于右玉县的 15.64 mg · kg⁻¹。3 个区县间燕麦籽粒 B 含量平均值差异较大,均达显著水平,其中右玉县最高,为 29.10 mg · kg⁻¹,其次为左云县的 24.40 mg · kg⁻¹,平鲁区的最低,为 22.42 mg · kg⁻¹。3 个区县的燕麦籽粒 Fe 平均含量差异较小,为

30.65~31.63 mg · kg⁻¹,差异均不显著。

3 个区县的燕麦籽粒中,B 含量极差较大,变异系数分别达到 28.8%、20.4%和 27.4%,其中平鲁区的极大值为 40.75 mg · kg⁻¹,是极小值 14.93 mg · kg⁻¹ 的 2.7 倍;右玉县的极大值为 41.3 mg · kg⁻¹,是极小值 19.1 mg · kg⁻¹ 的 2.2 倍;左云县的极大值为 40.16 mg · kg⁻¹,是极小值 14.05 mg · kg⁻¹ 的近 3 倍。与其他 3 个元素相比,燕麦籽粒 Zn 含量的变异系数相对较小,平鲁区与左云县的变异系数分别为 11.1%和 16.2%,而右玉县的仅为 10.9%,被测燕麦籽粒 Zn 含量分布范围集中在 12.63~20.19 mg · kg⁻¹ 之间。燕麦籽粒 Fe 和 Ca 含量的变异系数居中。

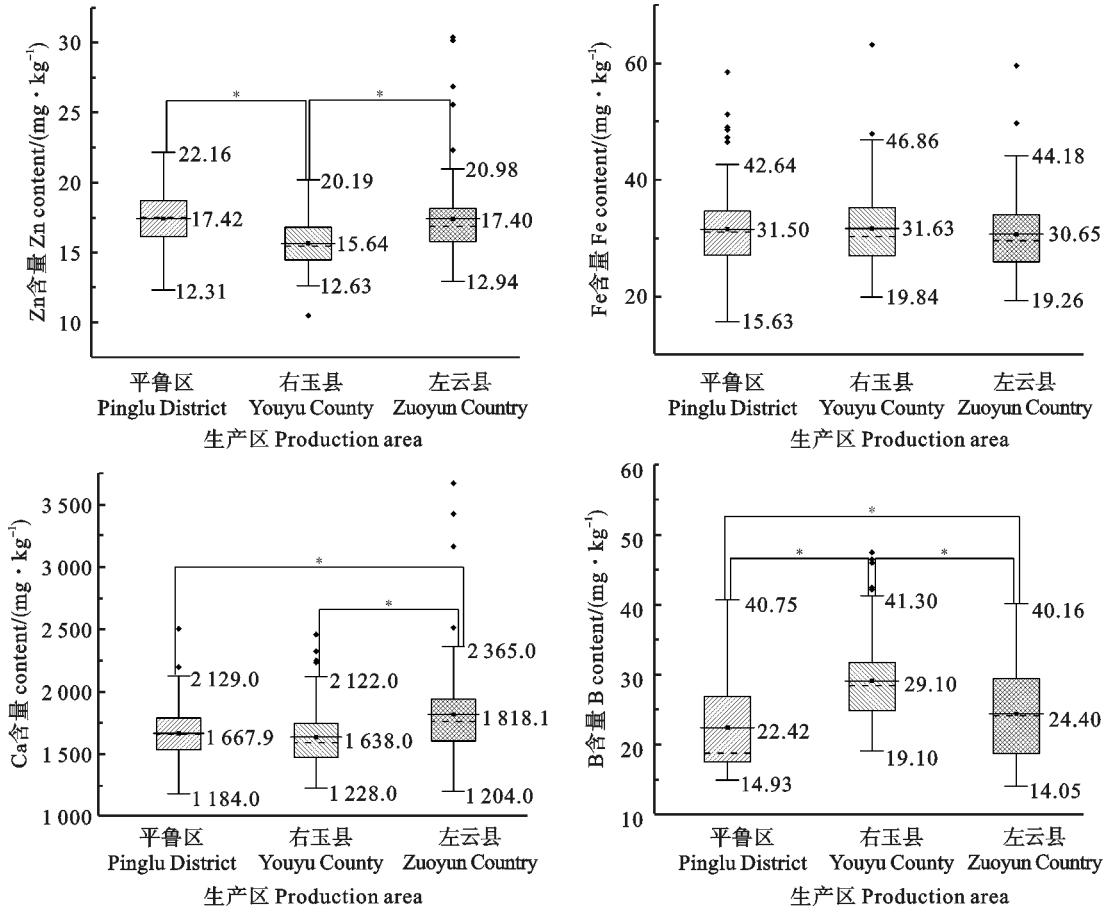


图 3 三个燕麦生产区燕麦籽粒中 4 种元素含量

Fig. 3 Content of the four elements in oat grains in three oat production areas

对比图 2 和图 3 可以发现,3 个区县间比较,左云县土壤中 4 种元素的有效态含量最低,但其燕麦籽粒中 4 种元素的含量并非最低,且籽粒中 Ca、Zn 含量相对较高。这说明燕麦籽粒中 4 种元素的含量与其在土壤中的有效态含量之间并非直接的正相关关系。

2.3 4 种元素在土壤中有有效态含量与燕麦籽粒含量的相关性

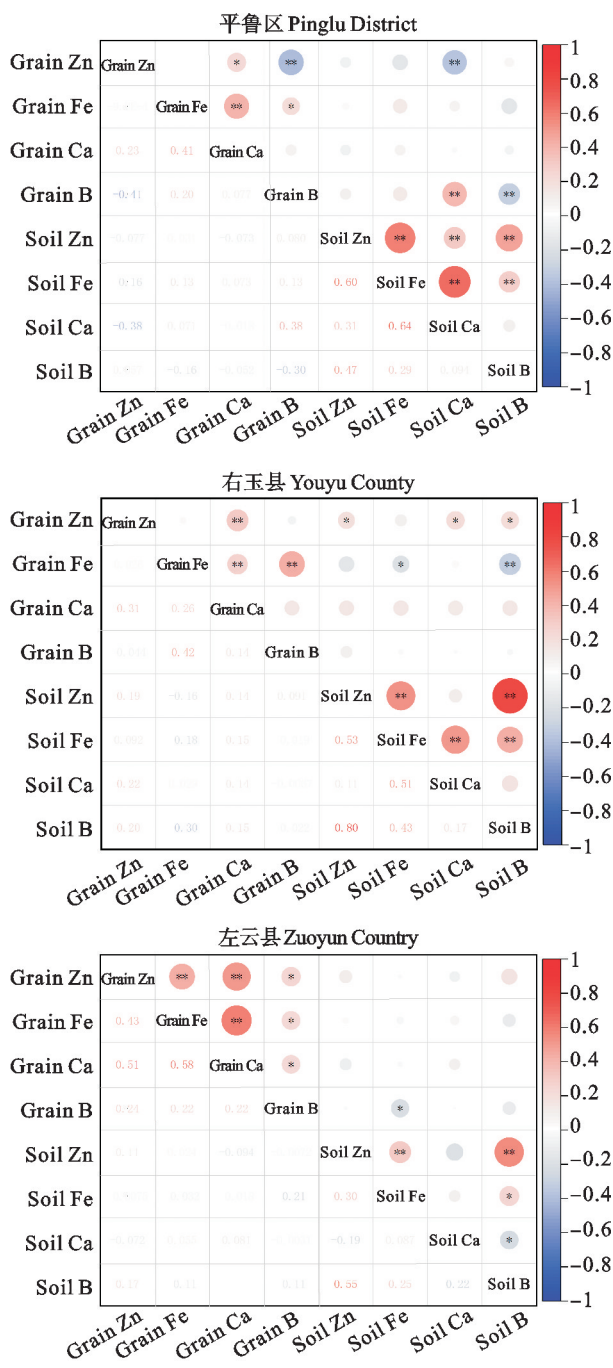
由 4 种元素在土壤中的有效态含量与其在燕麦籽粒中含量的相关分析结果(图 4)可知:

(1)在土壤中,4 种元素有效态含量相对较高的平鲁区,4 种元素的有效态含量之间均呈正相关,且除 Ca 与 B 相关不显著外,其余元素间相关性均达极显著水平($P < 0.01$);在 4 种元素含量略高于平鲁区的右玉县,4 种元素的有效态含量之间亦呈正相关,且除 Ca 与 Zn 和 Ca 与 B 相关不显著外,其余两两间相关性均达极显著水平($P < 0.01$);在 4 种元素有效态含量较低的左云县,

Zn、Fe、B 三者之间呈极显著($P < 0.01$)或显著($P < 0.05$)正相关,Ca 与 B 呈显著负相关,Ca 与 Zn、Fe 的相关性均不显著。

(2)燕麦籽粒中 4 种元素含量的相关性表现:在左云县,4 种元素的含量均呈显著或极显著正相关;在土壤有效态含量相对较高的右玉县和平鲁区,仅 Ca 与 Fe、Ca 与 Zn 和 Fe 与 B 含量呈显著或极显著正相关,且在平鲁区,籽粒 Zn 与 B 含量呈极显著负相关。

(3)燕麦籽粒中各元素含量与土壤有效态含量之间的相关性表现:在平鲁区,籽粒 B 与土壤有效态 Ca 呈极显著正相关,而籽粒 Zn 与土壤有效态 Ca、籽粒 B 与土壤有效态 B 则均呈极显著负相关;在右玉县,籽粒 Zn 与土壤有效态 Zn、Ca、B 呈显著正相关,籽粒 Fe 与土壤有效态 Fe、B 呈显著或极显著负相关;在左云县,仅籽粒 B 与土壤有效态 Fe 呈显著负相关,其他元素间无显著相关性。



* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平相关显著。
* and ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

图 4 土壤中 4 种元素有效态含量与燕麦籽粒含量的相关性

Fig. 4 Correlation between the available contents of the four elements in soil and their contents in oat grains

3 讨论

3.1 燕麦主产区土壤 Ca、Fe、Zn、B 有效态含量及其相关性分析

本研究的 3 个区县位于山西北部高寒山区，

土壤 pH 值总体偏高(7.5~9.3)^[15],其中平鲁区属于强碱性土壤(pH 值>8.5),其次是左云县(8.0<pH 值<8.5)和右玉县(7.5<pH 值<8.0),均属于碱性土壤。研究表明,强碱性土壤易引起 Zn、Fe、B 等元素的短缺^[16],而钙富集;钙质土壤中高浓度的碳酸根离子(碳酸钙和碳酸镁)会降低土壤中 Fe 等元素的可用性^[17]。根据全国第二次土壤普查微量元素含量分级标准^[18-19],本研究的 3 个区县土壤有效 Ca 含量均偏高,属于钙质土壤,其中平鲁区与右玉县属于极高水平(>1 000 mg·kg⁻¹),左云县则属于较高水平(700~1 000 mg·kg⁻¹);而三个区县的土壤有效 Zn、Fe、B 含量均偏低,其中平鲁区与右玉县的土壤有效 Fe、Zn 含量属于中等水平(4.6~10.0 mg·kg⁻¹,0.51~1.0 mg·kg⁻¹),左云县则属于低水平(2.6~4.5 mg·kg⁻¹,0.31~0.5 mg·kg⁻¹),三个区县的土壤有效 B 含量均属于极低水平(<0.2 g·kg⁻¹)。相关分析表明,三个区县中,土壤有效 Ca 含量高(平鲁区和右玉县)则有效 Fe、Zn 含量亦相对较高,尤其有效 Ca 与有效 Fe 含量呈极显著正相关;而土壤有效 Ca 含量相对较高水平(左云县),则有效 Ca 含量与其他元素之间相关性均不显著。另外,三个区县的土壤有效 B 与有效 Fe、Zn 含量亦呈显著正相关,而与有效 Ca 含量没有显著相关性。在 3 个区县的作物生产中,应适量加施 B 元素,以提高 B、Fe、Zn 元素的有效性。

3.2 燕麦籽粒中 Ca、Fe、Zn、B 含量与其在土壤中有有效态含量的相关性分析

研究表明,与其他谷类作物比较,燕麦籽粒中 Ca、Zn、Fe 等矿质元素的含量较高^[1]。本试验 3 个区县中,燕麦籽粒中 Ca 含量均处于较高水平,其中左云县燕麦籽粒中 Ca 含量显著高于平鲁区与右玉县,但其土壤有效态 Ca 含量明显较低,说明土壤有效 Ca 含量过高可能不利于燕麦籽粒中 Ca 的积累。相关分析表明(图 4),燕麦籽粒 Ca 含量与土壤有效 Ca 含量相关性不显著,但在平鲁区,燕麦籽粒 B 含量与土壤有效 Ca 含量呈极显著正相关,籽粒 Zn 含量与土壤有效 Ca 含量呈极显著负相关;而在右玉县,燕麦籽粒 Zn 含量与土壤有效 Ca 含量呈极显著正相关;在左云县,被测元素在籽粒中含量与其在土壤中有有效态含量间

则相关性不显著。推测可能与各区县土壤有效 Zn、Fe、B 含量或其他元素含量有关,说明燕麦籽粒矿质元素积累是个复杂的过程,可能受多个元素共同作用。值得关注的是,土壤中矿质元素有效态含量相对较低时(左云县),燕麦籽粒中 4 种元素含量间均呈正相关。

本研究结果表明,土壤有效 Fe、Zn 含量属于中等水平的平鲁区与右玉县,其燕麦籽粒中 Zn 与 Fe 的含量没有显著相关性,而在含量属于低水平的左云县,燕麦籽粒中 Zn 与 Fe 的含量呈显著正相关;右玉县的土壤有效 Zn 含量与燕麦籽粒 Zn 含量呈显著正相关,土壤有效 Fe 含量与燕麦籽粒 Fe 含量呈显著负相关,而土壤有效 Zn 与燕麦籽粒 Fe 和土壤有效 Fe 与燕麦籽粒 Zn 的含量在三个区县相关性均不显著,说明 Fe 与 Zn 元素在土壤中的有效态含量会影响其在燕麦籽粒中的积累,但影响程度因含量高低而异。燕麦籽粒中 Zn 与 B 含量的相关性和土壤有效态 B 与籽粒 Zn 的相关性也有类似表现。证实生产上施用含 Fe、Zn 和 B 肥料可以有效提高燕麦籽粒中相应矿质元素的含量^[20],但要控制用量。

4 结论

本试验所在燕麦生产区,土壤有效态 Ca 含量可以满足作物生长对 Ca 元素的需要,而土壤有效态 Fe、Zn、B 含量与燕麦籽粒中 Fe、Zn、B 含量均有提升空间;钙质土壤区适当降低土壤有效态 Ca 含量有助于促进燕麦籽粒 Ca 积累。

参考文献:

- [1]任长忠,闫金婷,董锐,等.燕麦营养成分、功能特性及其产品的研究进展[J].食品工业科技,2022,43(12):440.
REN C Z, YAN J T, DONG R, *et al.* Research progress on oat nutrients, functional properties and related products [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(12): 440.
- [2]周月霞,范昱,阮景军,等.燕麦籽粒营养与农艺性状相关性分析[J].作物杂志,2021(2):165.
ZHOU Y X, FAN Y, RUAN J J, *et al.* Correlation analysis of oat grain nutrition and agronomic traits [J]. *Crops*, 2021(2): 165.
- [3]范昱,冯亮,王俊珍,等.不同品种燕麦的营养成分分析[J].作物杂志,2024(4):71.
FAN Y, FENG L, WANG J Z, *et al.* Nutritional composition analysis of different oats varieties [J]. *Crops*, 2024(4): 71
- [4]郑静洁,孙月,侯汉学.全麦粉和全麦食品研究进展[J].食品研究与开发,2024,45(3):221.
ZHENG J J, SUN Y, HOU H X. Research progress in whole wheat flour and whole wheat food [J]. *Food Research and Development*, 2024, 45(3): 221.
- [5]刘晓洁,贺思琪,陈伟强,等.可持续发展目标视野下中国食物系统转型的战略思考[J].中国科学院院刊,2023,38(1):115.
LIU X J, HE S Q, CHEN W Q, *et al.* Strategic thinking on China's food system transition from perspective of sustainable development goals [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2023, 38(1): 115.
- [6]KASSEN K,张正青,李孟楼.土壤与花椒各器官中主要矿质元素的研究[J].西南林业大学学报(自然科学),2021,41(2):47.
KASSEN K, ZHANG Z Q, LI M L. The main mineral elements in forest soil and various organs of *Zanthoxylum bungeanum* [J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 2021, 41(2): 47.
- [7]苗玉红,王宜伦,韩燕来,等.燕麦籽粒的营养品质及其相关性分析[J].江西农业学报,2020,32(4):23.
MIAO Y H, WANG Y L, HAN Y L, *et al.* Nutritional quality of oat grain and its correlation analysis [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2020, 32(4): 23.
- [8]齐冰洁,王敏,张智勇,等.燕麦种质资源矿质元素的多样性分析[J].作物杂志,2020(4):76.
QI B J, WANG M, ZHANG Z Y, *et al.* Diversity analysis of mineral elements in oat germplasm resources [J]. *Crops*, 2020(4): 76.
- [9]马前涛,杨燕清,李银凤,等.滇西地区土壤矿质元素和红泡刺藤果实矿质元素相关关系研究[J].保山学院学报,2021,40(2):34.
MA Q T, YANG Y Q, LI Y F, *et al.* Study on the relationship between soil mineral elements and fruit mineral elements of *Rubus niveus* in western Yunnan [J]. *Journal of Baoshan University*, 2021, 40(2): 34.
- [10]杨树明,曾亚文,杜娟,等.云南水稻土中主要矿质元素对水稻籽粒矿质元素积累的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2009,35(6):586.
YANG S M, ZENG Y W, DU J, *et al.* Effects of main mineral element accumulation in the paddy soil in Yunnan Province on rice grain [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2009, 35(6): 586.
- [11]孙媛媛,孙友宝,盖荣银,等.二乙烯三胺五乙酸(DTPA)提取 ICP-AES 法测定土壤中有效态元素[J].环境化学,2015,34(8):1578.
SUN Y Y, SUN Y B, GAI R Y, *et al.* Determination of available elements in soil by ICP-AES with diethylenetriamine-pentaacetic acid (DTPA) extraction [J]. *Environmental Chemistry*, 2015, 34(8): 1578.
- [12]杨乐苏. ICP-AES 直接测定土壤中多种交换性阳离子组成[J].广东林业科技,2008,24(6):20.
YANG L S. Directly determining the exchangeable cations in soil by ICP-AES [J]. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2008, 24(6): 20.

- [13]唐友云,李海露,孙玉桃,等.土壤有效硼测定研究进展[J].湖南农业科学,2019(8):120.
TANG Y Y, LI H L, SUN Y T, *et al.* Research progress on determination of available boron in soil [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2019(8):120.
- [14]陈铭,尹崇仁.施用锰锌肥对冬小麦体内营养元素浓度的效应[J].中国农业科学,1992,25(4):60.
CHEN M, YIN C R. Studies on effects of manganese and zinc fertilizers on concentrations of ten nutrients and their distribution patterns in winter wheat crops [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1992, 25(4):60.
- [15]王宇峰.山西省荞麦生产情况及土壤养分供应特征分析[D].太原:山西农业大学,2022.
WANG Y F. Analysis of buckwheat production and soil nutrient supply characteristics in Shanxi Province[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2022.
- [16]张春生.浅谈土壤酸碱性与合理施肥的关系[J].农业开发与装备,2015(7):90.
ZHANG C S. Discussion on the relationship between soil acidity and rational fertilization [J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2015(7):90.
- [17]刘伦衡,张习敏,苏志猛,等.铁添加对喀斯特土壤中天蓝苜蓿生长及柠檬酸分泌的影响[J].分子植物育种,2019,17(2):644.
LIU L X, ZHANG X M, SU Z M, *et al.* Effect of iron application on the growth and citrate secretion of medicago lupulina grown in karst soil [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(2):644.
- [18]黄晓露,戴勤,梁文汇,等.桂西北板栗园区土壤养分含量分析及评价[J].西南农业学报,2022,35(12):2829.
HUANG X L, DAI Q, LIANG W H, *et al.* Analysis and evaluation of soil nutrient content in chestnut orchards in Northwest Guangxi [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 35(12):2829.
- [19]王冰洁,王楠,侯博洋,等.东北地区典型农田土壤微量元素丰缺程度调查与分析[J].吉林农业科技学院学报,2021,30(4):6.
WANG B J, WANG N, HOU B Y, *et al.* Investigation and analysis of abundance or deficiency of trace elements in typical farmland soils in Northeast China [J]. *Journal of Jilin Agricultural Science and Technology University*, 2021, 30(4):6.
- [20]赵利梅,白艳姝,高炳德.锌、硒种肥配施对裸燕麦产量及矿质元素含量的影响[J].麦类作物学报,2017,37(9):1240.
ZHAO L M, BAI Y S, GAO B D. Effect of Zn and Se fertilizer as seed manure on yield and mineral elements in naked oat seed [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2017, 37(9):1240.