植物营养与肥料学报 2012,18(5):1235-1242
Plant Nutrition and Fertilizer Science

基施硒肥对莜麦产量和微量元素含量的影响

郭 孝[1], 李 明[1], 介晓磊[2]*, 李建平[1], 黄安群[1], 石志芳[1], 肖曙光[1]
(1 郑州牧业工程高等专科学校,河南郑州 450011; 2 黄淮学院,河南驻马店 463000)

摘要: 在河南省黄河滩区,通过研究基施硒肥(亚硒酸钠)对莜麦青干草和果实产量以及微量元素含量的影响,探索提高莜麦产量以及微量元素含量的新途径。结果表明: 1)基施硒肥能提高莜麦的青干草产量, 当基施量为 954 g/hm^2 的情况下,效果最佳,扬花期青干草产量提高 9.33% ($P<0.05$),但基施硒肥对莜麦果实产量影响不显著; 2)莜麦对硒有较强的吸收和同化能力,可以从肥料中大量吸收无机硒,并大多转化为有机硒向上运输到茎叶和果实中; 3)基施硒肥能在不同程度上提高莜麦青干草中 Cu、Zn 和 Se 的含量,而对 Fe 和 Mn 的含量影响不大,当硒肥基施量在 954 g/hm^2 的情况下,扬花期青干草中 Cu、Zn 和 Se 的含量分别提高 9.31% ($P<0.05$)、13.22% ($P<0.05$)和 281.25% ($P<0.05$); 4)基施硒肥能显著提高莜麦果实中 Fe、Cu、Zn 和 Se 的含量,而对 Mn 的含量影响不大,当硒肥基施量在 954 g/hm^2 的情况下,Cu、Zn 和 Se 的含量分别比不施硒对照提高 7.92% ($P<0.05$)、5.75% ($P<0.05$)和 18.75% ($P<0.05$),当硒肥基施量在 765 g/hm^2 的情况下,莜麦果实中 Fe 的含量比对照提高 10.19% ($P<0.05$)。综上,莜麦对硒肥有较强的吸收和转化能力,适当地基施硒肥有利于提高扬花期青干草中 Cu、Zn 和 Se 的含量和果实中 Fe、Cu、Zn 和 Se 的含量,适宜的硒基施量为 765 ~ 954 g/hm^2。

关键词: 硒; 莜麦; 产量; 微量元素
中图分类号: S512.6.01; S143.7+9　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2012)05-1235-08

Effects of basal Se fertilizers on yield and contents of trace elements of naked oat

GUO Xiao[1], LI Ming[1], JIE Xiao-lei[2]*, LI Jian-ping[1], HUANG An-qun[1], SHI Zhi-fang[1], XIAO Shu-guang[1]
(*1 Zhengzhou College of Animal Husbandry Engineering, Zhengzhou 450011, China;*
2 Huanghuai University, Zhumadian, Henan 463000, China)

Abstract: A field experiment was carried out in a naked oat field on yellow river beach to study effects of basal selenium(Se) fertilizers (570 ~ 1143 g/ha for $Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$) on the contents of trace elements of forage and grain of naked oats in order to seek new approaches to enhance nutritional levels of naked oats. The results show that basal Se fertilizer could raise the biomass significantly, and forage yield is raised by average 9.33% ($P<0.05$) in flowering stage, while there are no significant effects on grain yield. The capacities of absorbing selenium from soil fertilizers by naked oats are stronger and as well the transformation from inorganic selenium to organic selenium and from the fertilizers to stems, leaves and grains. The basal Se fertilizers could enhance the contents of Cu, Zn and Se of oat hay significantly ($P<0.05$), while the contents of Fe、Mn are not increased. When application rate of the Se fertilizers is 954 g/ha, the contents of Cu, Zn and Se were enhanced by 9.31% ($P<0.05$), 13.22% ($P<0.05$) and 281.25% ($P<0.05$), respectively. The basal Se fertilizers could enhance the contents of Fe, Cu, Zn and Se of naked oat grains significantly ($P<0.05$), while there are no more apparent effects on Mn. When the application rate of the Se fertilizers is 954 g/ha, the contents of Cu, Zn and Se have optimal effects and are enhanced by 7.92% ($P<0.05$)、5.75% ($P<0.05$) and 18.75% ($P<0.05$), respectively.

收稿日期: 2011-12-31　　**接受日期**: 2012-04-27
基金项目: 国家农业科技成果转化资金项目"土-草-饲-畜系统微量元素增效技术中试与示范"(2010GB2D000287); 河南省科技成果转化项目(072201120001); 河南省杰出人才创新基金项目"优质牧草专用高效微肥的研制与开发"(0521001700)资助。
作者简介: 郭孝(1964—),男,内蒙古商都县人,博士,主要从事牧草营养调控研究。E-mail: hdlf2001@163.com
*通讯作者 E-mail: jiexl@263.net

When the application rate of the Se fertilizers is 765 g/ha, the content of Fe has optimal effects and is enhanced by 10.19% ($P<0.05$). In a word, naked oats have stronger capacities to absorb and transfer Se from soil basal fertilizers, rational basal application of Se fertilizers could not only enhance the contents of Cu, Zn and Se of forage in florescence, but also enhance the contents of Fe, Cu, Zn and Se of grains as well, the optimum of basal Se fertilizer range is from 765 g/ha to 954 g/ha.

Key words: selenium; naked oat; yield; trace elements

莜麦亦称裸燕麦,是燕麦的一种,属禾本科燕麦属一年生草本植物。我国莜麦主要分布在华北、西北和西南等高寒地区,以内蒙古中西部一带为最多。莜麦不但营养价值高,而且富含有 Se、Mn、Zn、Cu、Cr 等重要的微量元素[1],这些微量元素是构成动植物酶、辅酶和维生素的重要成分,调节着新陈代谢,增强动植物的免疫力[2],在人和动物许多既复杂又奥妙的生理过程中起着核心作用。如多种生物化学和营养学试验证实,微量元素 Mn、Zn、Cu、Cr 与糖尿病具有高度相关性和可逆性[3],硒是生物机体中必需的营养元素,是谷胱甘酞过氧化物酶的组成成分,在动植物新陈代谢中起着极其重要的作用[2,4]。饲草缺硒时不仅影响到家畜的食欲,而且会降低家畜对疾病的抵抗力和畜产品的质量,当人的食品中缺硒时,会降低免疫力并引发各种恶性肿瘤[5]。所以,进一步提高莜麦秸秆和果实中微量元素含量有对于提高莜麦的营养和保健价值意义重大,在这方面,国内外缺乏相关的研究报道。许多研究证明,基施或者叶面喷洒硒肥能提高牧草和作物的营养水平,改善作物品质[6-9]。该研究就是依据这个思路,通过基施硒肥,探索进一步提高莜麦饲草和果实产量以及其中微量元素含量的可能性,特别是提高其中的硒的含量,为畜牧业发展生产出更多的营养平衡的优质饲草饲料,为人类健康提供更好的保健食品。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于河南省郑州市黄河滩区,海拔 50～70 m,属温带大陆季风性气候,四季分明,年日照时数为 2368.4 h; 日平均气温 14.3℃,7 月份平均气温 27℃,最高气温 43.5℃,1 月份平均气温 1℃,最低温度 -19.7℃,≥10℃的积温为 4800℃; 年平均降水量 630 mm,年平均无霜期为 220～225 d。土壤为黄河冲积物上发育的潮土,质地为壤土,其理化性状为: 有机质含量 8.17 g/kg,碱解氮 66.02 mg/kg,速效钾(K)175.16 mg/kg,速效磷(P)7.04 mg/kg,有效铁 5.32 mg/kg,有效硼 0.4 mg/kg,有效钼 0.07 mg/kg,有效锌 0.64 mg/kg,有效钴 0.05 mg/kg,有效铜 1.35 mg/kg,有效锰 10.90 mg/kg,有效硒 0.08 mg/kg,pH 值 7.0[10]。

1.2 试验材料

供试莜麦品种为内农大莜 1 号(简称大莜麦),为内蒙古农业大学培育的中熟型莜麦新品种,该品种茎秆粗壮,根系发达,抗病能力强、分蘖力强,穗形长大,粒大饱满,喜寒凉,耐干旱,抗盐碱[11]。

大莜麦于 2008 年 10 月 12 日播种。播行为 20～25 cm,播深为 3.5 cm,播种量为 22.5 g/m^2[12]。

供试肥料为亚硒酸钠($Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$),为分析纯试剂(AR),其主要成份含量为 21.0%,浅红色结晶,易溶于水和乙醇[13]。

1.3 试验设计

试验于 2008 年 10 月至 2010 年 10 月进行,试验设 5 个施硒水平,亚硒酸钠的用量依次为 0 g/hm^2、570 g/hm^2、765 g/hm^2、954 g/hm^2 和 1143 g/hm^2(其中 Se 的含量分别为 0、200、266、332 和 400 g/hm^2),分别用 Se0、Se1、Se2、Se3 和 Se4 表示,其中 Se1、Se2、Se3、Se4 4 个处理分别在播种前基施对应的硒肥,Se0 为对照,不施任何肥料,小区面积为 20 m^2(4 m×5 m),3 次重复,随机排列,区间距离 1 m,试验区总面积为 1500 m^2。

在试验中,各小区于耕前按照规定的硒肥用量进行 1 次性(掺细干土)撒施,然后耕翻。莜麦生长期间不施用其它任何肥料。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 莜麦青干草生物量和果实产量的测定　选择在分蘖～拔节期、抽穗～扬花期和成熟期 3 个时期测定,具体操作方法: 在每个处理的试验小区长势均匀处,随机选取 1 m^2 的区域,刈割距地面 2 cm 左右以上的饲草,立即称重,即为鲜草重量; 然后在 85℃时杀青,65℃烘干后称干重,为青干草重量。在完熟期,一次性收获果实,脱粒后并称重。

1.4.2 莜麦青干草和果实中 Se、Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量的测定　青干草和果实取样时间分别在每年的

莜麦扬花期(5 月 20 日)和结实期(6 月 15 日)。青干草取样时,每个处理取样 3 次,取样面积为 1 m^2,留茬 4 cm,在每个处理的样品中取 500 g 鲜草,洗净,并在 105℃下烘 10 min 后,调到 65℃,再烘 24 h 至恒重,即为青干草样品。莜麦青干草和果实样品分别用不锈钢粉碎机粉碎后过 1 mm 筛,备用。

莜麦青干草和果实中 Se 的含量测定采用尚庆茂等[14-15]的方法:取 1 g 干样加 20 mL 4 mol/L 的 HCl,在 170℃下回流反应 20 min,冷却后取上清液,测定样品中无机硒的含量。取 0.5g 干样加 7mL 混合消化液(5 mL HNO_3 + 2 mL $HClO_4$),在 180 ~ 200℃下消化 2 h,冷却后再加 10 mL 4 mol/L 的 HCl 还原 10 min,重蒸馏水定容,测定样品中总硒含量[16-17]。

有机硒含量 = 全硒含量 - 无机硒含量。

有机硒硒转化率(%) = 有机硒含量/总硒含量 ×100

样品中 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量的测定采用湿灰化法测定[1,18]。

1.5　数据统计

采用 Excel 和 SPSS18.0 统计分析软件对试验观察数据进行统计、分析和检验。

2　结果与分析

2.1　硒肥基施对莜麦青干草和果实产量的影响

从两年内的莜麦青干草动态(表 1)来看,在分蘖~拔节期,各处理青干草的产量差异不显著,说明硒肥对莜麦苗期的生长影响不大;在抽穗~扬花期,各处理青干草产量为 1139.4 ~ 1254.6 g/m^2,处理间差异显著,随着硒肥基施量的增加,产量增加,当基施量为 954 g/hm^2 的情况下,青干草产量达到最大值,之后出现缓慢下降的趋势;在成熟期,青干草产量为 1379.6 ~ 1508.4 g/m^2,其随硒用量的动态变化同抽穗~扬花期基本一致,但基施量超过最佳量时,产量则出现显著下降趋势。

从表 1 还可以看出,2 年内莜麦果实的平均产量为 440.2 ~ 460.3 g/m^2,基施硒肥会降低莜麦果实的产量,但影响不明显($P > 0.05$)。

由此可见,基施硒肥提高莜麦的青干草产量,当基施量为 954 g /hm^2 的情况下,效果最佳,扬花期和完熟期的青干草产量分别提高 9.33% 和 10.11%($P < 0.05$),硒肥会莜麦果实产量影响不显著。

表 1　两年内不同处理下莜麦青干草和果实平均产量的比较

Table 1　Comparation of the average hay yield and grain yield of naked oat for 2 years

试验处理 Treatments	青干草产量 Hay yield(g/m^2)			果实产量 Grain yield (g/m^2)
	分蘖~拔节期 Tillering-jointing stage	抽穗~扬花期 Earing-flowing stage	成熟期 Ripening stage	
Se0	371.5 ±12.34 a	1139.4 ±36.65 b	1379.6 ±43.54 b	460.3 ±12.18 a
Se1	366.7 ±17.65 a	1187.6 ±41.59 ab	1402.2 ±50.17 b	457.3 ±17.58 a
Se2	372.6 ±11.55 a	1242.5 ±37.78 a	1477.5 ±32.58 ab	449.7 ±11.89 a
Se3	368.3 ±14.32 a	1254.6 ±30.57 a	1508.4 ±46.89 a	448.7 ±19.03 a
Se4	377.3 ±10.46 a	1223.2 ±48.66 a	1403.6 ±68.90 b	440.2 ±21.52 a

注(Note):同列数据后不同小写字母表示在 5% 水平差异显著 Values followed by different letters in the same column are significantly different at the 5% level.

2.2　莜麦对硒的吸收和转化

从两年的试验结果(表 2)看出,在 5 个处理中,随着硒肥量的增加,莜麦青干草全硒、无机硒和有机硒的含量均得到提高。从硒的存在形态看,莜麦青干草中的硒 71.31% ~ 82.54% 为有机硒,说明莜麦可以把从土壤环境中吸收的无机硒大部分转化为有机硒,即莜麦青干草的硒大多以有机硒的形态存在,但有机硒的转化率有所不同,随着莜麦青干草硒含量的提高,有机硒的转化率下降。从全硒的含量可见,莜麦青干草硒的含量随着硒基施量的增加而得到显著提高,表现出显著的正相关关系,Se4 处理(1.41 mg/kg)的全硒含量最高,与对照相比了提高 340.63%($P < 0.05$),说明硒在青干草的富集效果最佳。因此可以认为,莜麦对硒有较强的吸收和转化能力,莜麦从土壤中吸收的硒大都在根系内转化为有机硒,并向上运输,所以莜麦青干草中的硒主要

表2 两年内不同处理下莜麦青干草硒的形态及对硒转化率的分析

Table 2 Analysis of the forms and transformation of selenium in naked oat hays in different treatments for 2 years

试验处理 Treatments	硒含量 Se content(mg/kg)			有机硒的转化率(%) Ratio of organic Se transformation
	全硒 Total Se	无机硒 Inorganic Se	有机硒 Organic Se	
Se0	0.32 ±0.02 e	0.06 ±0.00 d	0.26 ±0.01 d	81.25 ±2.24 ab
Se1	0.63 ±0.04 d	0.11 ±0.01 d	0.52 ±0.02 c	82.54 ±1.58 a
Se2	0.94 ±0.04 c	0.21 ±0.01 c	0.73 ±0.02 b	77.66 ±2.08 b
Se3	1.22 ±0.05 b	0.35 ±0.01 b	0.87 ±0.03 b	71.31 ±1.90 c
Se4	1.41 ±0.07 a	0.42 ±0.02 a	0.99 ±0.03 a	70.21 ±1.68 c

注(Note):同列数据后不同小写字母表示在5%水平差异显著 Values followed by different letters in the same column are significantly different at the 5% level.

以有机硒的形态存在;基施的硒肥越多,莜麦青干草硒的含量越高,但有机硒的转化率越低。

2.3 施硒对莜麦中微量元素含量的影响

2.3.1 施硒对莜麦青干草中4种微量元素含量的影响 基施硒肥能显著提高莜麦青干草中Cu和Zn的含量,而对Fe和Mn的含量影响不大(表3)。Se4处理(硒肥基施量为1143 g/hm^2)Zn在青干草的富集效果最佳,其含量较对照提高15.38%($P<0.05$);Se2和Se3处理,即在施硒肥765~954 g/hm^{2}范围内,Zn的富集也有显著的效果,但Se2,Se3和Se4处理间差异不显著;Se3处理(硒肥基施量在954 g/hm^2)Cu在青干草的富集效果最佳,其含量较对照提高9.31%($P<0.05$)。

表3 两年内不同处理下莜麦扬花期青干草中微量元素成分的比较(mg/kg)

Table 3 Comparison of nutrient contents of trace elements of naked oat hays at the flowering stage in different treatments for 2 years

试验处理 Treatments	Fe	Mn	Cu	Zn
Se0	80.23 ±3.16 a	22.21 ±1.22 a	7.20 ±0.33 b	10.21 ±0.85 b
Se1	81.32 ±1.68 a	22.65 ±0.87 a	7.33 ±0.12 ab	10.18 ±0.69 b
Se2	82.04 ±4.69 a	22.05 ±0.95 a	7.42 ±0.23 ab	11.37 ±0.56 a
Se3	83.76 ±3.76 a	21.87 ±1.12 a	7.87 ±0.08 a	11.56 ±0.68 a
Se4	81.22 ±4.53 a	21.82 ±1.03 a	7.15 ±0.16 b	11.78 ±0.46 a

注(Note):同列数据后不同小写字母表示在5%水平差异显著 Values followed by different letters in the same column are significantly different at the 5% level.

2.3.2 施硒对莜麦果实中5种微量元素含量的影响 基施硒肥能显著提高莜麦果实中的Fe、Cu、Zn和Se的含量,对Mn的含量影响不大(表4)。当施硒肥量在954~1143 g/hm^{2}条件(Se3和Se4)下,效果最佳,莜麦果实中Se、Fe、Cu和Zn的含量分别比对照(Se0)平均提高18.75%($P<0.05$)、8.34%($P<0.05$)、7.19%($P<0.05$)和4.89%($P<0.05$),在Se3处理(施硒肥在954 g/hm^2)的情况下,Se、Cu和Zn含量达到最佳含量,分别比对照提高18.75%($P<0.05$)、7.92%($P<0.05$)、5.75%($P<0.05$);在Se2处理(施硒肥765 g/hm^2)的情况下,Fe的含量达到最高值,和对照相比提高了10.19%。进一步试验证明,土壤施硒量与莜麦青干草和果实中Fe、Cu、Zn和Se等微量元素累积量之间有一定的相关性(表5)。

莜麦果实中硒的含量并没有随着施硒肥量的增加而得到显著提高,而是当施硒肥量增加到一定水平后其果实中含硒量不再增加,说明果实对硒的吸收具有饱和效应。从总的微量元素含量看,当施硒肥量达到954 g/hm^{2}时,各微量元素含量均达到理

表 4　两年内不同处理下莜麦果实中微量元素成分的比较(mg/kg)

Table 4　Comparison of contents of trace elements of naked oat grains in different treatments for 2 years

处理 Treatment	Fe	Mn	Cu	Zn	Se
Se0	85.13 ±3.65 b	53.03 ±2.37 a	8.21 ±0.24 b	30.28 ±1.54 b	0.48 ±0.02 c
Se1	92.10 ±1.89 a	52.32 ±1.78 a	8.47 ±0.31 ab	30.24 ±2.03 b	0.51 ±0.01 b
Se2	93.88 ±2.88 a	53.36 ±3.04 a	8.65 ±0.28 ab	31.45 ±2.16 ab	0.55 ±0.03 a
Se3	91.17 ±3.76 a	55.36 ±2.59 a	8.86 ±0.36 a	32.02 ±2.55 a	0.57 ±0.03 a
Se4	93.24 ±1.67 a	55.18 ±2.87 a	8.74 ±0.41 a	31.50 ±1.48 ab	0.57 ±0.02 a

注(Note):同列数据后不同小写字母表示在5%水平差异显著 Values followed by different letters in the same column are significantly different at the 5% level.

表 5　施硒量(Y)与莜麦青干草和果实中累积量(x)之间的曲线方程

Table 5　Curvilinear equations between the Se fertilizer applied rate(Y) and the accumulative amounts(x) of Se in hays or grains of naked oat

微量元素 Trace element	植株部位 Position	曲线方程 Curvilinear equation	R^2
Se	干草 Hay	$Y1 = 1.3658x^2 + 3.1678x + 0.4847$	0.9723**
	果实 Grain	$Y2 = 0.5243x^2 + 2.8564x + 0.3954$	0.8216**
Fe	干草 Hay	$Y1 = 0.0234x^2 + 0.3201x - 0.1311$	0.2112
	果实 Grain	$Y2 = 0.2424x^2 + 1.3476x + 0.3126$	0.8087*
Mn	干草 Hay	$Y1 = 0.2564x^2 - 1.3042x + 0.4318$	0.1652
	果实 Grain	$Y2 = 0.2134x^2 + 0.1378x - 0.2689$	0.2403
Cu	干草 Hay	$Y1 = 1.7424x^2 + 3.5423x - 0.3674$	0.7163*
	果实 Grain	$Y2 = 1.3424x^2 + 2.5123x + 0.3306$	0.7646*
Zn	干草 Hay	$Y1 = 1.0424x^2 + 1.5423x - 0.4635$	0.8103*
	果实 Grain	$Y2 = 0.6627x^2 + 4.6785x + 1.0654$	0.7048*

注(Note):x—施硒量 Se applied rate; Y1—莜麦干草含硒量 Se in hays; Y2—莜麦果实含硒量 Se in grains. * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著 Indicate significance at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

想水平,超过此水平,青干草和果实中的硒含量增加不明显。施硒量与莜麦中 Fe、Cu、Zn 和 Se 的累积量之间有明显的相关性。

3　讨论

3.1　莜麦对硒的吸收和转化

本试验表明,在缺硒的莜麦土壤上基施硒肥后,莜麦根系能从土壤以及肥料中大量吸收无机态硒,其中大部分硒在根内很快转化为有机态,并随少量的无机硒向上运输到茎叶,从而显著地提高莜麦青干草中有机硒、无机硒和全硒的含量。在一定硒肥基施范围内,莜麦叶片中全硒、无机硒和有机硒的含量会随着硒肥基施量的增加而提高,但有机硒的转化率和硒肥的利用率却出现明显的下降趋势,这与 Arvy[7] 和 Riikka 等[19] 的研究结果相似。Arvy 认为,豆科植物根系从土壤中吸收的硒酸盐在 3 h 内有 50% 运到地上部,而吸收的亚硒酸盐则大部分留在根部并转化为有机态硒,这些有机态硒有少量运到地上部[7]。Riikka 等对小麦和黑麦草研究认为,硒在植物的吸收的同时,存在着转化和循环的过程[19]。另外,田应兵等[20] 也认为,牧草能够很快地将从土壤中吸收的亚硒酸钠转化为有机态的硒,或留在根部,或向地上运输。王晋民等[16] 通过对胡萝卜的研究也有相似的报道。郭孝等[10] 报道,在缺硒的苜蓿土壤上基施硒肥后,随着硒肥的增加,紫花苜蓿青干草中全硒、无机硒和有机硒的含量也分别随

之显著增加,而且紫花苜蓿表现出对硒的奢侈吸收现象。紫花苜蓿不但对硒的吸收和积累量高,而且对硒的利用率也是很高,随着肥料中硒量的增加而利用率也提高。樊文华和李莉[21]研究表明,施硒可明显地提高番茄中全硒和有效硒的含量。

3.2 硒肥基施对莜麦青干草中微量元素含量的影响

本试验还表明,基施硒肥后不但能大幅度提高花期莜麦青干草中Se的含量,而且也能显著地提高干草中Cu和Zn的含量。类似的研究有,Maria[9]在油菜和小麦的研究中也证明,在土壤硒不足的情况下,硒不但关系着植物对大量元素的吸收,而且与Cu和Zn等微量元素的吸收和利用关系密切;张化[22]研究认为,Se和Zn配施不但对春小麦Se和Zn的积累有明显的互作效应,而且有利于春小麦在不同生育期对Cu和Zn等微量元素的吸收和积累;陈铬和刘更另[23]研究发现,Se在生理浓度范围内促进植物对P、K、Ca、Mg、S、Fe、Mn、Cu、Zn和Mo的吸收,在Se毒情况下则相反;胡华锋等[6,24]研究也证明,喷洒硒肥能促进紫花苜蓿对Se、Zn、Cu的吸收,但对Fe的吸收没有显著影响。本研究同时证明,基施硒肥对莜麦青干草中Se、Cu和Zn含量是有一定限度的,当硒肥增加到一定程度,青干草中Se、Cu和Zn含量不再大幅增加,甚至有下降的趋势,这可能是由元素拮抗效应导致的。对此,胡华锋等[24]在苜蓿研究中也有同样结果,认为Zn和Cu的含量与积累量随施Se量的增加而呈先升后降的趋势。吴秀峰等[25]在水稻研究中发现,用较低浓度(0.10 mg/L)的Se处理时,叶片中Fe、Mn和Zn的含量呈现提高的趋势;高浓度Se处理,水稻幼苗叶片Fe、Mn、Zn含量呈降低趋势。

3.3 硒肥基施对莜麦果实中微量元素含量的影响

该研究表明,基施硒肥也能显著提高莜麦果实中Fe、Cu、Zn和Se的含量,而对Mn的含量影响不大,当硒肥基施量在954 g/hm^{2}的情况下,Cu、Zn和Se的含量分别比对照提高7.92%($P<0.05$)、5.75%($P<0.05$)和18.75%($P<0.05$)。当硒肥基施量在765 g/hm^{2}的情况下,莜麦果实中Fe的含量达到最佳水平,比对照提高10.19%($P<0.05$)。Riikka等[19]通过对小麦的研究认为,果实是硒最丰富的部位,吸收的硒中有50%的硒累积到果实中,而且施硒肥有利于小麦对其他元素的吸收。昝亚玲等[26]在黄土高原低Se区典型土壤上的研究表明,在玉米和大豆的耕地上基施或喷施硒锌铁肥时,果实中Se、Zn和Fe含量明显增加。宋家永等[27]报道,在小麦灌浆初期和中期,叶面喷施硒肥能提高果实中Se的含量,而且表现出Se向籽粒富集的特征。周鑫斌等[28]指出,Se在植株各器官中的分配不同,富Se水稻能够把根部和叶中的Se更多地向籽粒运输。张晶等[29]报道,叶面喷Se可明显提高水稻中Se含量,大米Se含量随喷Se浓度的增加而增加,喷施100 mg/kg浓度的亚硒酸钠可满足富Se大米的要求。李登超等[30]在小白菜上的研究表明,硒肥能增加小白菜茎叶中N、Ca、Mg、Mn、Zn含量,降低P、K、S元素的含量;无论是小白菜地上部还是地下部,体内Se的含量均与营养液中Se的浓度呈显著的正相关。植物地上部Se的含量以有机态Se为主,有机Se转化率均在80%以上。

3.4 硒肥基施对莜麦产量的影响

本试验表明,基施硒肥能显著提高莜麦的青干草产量,而且基施量与青干草产量之间成正相关,当基施量为954 g/hm^{2}的情况下,效果最佳;基施硒肥会影响到莜麦的果实产量,主要表现在基施当年,对第2年的影响不显著。在青干草生产方面,胡华锋、张洪荣等认为,硒肥能显著提高莜麦的青干草产量,这与他俩的研究结果相似[6,31],在果实生产方面,昝亚玲等和王金英等认为,适当施硒能够提高农作物的果实产量[26,32]。该结果与此有明显的差异,可能是由所选的作物类型、施肥方式以及土壤类型的差异等多种因素导致的。

4 结论

莜麦对硒有较强的吸收和同化能力,可以从肥料中大量吸收无机硒,并大多转化为有机硒向上运输到茎叶和果实中,这不但可以提高莜麦青干草和果实中硒的含量,而且能够通过硒的代谢调节,促进植物对Cu、Zn和Fe的微量元素的吸收和富集,而且土壤施硒量与莜麦草果中Fe、Cu、Zn和Se等微量元素累积量之间有一定的相关性。当硒肥基施量在954 g/hm^{2}的情况下,青干草和果实对Cu、Zn和Se的吸收和富集效果最佳,超过这个基施量,草果中微量元素增加不显著或者出现降低趋势。硒肥既能适度提高莜麦青干草中Fe的含量,又能显著提高莜麦果实中Fe的含量,最佳的推荐基施量为765 g/hm^2,青干草和果实对Fe的吸收具有饱和效应,超过这个基施量,效果有所下降。总之,莜麦对硒肥有较强的吸收和转化能力,适当地基施硒肥有利于提高扬花期青干草中Cu、Zn和Se的含量和果实中

Fe、Cu、Zn 和 Se 的含量，理想的基施量为 765 ～ 954 g/hm^2。且基施硒肥能显著提高莜麦的青干草产量，但对果实产量影响不大。

参 考 文 献：

[1] 王春霞，孙领霞，李明伟，等. 河北省多种粮豆作物中微量元素锰、锌、铜、铬的测定[J]. 光谱实验室，1999，16(2)：45-48.
Wang C X, Sun L X, Li M W *et al*. Determination of Mn, Zn, Cu, Cr microelements containing in many grain and bean of Hebei province[J]. Chin. J. Spectrosc. Lab., 1999, 16(2): 45-48.

[2] 杨志强. 微量元素与动物疾病[M]. 北京：中国农业科技出版社，1998. 75-77.
Yang Z Q. Trace element and animal disease[M]. Beijing: China Agricultural Scientech Press, 1998. 75-77.

[3] 杨建锋. 微量元素与糖尿病[J]. 内蒙古中医药，2010，(20)：45-47.
Yang J F. Trace elements and diabets[J]. Nei Mongol J. Trad. Chin. Med., 2010, (20): 45-47.

[4] 陆景陵. 植物营养学(上)[M]. 北京：中国农业大学出版社，2003. 124-125.
Lu J L. Plant nutrition science[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2003. 124-125.

[5] Rotruck J T, Pope A L, Ganther H E *et al*. Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase[J]. Sience, 1973, 179: 588-590.

[6] 胡华锋，介晓磊，刘芳. 硒对紫花苜蓿产草量和品质的影响[J]. 草地学报，2008，16(3)：502-503.
Hu H F, Jie X L, Liu F. Effect of selenium (Se) on herbage yield and quality of alfalfa[J]. Acta Agric. Sin., 2008, 16(3): 502-503.

[7] Arvy M P. Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants (phaseolus vulgaris)[J]. J. Exp. Bot., 1993, 23: 279-291.

[8] Trine A. S, Susanne E G. Use of diffusive gradients in thin films to predict potentially bioavailable selenium in soil[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 2008, 39(3): 587-602.

[9] Maria F, Andrzej K. The uptake and translocation of macro- and microelements in rape and wheat seedlings as affected by selenium supply level[J]. Plant Soil, 2010, 336(1): 303-312.

[10] 郭孝，介晓磊，李明，等. 硒以及硒钴配合施用对紫花苜蓿生长的调控效应[J]. 中国草地学报，2008，30(6)：22-25.
Guo X, Jie X L, Li M *et al*. Regulating effects of selenium and its combining application with cobalt to the growth of alfalfa[J]. China J. Grassland, 2008, 30(6): 22-25.

[11] 李明. 2 种莜麦在河南的生长特点与生产水平的分析[J]. 草业科学，2009，26(11)：42.
Li M. Studies on growth characters and production levels of 2 species of naked oat(*Avena nuda* Linn) in Henan province[J]. Pratacult. Sci., 2009, 26(11): 42.

[12] 肖文一，陈德新，吴渠来. 饲用植物栽培与利用[M]. 北京：中国农业出版社，1991.
Xiao W Y, Chen D X, Wu Q L. Forage plant cultivation and utilization[M]. Beijing: China Agricuture Press, 1991.

[13] 罗汝英. 土壤学[M]. 北京：中国林业出版社，1990.
Luo R Y. Soil science [M]. Beijing: China Forestry Press, 1990.

[14] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京：科学出版社，1983.
Agticultural Chemisty Professional Concil of Soil Science Society of China. Common analytical methods of soil agricultural chemsty [M]. Beijing: Science Press, 1983.

[15] 尚庆茂，李平兰，高丽红. 水培生菜对硒的吸收和转化[J]. 园艺学报，1997，24 (3)：255-258.
Shang Q M, Li P L, Gao L H. Selenium uptake and inversion by dyoponic lettuce[J]. Acta Hortic. Sin., 1997, 24(3): 255-258.

[16] 王晋明，赵之重，李国荣. 硒对胡萝卜硒量、产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2006，12(2)：240-244.
Wang J M, Zhao Z. Z, Li G R. Effects of selenium application on the selenium content, yield and qualities of carrot[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12 (2): 240-244.

[17] 连槿，欧阳英. 石墨炉原子吸收法测定饲料中的硒[J]. 广东饲料，2004，13(4)：41-42.
Lian J, Ouyang Y. Determining the selenium in feed by graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Guangdong Feed, 2004, 13(4): 41-42.

[18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法[M]. 北京：中国农业科技出版社，2000.
Lu R K, Analytic method of agricultural chemistry on soil[M]. Beijing: China Agricultural Scientech Press, 2000

[19] Riikka K, Marja T, Helin H. Plant availability of soil selenate additions and selenium distribution within wheat and ryegrass [J]. Plant Soil, 2010, 333(1): 301-313.

[20] 田应兵，陈芬，熊明标，宋光煜. 黑麦草对硒的吸收、分配与积累[J]. 植物营养与肥料学报，2005，11(1)：122-127.
Tian Y B, Chen F, Xiong M B, Song G Y. Uptake, distribution and accumulation of selenium by ryegrass[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(1): 122-127.

[21] 樊文华，李莉. 硒钴配施对番茄产量、番茄红素及硒、钴含量的影响[J]. 山西农业科学，2009，37(10)：19-22.
Fan W H, Li L. Effect of selenium and cobalt combined fertilization to the yield and lycopene and selenium and cobalt content in tomato[J]. J. Shanxi Agric. Sci., 2009, 37(10): 19-22.

[22] 张化. 锌、硒及其互作对春小麦产量、养分吸收和锌、硒富集的影响[D]. 呼和浩特：内蒙古农业大学硕士论文，2005.
Zhang H. Effects of selenium、zinc and their interaction on the yield、nutrient absorption of spring wheat and enrichment in kernels[D]. Huhhot: MS thesis, Inner Mongolia Agricultural University, 2005.

[23] 陈铭，刘更另. 高等植物的硒营养及在食物链中的作用(一)[J]. 土壤通报，1996，27(2)：88-89.

Chen M, Liu G L. Selenium nutrition and functions in food chains of higher plant (first)[J]. Chin. J. Soil Sci., 1996, 27(2): 88-89.

[24] 胡华锋, 介晓磊, 刘世亮, 等. 喷施微肥对紫花苜蓿微量元素含量及积累量的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(1): 15-19.
Hu H F, Jie X L, Liu S L *et al*. Effect of spraying mixed trace elements on trace element content and accumulating quantity of Medicago sativa[J]. Acta Pratac. Sin., 2008, 17(1): 15-19.

[25] 吴秀峰, 陈平. 硒对水稻幼苗生长和生理特性的影响[J]. 农业与技术, 2004, 24(5): 8-11.
Wu X F, Chen P. Effects of selenium on growth and some physiological characteristics of rice seedlings [J]. Agric. Technol., 2004, 24(5): 8-11.

[26] 昝亚玲, 王朝辉, 毛晖. 施用硒、锌、铁对玉米和大豆产量与营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 252-256.
Zan Y L, Wang Z H, Mao H. Effect of Se, Zn and Fe application on yield and nutritional quality of maize and soybean[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(1): 252-256.

[27] 宋家永, 李敬光, 王永华, 等. 喷施硒肥对小麦生理特性、子粒硒含量的影响[J]. 河南农业大学学报, 2005, (2): 14-16.
Song J Y, Li J G, Wang Y H *et al*. Effect of applying selenium fertilizer on wheat physiological characteristics and the grain selenium content[J]. J. Henan Agric. Univ., 2005, (2): 14-16.

[28] 周鑫斌, 施卫明, 杨林章. 富硒与非富硒水稻品种对硒的吸收分配的差异及机理[J]. 土壤, 2007, 39(5): 731-736.
Zhou X B, Shi W M, Yang L Z. Genotypical differences and characteristics of Se uptake and accumulation in rice[J]. Soil, 2007, 39(5): 731-736.

[29] 张晶, 李向民, 孙晶. 叶面喷硒对水稻含硒量的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, (20): 12031-12033.
Zhang J, Li X M, Sun J. Effect of foliage dressing Se fertilizer on Se content of rice[J]. Anhui Agric. Sci., 2011, (20): 12031-12033.

[30] 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]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 353-358.
Li D C, Zhu Z J, Xu Z H *et al*. Effects of selenium on the growth and nutrient absorption of pakchoi[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2003, 9(3): 353-358.

[31] 张洪荣, 周志宇. 微量元素对紫花紫花苜蓿的效应[J]. 草业科学, 1990, (2): 68-69.
Zhang H R, Zhou Z Y. The effect of trace elements on the yield of lucerne[J]. Pratac. Sci., 1990, (2): 68-69.

[32] 王金英, 江川, 郑金贵. 硒肥和锌肥对水稻产量及糙米矿质营养的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(3): 217-220.
Wang J Y, Jiang C, Zheng J G. Study on the effect of Se and Zn fertilizer on rice field and mineral nutrition in brown rice[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2006, 22(3): 217-220.