

不同轮作体系土壤残留硒锌对小麦产量与营养品质的影响

咎亚玲¹, 王朝辉¹, Graham Lyons²

(1.西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.Waite Analytical Services School of Agriculture, Food and Wine University of Adelaide, South Australia 5064)

摘 要:采用盆栽试验,通过玉米-小麦和大豆-小麦轮作,探讨了不同种植模式中,土壤残留硒锌对小麦产量与营养品质的影响。结果表明,土壤中残留硒锌对小麦生物量和产量的影响与作物轮作体系有关。玉米-小麦轮作,土壤残留硒锌并没有表现出增加小麦产量的趋势,而大豆-小麦轮作,土壤残留硒锌对小麦生物量和产量呈增加趋势。土壤残留硒锌可改变作物体内元素组成。玉米-小麦轮作,土壤残留硒锌有利于小麦籽粒对氮、钾、硫、钙、铁、锌、硒、铜元素的吸收累积。大豆-小麦轮作,土壤残留硒锌促进小麦对钾、硫、镁、铁、锌、硒、铜、锰、硼的吸收,而氮、磷、钙吸收减少。

关键词:玉米;大豆;硒;锌;轮作;土壤残留

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)02-0235-04

Effects of Soil Residual Se and Zn on Yield and Nutritional Quality of Wheat in Different Rotation Systems

ZAN Ya-ling¹, WANG Zhao-hui¹, Graham Lyons²

(1.College of Resources and Environmental Science, Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling 712100, China; 2.Waite Analytical Services School of Agriculture, Food and Wine, University of Adelaide, South Australia 5064)

Abstract: Pot experiments were conducted with maize-wheat rotation and soybean-wheat rotation to study the effects of soil residual Se and Zn on wheat yields and nutritional quality. Obtained results showed that effects of soil residual Se and Zn on wheat biomass and yield were different with rotation systems. In maize-wheat rotation, soil residual Se and Zn did not show the trend to increase wheat biomass and yields, but significantly increased the wheat biomass and yields in soybean-wheat rotation; Soil residual Se and Zn could change the composition of elements in crops. In maize-wheat rotation, N, K, S, Ca, Fe, Zn, Se, and Cu contents of wheat grain were significantly increased by soil residual Se and Zn. In soybean-wheat rotation, grain K, S, Mg, Fe, Zn, Se, Cu and B contents significantly increased, but N, P, Ca and Mn contents decreased.

Keywords: maize; soybean; selenium; zinc; crop rotation; soil residual

硒、锌是人体必需的生命元素,它们与人类生产和生命活动关系十分密切。硒具有防癌、抗癌、抗衰老和防治心血管疾病的功效^[1],锌具有促进人体生长发育、促进维生素 A 代谢等重要的生理作用^[2]。对生物体进行硒、锌微量营养调节已受到医学、农学界的重视。20 世纪中期我国开始大面积推广施用微肥。

施用硒、锌可以提高作物产量和粮食中的微量养分,减轻人畜因缺乏微量元素而引起的地方性疾病。但硒、锌是重金属有毒物质,施用量合适能促进生物体正常生长发育,过量施用会引起农产品污染、土壤重金属超标等一系列环境问题。据有关资料报道,土壤对锌的利用率很低,只有 2.39% 被地上部利用,97.61% 残留于土壤中^[3]。土壤对硒肥利用率为 11.7%,66.7% 的硒残留于土壤中^[4]。因此,在农业生产中,安全、科学施用微量元素,有效提高微肥利用率,对保护环境及人体健康有重要意义。针对以上问题,本文研究了不同轮作体系中,土壤残留微硒、锌对小麦的产量和营养品质的影响,以期合理科学地施用微肥提供理论依据。

收稿日期:2009-06-19

基金项目:国家自然科学基金项目(40671107);国家科技支撑项目(2006BAD25B09);农业公益性行业科研专项(200803029);中澳合作研究项目

作者简介:咎亚玲(1976—),女,陕西扶风人,在读博士研究生,主要从事土壤植物营养方面的研究。

E-mail: zanyl1976@yahoo.com.cn

通讯作者:王朝辉 E-mail: w-zhaohui@263.net

1 试验方法

1.1 试验设计

盆栽试验于 2007 年 9 月至 2008 年 5 月在西北农林科技大学资源环境学院温室进行。供试土壤采自陕西省永寿县养马庄,其理化性状为:pH 8.4,有机质 16.75 g·kg⁻¹,全氮 1.13 g·kg⁻¹,硝态氮 14 mg·kg⁻¹,氨态氮 17 mg·kg⁻¹,速效磷 30 mg·kg⁻¹,速效钾 139 mg·kg⁻¹,全锌 62 mg·kg⁻¹,全铁 31 g·kg⁻¹,全硒 0.86 mg·kg⁻¹,有效锌 0.195 mg·kg⁻¹,有效铁 1.012 mg·kg⁻¹,有效硒 0.086 mg·kg⁻¹。有效锌、铁用 0.005 mol·L⁻¹ DTPA 浸提,有效硒用 0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 浸提^[5]。

试验设 3 个施肥处理、两种轮作体系。施肥处理分别为:CK(不施肥)、NPK、NPK+SeZn,4 次重复。两种轮作体系为:玉米-小麦、大豆-小麦。试验采用 36 cm×26 cm 的塑料桶装土,每盆装过 5 mm 筛的风干土 8 kg。前季作物各肥料用量为:氮肥 0.3 gN·kg⁻¹ 风干土,磷、钾肥分别为 0.2 g P₂O₅·kg⁻¹ 和 0.3 g K₂O·kg⁻¹。硒、锌均为土施,其用量分别为 0.86 mg Se·kg⁻¹ 和 35 mg Zn·kg⁻¹。后季作物氮磷钾用量与前季相同,其中氮肥 50%基施,50%在返青期追施,硒、锌不施用。装盆时先取出 1 kg 土,再将剩余土与氮、磷、钾混合均匀后装盆。装盆以后,每盆灌水 2 000 mL,确保出苗前不再灌水;水分完全渗入土壤后,每盆均匀播种 20 粒,并用预先取出的 1 kg 风干土覆盖。小麦长出第 4 片叶时,每盆定苗 10 株。生长期间采用重量法灌水,依土壤水分变化,每 4~7 d 按试验要求调节 1 次。

1.2 测定项目及方法

小麦收获时,将植株分为茎叶、颖壳、籽粒。称量各器官的鲜重后,根据样品多少,各称取部分鲜样在 105 ℃杀青 20 min,50~55 ℃烘箱中烘干至恒重,分别记录其干重。植物干样磨细后密封备用。植株样品中全氮含量采用凯氏定氮仪测定,植株中全磷、全钾及其中微量元素含量由澳大利亚阿德莱德大学农业与葡萄酒学院维特分析中心(Waite Analytical Services,School of Agriculture and Wine,University of Adelaide)采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES 法)测定。

2 结果分析

2.1 不同轮作体系土壤残留硒锌对小麦生物量与产量的影响

与对照比较,玉米-小麦轮作和大豆-小麦轮作,

无论前季作物是否施用硒锌,后季作物施用氮磷钾后,小麦生物量和籽粒产量均明显提高(表 1)。

表 1 不同轮作体系土壤残留硒锌对小麦生物量与产量的影响

Table 1 Effect of soil residual Se and Zn on biomass and grain yield of wheat in different rotation systems			
轮作 Rotation	处理 Treatments	生物量/g·盆 ⁻¹ Biomass/g·pot ⁻¹	籽粒产量/g·盆 ⁻¹ Grain yield/g·pot ⁻¹
玉米-小麦 Maize-Wheat Rotation	CK	31.71 b	15.17 b
	NPK	96.84 a	43.92 a
	NPK+残留 SeZn	95.55 a	40.29 a
大豆-小麦 Soybean-Wheat Rotation	CK	31.95 b	14.88 b
	NPK	82.54 a	31.36 a
	NPK+残留 SeZn	87.27 a	35.65 a

注:表中同一列中字母不同为差异显著($P<0.05$),下同。
Note: Different letters within the same column are significantly different at 5% level($P<0.05$), the same as follows.

玉米-小麦轮作,与对照比较,前季作物不施硒锌时,后季小麦施用氮磷钾后,小麦生物量和籽粒产量分别提高 205.4%、189.5%。前季作物施用硒锌时,小麦生物量和籽粒产量分别增加 201.3%、165.6%。可见,前季作物为玉米时,土壤残留硒锌并没有表现出增加小麦产量的趋势。

大豆-小麦轮作,前季作物不施硒锌,后季小麦施用氮磷钾时,小麦生物量和籽粒产量较对照分别提高 158.3%、108.8%。前季施用硒锌时,小麦生物量和产量分别增加 173.1%、139.6%。从以上结果可看出,前季作物为大豆时,土壤残留硒锌对小麦生物量和产量呈增加趋势。

2.2 不同轮作体系土壤残留硒锌对小麦籽粒氮磷钾含量的影响

玉米-小麦轮作和大豆-小麦轮作,后季小麦施用氮磷钾后,籽粒氮磷钾含量变化因轮作体系而异(表 2)。玉米-小麦轮作,前季作物未施硒时,后季施氮磷钾后,小麦籽粒氮较对照增加 55.2%,钾增加 1.9%,前季施硒锌时,后季小麦施氮磷钾后,小麦籽粒氮增

表 2 不同轮作体系土壤残留硒锌对小麦籽粒氮磷钾含量的影响
Table 2 Effect of soil residual Se and Zn on the contents of N,P and K in wheat grain in different rotation systems

处理 Treatments	玉米-小麦轮作 Maize-Wheat Rotation			大豆-小麦轮作 Soybean-Wheat Rotation		
	N/%	P/%	K/%	N/%	P/%	K/%
CK	1.81b	0.44a	0.52a	2.17b	0.45b	0.55b
NPK	2.81a	0.40a	0.53a	2.89a	0.48a	0.60ab
NPK+残留 SeZn	3.03a	0.41a	0.54a	2.88a	0.47a	0.65a

加 67.4%, 钾增加 3.8%, 而后季小麦籽粒磷含量均有所下降。说明前季作物为玉米时, 土壤残留硒锌可促进后季小麦籽粒对氮、钾元素的吸收累积。

大豆-小麦轮作, 前季未施硒锌时, 后季小麦施氮磷钾后, 小麦籽粒氮较对照增加了 33.2%、磷增加 6.7%、钾增加 9.1%。前季大豆施用硒锌, 后季小麦施用氮磷钾后, 小麦籽粒氮增加 32.7%、磷增加 4.4%、钾增加 18.2%。可见, 前季作物为大豆时, 土壤残留硒锌对小麦籽粒钾含量表现出增加趋势, 而对籽粒氮、磷表现下降趋势。

2.3 不同轮作体系土壤残留硒锌对小麦籽粒硫钙镁含量的影响

玉米-小麦和大豆-小麦轮作, 前季残留的硒锌可明显提高小麦籽粒中硫含量, 而对钙、镁含量的影响因轮作体系而不同(表 3)。玉米-小麦轮作, 前季作物不施硒锌时, 后季小麦施用氮磷钾后, 小麦籽粒硫、钙较对照分别提高 36.8%、40.7%, 镁含量下降 6.1%。前季作物施用硒锌时, 后季小麦施用氮磷钾后, 小麦籽粒硫、钙含量分别提高 49.3%、56.9%, 镁含量下降 2.1%。说明前季作物为玉米时, 土壤中残留硒锌可促进小麦对硫、镁的吸收, 而对钙元素的吸收有一定的抑制利用。

表 3 不同轮作体系土壤残留硒锌对小麦籽粒硫钙镁含量的影响

Table 3 Effect of soil residual Se and Zn on the contents of S, Ca and Mg in wheat grain in different rotation systems

处理 Treatments	玉米-小麦 Maize-Wheat Rotation			大豆-小麦 Soybean-Wheat Rotation		
	S/ mg·kg ⁻¹	Ca/ mg·kg ⁻¹	Mg/ mg·kg ⁻¹	S/ mg·kg ⁻¹	Ca/ mg·kg ⁻¹	Mg/ mg·kg ⁻¹
CK	1 608 b	290b	1 630a	1 645c	323b	1 650 a
NPK	2 200 a	408a	1 530 a	2 467 b	563 a	1 677 a
NPK+残留 SeZn	2 400 a	455a	1 595 a	2 575a	540a	1 725 a

大豆-小麦轮作, 前季作物不施硒锌时, 后季小麦施用氮磷钾后, 小麦籽粒硫、钙、镁含量较对照分别提高 50%、74.3%、1.6%。前季作物施用硒锌时, 土壤残留硒锌使后季小麦籽粒硫、钙、镁含量分别提高 56.5%、67.2%、4.5%。说明前季作物为大豆, 土壤中残留硒锌可促进小麦对硫、镁的吸收, 而对钙元素的吸收有一定的抑制利用。

2.4 不同轮作体系土壤残留硒锌对小麦籽粒其他元素含量的影响

玉米-小麦轮作, 前季作物不施硒锌时, 后季小麦施氮磷钾后, 籽粒中铁含量较对照明显增加 88%, 而

其他微量元素含量无明显变化(表 4)。前季作物施硒锌时, 小麦籽粒铁明显提高 104%、锌提高 283%、硒提高 58%、铜提高 38%, 而锰和硼无明显变化。

大豆-小麦轮作, 前季作物不施硒锌时, 后季小麦施氮磷钾后, 小麦籽粒中铁较对照明显增加 75.8%、锰增加 31.6%、硼增加 27.3%, 而锌、硒、铜含量无明显变化。前季作物施硒锌时, 小麦籽粒铁明显提高 79%、锌提高 214%、硒提高 58%、锰提高 15.8%、硼提高 36.4%、铜提高 35%。

以上说明, 两种轮作模式中, 土壤残留硒锌均可明显促进小麦对铁、锌、硒、铜元素的吸收累积, 而对锰、硼元素的吸收因轮作模式而异。

表 4 不同轮作体系土壤残留硒锌对小麦籽粒其他元素含量的影响(mg·kg⁻¹)

Table 4 Effect of residual Se and Zn on the contents of other elements in wheat grain in different rotation systems(mg·kg⁻¹)

元素 Elements	处理 Treatments		
	CK	NPK	NPK+残留 SeZn
玉米-小麦 Maize-Wheat Rotation			
Fe	25c	47b	51a
Zn	36b	36b	138a
Se	4b	4b	6.23a
Mn	39a	38a	38a
B	1.0a	1.0a	1.3a
Cu	5.0b	5.5b	6.9a
大豆-小麦 Soybean-Wheat Rotation			
Fe	33b	58a	59a
Zn	35b	42b	110a
Se	4b	4b	6.3a
Mn	38c	50a	44b
B	1.1b	1.4a	1.5a
Cu	5.2 b	6.3b	7.0a

3 讨论

陕西永寿属石灰性土壤, 碳酸盐含量和 pH 都较高, 对微量元素的固定作用较强, 土壤中施用微肥越多固定的数量也越多, 故应尽量减少微肥的大剂量投入。国内外研究表明, 施入土壤中锌元素利用率很低, 只有少部分被作物吸收利用, 而大部分在土壤中残留。土壤中残留锌元素后效很长, 部分可再度释放, 在 2~4 a 内对作物生长和品质仍有显著影响^[9]。目前, 硒的这方面研究报道不多。本试验中, 玉米-小麦轮作体系中, 土壤残留硒锌并没有表现出增加小麦产量的趋势。而大豆-小麦轮作体系中, 土壤残留硒锌对小麦生物量和产量呈增加趋势。这可能与作物生长环境有关。前季作物种类不同, 植株对土壤中养分选择吸收

能力有差别,植物生长的土壤环境有所不同。以上说明,在大豆-小麦轮作体系中,土壤残留硒锌不仅促进小麦生长,而且还有利于小麦产量提高,同时也避免了微量元素在土壤中的过量累积。因此,充分利用土壤中残留微量元素,不仅提高作物产量与品质,而且对保护生态环境有着重要作用,这对石灰性土壤微量元素的合理施用具有重要的指导意义。

施用微量元素可以改善植物的生理代谢过程从而改变植物体内大中量元素组成。锌可促进小麦开花前氮素的吸收、积累及花后向籽粒的运转,增加各器官尤其是籽粒氮的积累^[7]。适量硒可促进植物对硫、钙、镁等元素的吸收,而在硒过量情况下,植物对营养元素的吸收值降低^[8]。本研究表明,玉米-小麦轮作,土壤残留硒锌促进籽粒对氮、钙和硫的吸收利用,磷、钾元素吸收无明显变化,镁吸收减少。大豆-小麦轮作,土壤残留硒锌对小麦籽粒钾、硫和镁的吸收有增加趋势,氮、磷和钙吸收减少。以上说明,土壤残留硒锌可改变作物体内大中量元素的组成,前季作物种类不同,其影响作用不同,这可能与前季作物对养分的选择性吸收能力大小有关。

施用硒、锌可影响土壤中微量元素供应以及土壤中微量元素含量变化,而土壤中微量元素含量及其他供性又进一步影响农作物对微量元素的吸收。施锌增加各器官锌的积累量,但施锌过量,其积累量下降^[9]。杨习文等研究表明,施锌小麦根、茎、叶中锌含量较对照提高 43.4%、31.0%、29.4%^[10]。小麦施用 7 mg·kg⁻¹ 锌,籽粒锌含量增加 1.6 倍^[11]。李登超研究小白菜施硒可增加小白菜地上部锰、锌、钼等元素^[8]。本试验研究表明,这两种轮作模式中,土壤残留硒锌明显提高小麦籽粒铁含量 79%~104%、锌提高 214%~283%、硒提高 58%、铜提高 35%~38%。在玉米-小麦轮作体系中,锰、硼无明显变化,而大豆-小麦轮作,锰提高 15.8%,硼提高 36.4%。可见,土壤残留硒锌可明显促进作物对微量元素的吸收累积,有效改善食物营养品质。

综上所述,土壤中残留硒、锌对提高后季作物产量和营养品质仍有重要作用,近几年,农业生产中连年过量施用微量元素现象随处可见,造成微量元素在土壤及生物体中过量累积,对生态环境也会产生不良影响。因此,在生产实践中合理施用微量元素,可几年施一次,不必年年土施,充分利用微量元素的后续作用,提高硒锌的再利用,有效改善植物硒锌营养状况,避免一些环境问题的发生,对可持续农业的发展有非常重要的意义。

参考文献:

- [1] 甄广田,杨双,柏德华,等.生命元素硒与作物产量和品质的关系[J].安徽农业科学,2006,34(13):2956-2958.
ZHEN Guang-tian, YANG Shuang, BAI De-hua, et al. Effect of selenium on the yield and quality of crop[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2006, 34(13):2956-2958.
- [2] 林剑峰.必需微量元素锌营养研究进展[J].临床医药实践杂志,2004,13(12):887-889.
LIN Jian-feng. Research progresses on zinc of in nutrition[J]. *Proceeding of Clinical Medicine*, 2004, 13(12):887-889.
- [3] 张怀渝,王化新,吴素琼,等.微量元素锌在土壤-植物-动物生态系统中的循环转移与利用[J].四川农业大学学报,1999,17(4):374-377.
ZHANG Huai-yu, WANG Hua-xin, WU Su-qiong, et al. Study on transfer and reutilization for microelement zinc in plant-soil ecosystem[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1999, 17(4):374-377.
- [4] 赵成义.土壤硒的生物有效性研究[J].中国环境科学,2004,24(2):184-187.
ZHAO Cheng-yi. Studies on the bioavailability of soil selenium[J]. *China Environmental Science*, 2004, 24(2):184-187.
- [5] 魏显有,刘云惠,王秀敏,等.土壤中硒的形态分布及有效态研究[J].河北农业大学学报,1999,22(1):20-23.
WEI Xian-you, LIU Yun-hui, WANG Xiu-min, et al. Study on the form distribution of selenium in soils and its available states[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 1999, 22(1):20-23.
- [6] 余存祖,彭琳,戴鸣钧,等.土壤中大量元素锌残留残效与生物体内锌素富集研究[C].武汉:湖北科学技术出版社,1986:255-266.
YU Cun-zu, PENG Lin, DAI Ming-jun, et al. Studies on the soil residual Zn and zinc accumulation of plant[C]. Wuhan: Hubei Technology and Science Publishing House, 1986:255-266.
- [7] 韩金玲,李雁鸣,马春英,等.施锌对小麦开花后氮、磷、钾、锌积累和运转的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(3):313-320.
HAN Jin-ling, LI Yan-ming, MA Chun-ying, et al. Effect of zinc fertilization on accumulation and transportation of N, P, K and Zn after anthesis of wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(3):313-320.
- [8] 李登超,朱祝军,徐志豪,等.硒对小白菜生长和养分吸收的影响[J].植物营养学报,2003,9(3):353-358.
LI Deng-chao, ZHU Zhu-jun, XU Zhi-hao, et al. Effect of selenium on the growth and nutrient absorption of pakchoi [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(3):353-358.
- [9] 张建军,樊廷录.小麦锌营养研究进展[J].作物杂志,2008(4):19-22.
ZHANG Jian-jun, FAN Ting-lu. Research progress on zinc nutrition in wheat[J]. *Crops*, 2008(4):19-22.
- [10] 杨习文.石灰性土壤上小麦不同基因型对锌肥及锌铁肥的反应[D].陕西杨凌:西北农林科技大学硕士论文,2007.
YANG Xi-wen. Response of wheat genotypes growing on calcareous soil to zinc or zinc and iron fertilization[D]. Yangling: Dissertation for Master Degree of Northwest A&F University, 2007.
- [11] 李丽霞.微肥对作物产量、品质的影响及其生态环境效应[D].陕西杨凌:西北农林科技大学硕士论文,2005.
LI Li-xia. Effect of trace element fertilizer on crop yield quality and its environment effect[D]. Yangling: Dissertation for Master Degree of Northwest A&F University, 2005.