

## 土壤施硒对燕麦硒含量及产量的影响

铁梅<sup>1</sup> 韩杰<sup>1</sup> 李宝瑞<sup>1</sup> 刘阳<sup>1</sup> 刘博伟<sup>2</sup> 张同成<sup>3</sup> 李华为<sup>4\*</sup>

(1. 辽宁大学 环境学院, 沈阳 110036;

2. 加拿大寒带农业高新科技研究中心, 沈阳 110036;

3. 沈阳市农业科学院, 沈阳 110034;

4. 沈阳师范大学 化学与生命科学学院, 沈阳 110034)

**摘要** 采用不同含硒量的硒肥进行燕麦土壤施硒的田间试验,研究硒施入量对硒在燕麦中的分布、燕麦产量、燕麦品质及硒在燕麦中存在形态的影响。结果表明:1)土壤施硒可以明显提高灌浆期和成熟期燕麦茎和籽粒中硒的含量。2)土壤中施加硒 10~80 mg/kg 时,燕麦株高和产量均比空白组有所增加。在施硒量为 40 mg/kg 时,燕麦株高和产量均达到最大值,分别为 125.3 cm 和 7.51 kg。而后随着土壤中施加硒量的增加,燕麦株高和产量均比空白组有所下降。3)灌浆期施硒量为 10~80 mg/kg 时,茎和籽粒中粗蛋白的含量较对照组高,而粗纤维的含量较对照降低。施硒量超过 80 mg/kg 时,燕麦中粗蛋白和粗纤维含量较对照组未有显著变化,成熟期时,燕麦籽粒中粗蛋白和粗纤维含量高于茎中含量,变化趋势和灌浆期相同。4)富硒燕麦茎和籽粒中硒的形态分布为碱溶态>盐溶态>Tris-HCL 态>水溶态>酸溶态。

**关键词** 硒;燕麦;品质;硒形态

中图分类号 S 512.6

文章编号 1007-4333(2015)05-0074-07

文献标志码 A

## Effects of selenium fertilization on the selenium content, yield and quality of oat

TIE Mei<sup>1</sup>, HAN Jie<sup>1</sup>, LI Bao-rui<sup>1</sup>, LIU Yang<sup>1</sup>, LIU Bo-wei<sup>2</sup>, ZHANG Tong-cheng<sup>3</sup>, LI Hua-wei<sup>4\*</sup>

(1. College of Environment, Liaoning University, Shenyang 110036, China;

2. Research Centre of Canadian Figid-Zone Agriculture Technology at Liaoning University, Shenyang 110036, China;

3. Shenyang Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110034, China;

4. College of Chemical and Life Sciences, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China)

**Abstract** Field experiment was designed to study the effect of applying selenium on the soil of oat on yield selenium content and quality of oat. The results showed that: 1) Add selenium to the soil could significantly improve the total selenium content of oat. 2) When the selenium content was 10 – 80 mg/kg, the height and yield of oat compared with the control group had increased. When the selenium content was 40 mg/kg, the height and yield of oat reaches a minimum value, the height could reach 125.3 cm, the yield could reach 7.51 kg. Then with the increase in concentration of selenium in soil the height and yield of oat compared with the control group had reduced. 3) In grain filling stage when the selenium content was 10 – 80 mg/kg, the crude protein of stem and grain was higher than control group content, and crude fiber in stems and seeds lower than the control. When applying a gradient of more than 80 mg/kg crude protein and fiber content of oats than the control group had no significant change. Crude protein and fiber content of oats in mature group were same with filling stage. 4) Distribution of selenium in oat was alkali-soluble fraction>salting soluble>Tris-HCL soluble>water soluble>acid soluble.

**Key words** selenium; oat; quality; selenium form

收稿日期: 2014-08-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(30671176); 辽宁省教育厅项目(2008227)

第一作者: 铁梅, 教授, 博士, 主要从事土壤、农作物、食品中微痕元素的检测方法、含量分布、存在形态、迁移转化规律等研究, E-mail: 1154061312@qq.com

通讯作者: 李华为, 教授, 主要从事农作物生物富硒技术与推广, E-mail: 851616401@qq.com

硒是动植物和人体必需的微量元素<sup>[1]</sup>,兼具营养、疾病治疗和致毒等效应<sup>[2]</sup>。我国有近三分之二面积的缺硒地区,据中国营养学会报道,我国13个省市的成人每日硒摄入量仅为26  $\mu\text{g}$ ,与中国营养学会推荐的硒每日最低摄入50  $\mu\text{g}$ 相差较大<sup>[3]</sup>。土壤缺硒是造成食物链硒缺乏的根本原因,生产富硒作物作为有机硒源,通过土壤-植物-动物-人这一食物链最终达到补硒的目的<sup>[4-5]</sup>。

目前国内有采用土壤施硒的方式,在萝卜、马铃薯和烟草等作物进行试验<sup>[6-9]</sup>,也有通过水培施硒途径来探讨大蒜对硒的积累特性<sup>[10]</sup>。燕麦是草料兼用,具有产量高和适用性强等特点<sup>[11-12]</sup>,目前国内采用土壤施硒的方式在燕麦的试验较少,因此提高燕麦中硒的含量对于提高燕麦的经济价值有着重要意义。燕麦茎通常作为牧草,籽粒作为食物。考察燕麦茎和籽粒中硒含量及燕麦中不同形态硒在不同介质中的分布规律,有助于揭示硒元素在燕麦生物体中的迁移转化规律,以及燕麦不同部位对硒的富集特性。本试验拟通过研究硒肥用量对燕麦产量、燕麦品质及燕麦不同形态硒含量和积累量的影响,以期生产优质高产的富硒牧草提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区状况

采用大田试验的方法,试验地点在辽宁省沈阳市于洪区光辉现代农业示范区(农博乐园)。该区属于温带季风气候,雨热同季、降水集中、日照丰富,全年平均气温6.8~8.0  $^{\circ}\text{C}$ ,农耕地 $\geq 7.0$   $^{\circ}\text{C}$ ,积温平均为3 281  $^{\circ}\text{C}$ ,7月气温最高,月平均气温为24.6  $^{\circ}\text{C}$ ,日照时数平均为2 372.5 h,无霜期为146~163 d,年降水量平均为721.9 mm,土壤质地为棕壤。土壤理化性质为:有机质含量1.11%,pH为7.89,碱解氮为110.65 mg/kg,速效钾为120.15 mg/kg,速效磷为2.24 mg/kg,有效硒为0.06 mg/kg。

### 1.2 材料

燕麦品种为坝蓂1号。所用硒肥为以分析纯亚硒酸钠( $\text{NaSeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )为主要硒源的自制肥料。

### 1.3 试验设计

采用大田小区试验、土壤施硒的方法。设置10个硒肥基施用量处理,分别为0、10、20、40、60、80、100、150、200和250 mg/kg,每处理重复3次。小区内部设保护行,以消除边际效应。小区间隔0.5 m,做人行道,同时做小区间的空间隔离。于

2012年6月进行深翻、施肥和播种。

### 1.4 采样方式

按照燕麦的生长周期,分别在灌浆期(35 d)和成熟期(130 d)将燕麦植株以及籽粒全部采集待用。

### 1.5 样品预处理

燕麦的预处理:供试样品取样,用大量自来水冲洗,再以蒸馏水洗涤3次,最后用超纯水冲洗3遍,沥干,装入塑料瓶中,置于-80  $^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱冷冻24 h,再移至真空冷冻干燥系统中,在真空度3.5 Pa、-55  $^{\circ}\text{C}$ 连续48 h冷冻干燥。干燥好的样品粉碎均匀,得富硒燕麦干粉,装入自封袋,密封,放入干燥箱备用。

### 1.6 测定项目及方法

株高:采用卷尺测量,每组处理重复3次,测量10株小麦的高度。

重量:测量10 cm $\times$ 10 cm样方中燕麦的生物产量,计算整个样方内燕麦的总产量。

燕麦中粗蛋白(Crude protein of oats, CP)的测定:考马斯亮蓝G-250法(Coomassie brilliant blue G-250)

粗纤维(Crude fiber of oats, CF)的测定:采用重量法(GB/T5009.10-2003)

样品中总硒的测定:样品经硝酸+双氧水消化体系微波消解,用石墨炉原子吸收分光光度法测定样品中总硒的含量<sup>[13]</sup>。

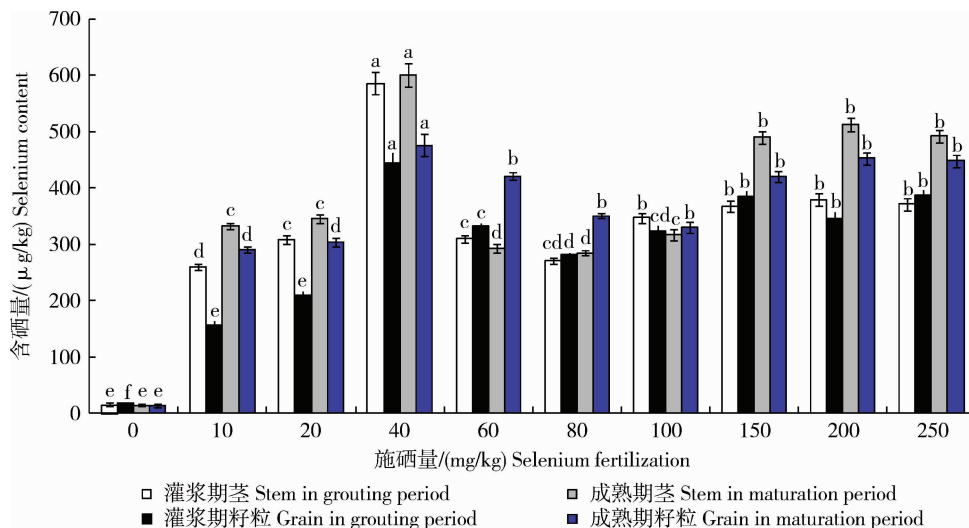
### 1.7 数据分析

试验数据采用Excel作图 spss19.0分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤施硒对燕麦不同时期含硒量的影响

如图1所示,在一定条件下,燕麦具有很强的富集硒的能力,增施硒肥可以显著提高灌浆期和成熟期燕麦茎和籽粒的硒含量。灌浆期和成熟期,施硒量在10~250 mg/kg时,土壤中施加硒的燕麦的茎和籽粒的含硒量比未添加硒肥分别提高14.7%~36.28%、8.1%~27.71%和10.81%~41.12%、10.55%~35%。当土壤施硒量达到40 mg/kg时,灌浆期和成熟期燕麦茎和籽粒中含硒量达到最大值,分别为585.54、443.64、600.71和476.20  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。由此说明,适量的硒会促进燕麦中茎和籽粒硒含量的积累,较高浓度的硒不利于燕麦中茎和籽粒硒含量的积累。



不同字母代表 5% 水平显著差异。表 1、图 2 和 3 同。

Different letters represent significant differences at 5% level. The same as following table 1, figure 2 and 3.

图 1 施硒对燕麦含硒量的影响

Fig. 1 Effect of selenium fertilization application on oat selenium concentration

## 2.2 土壤施硒对燕麦产量的影响

由表 1 可知,施硒量小于 80 mg/kg 时,对燕麦有一定的增产作用,与对照组比较燕麦增产 2.5%~18.32%。施加硒为 40 mg/kg 时,燕麦产量达到最高值,差异显著,而后随着施硒量的增长,产量又逐渐下降,但仍比对照组产量高。当施

加硒超过 80 mg/kg 时,燕麦出现减产现象,相较于对照组,燕麦减产为 5.12%~11.13%,施硒量越多则减产幅度越大。由此可见,适量施硒能够增加燕麦产量,较高施硒量对燕麦产量有一定的抑制作用,导致减产的原因可能是过量施硒导致的毒害作用。

表 1 土壤施硒对燕麦株高和产量的影响

Table 1 Effect of applying sodium selenium in soil on yield and properties of oats

施硒量/(mg/kg) Selenium fertilization	株高/cm Height	小区产量/kg Yield	总产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Total yield	增产率/% Yield increasing rate
0	115.2 c	5.86	4 880 c	0
10	115.5 c	6.00	5 002 c	2.50
20	119.1 b	6.41	5 342 b	9.46
40	125.3 a	7.51	5 762 a	18.32
60	117.7 bc	6.50	5 416 b	10.98
80	119.4 b	6.32	5 270 b	7.99
100	111.7 d	5.56	4 630 d	-5.12
150	110.3 d	5.49	4 575 de	-6.25
200	108.6 d	5.30	4 421 e	-9.41
250	106.1 d	5.19	4 322 e	-11.13

### 2.3 土壤施硒对燕麦品质的影响

如图 2(a)所示,灌浆期低施硒量能提高燕麦中粗蛋白的含量,施硒量在 10~80 mg/kg 时,茎和籽粒中粗蛋白的含量明显高于对照组。当施硒量在 40 mg/kg 时,茎和籽粒中粗蛋白含量达到最大值,分别为 8.7%和 8.6%,较对照组提高 1.7 和 1.28 倍。施硒量超过 80 mg/kg 时,燕麦中粗蛋白含量较对照组未有显著变化。燕麦处于灌浆期期间,营养物质开始由茎向籽粒中转移,茎中粗蛋白的含量

整体高于籽粒中粗蛋白的含量。

同时,低施硒量降低燕麦中粗纤维的含量,施硒量在 10~80 mg/kg 时,茎和籽粒中粗纤维的含量较对照降低(图 2(b)),当施硒量在 40 mg/kg 时,茎和籽粒中粗纤维含量分别为 20.14%和 31.5%,较对照组降低 39%和 7.8%。施硒量超过 80 mg/kg 时,燕麦中粗纤维含量较对照组未有显著变化。茎中粗纤维的含量整体低于籽粒中粗纤维的含量。

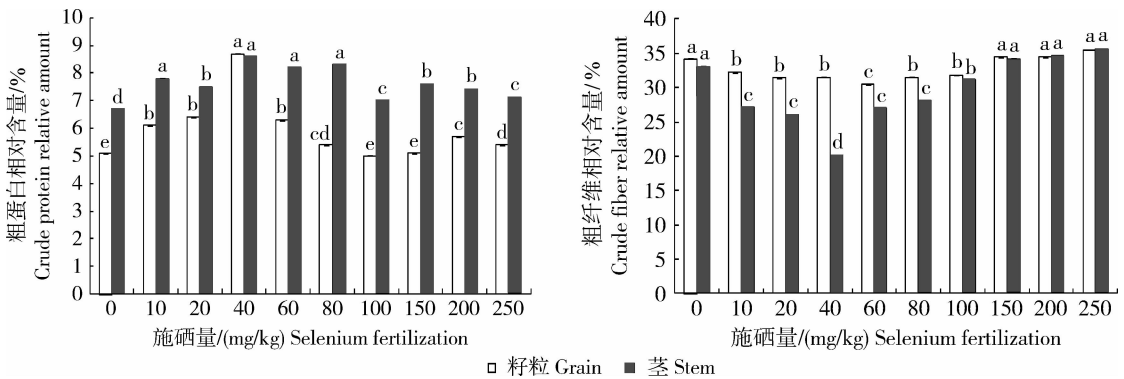


图 2 硒对燕麦灌浆期粗蛋白和粗纤维的影响

Fig. 2 Effects of selenium fertilization on crude protein and crude fiber of oat in filling stage

如图 3 所示,燕麦处于成熟期后,基施硒肥对燕麦的影响主要体现在燕麦籽粒中。燕麦籽粒中粗蛋白和粗纤维含量高于茎中含量,当施硒在 40 mg/kg

时,籽粒中粗蛋白含量为 9.0%,较对照组提高 1.26 倍,较灌浆期提高 1.04 倍。成熟期整体粗纤维的含量较灌浆期未有显著变化。

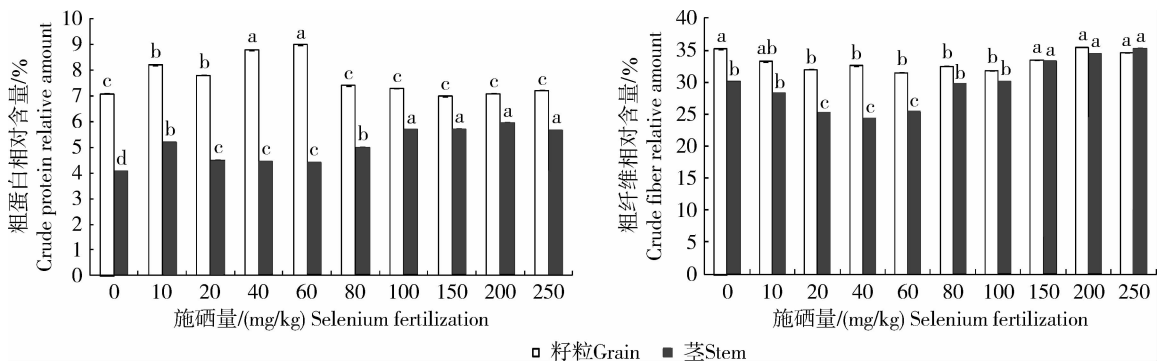


图 3 硒对燕麦成熟期粗蛋白和粗纤维的影响

Fig. 3 Effects of selenium fertilization on crude protein and crude fiber of oat in maturity stage

### 2.4 施加硒肥对燕麦中不同形态硒的影响

水溶态硒主要包括  $SeO_4^{2-}$ 、部分  $SeO_3^{2-}$  和一些可溶性有机硒(如含硒氨基酸和蛋白质等),这部分硒最易发生迁移和被生物利用。在植物蛋白等有机质存在的情况下,可交换态硒主要是含硒蛋白等可溶性有机硒。可以使用强碱性或强氧化剂溶液,

如  $K_2S_2O_8$ 、 $Na_4P_2O_7$  和 NaOH 溶液等提取有机结合态硒。不同的研究采用不同类型的溶液,但一般都避免使用会破坏与有机态结合硒的提取液。因此近年的研究<sup>[14]</sup>多使用 NaOH 溶液。

由图 4 可知,富硒燕麦茎中硒的形态分布,呈碱溶态>盐溶态>Tris-HCL 态>水溶态>酸溶态;

并且在施硒量为 40 mg/kg 时,富硒燕麦茎中各个形态的硒含量均达到最大值,碱溶态蛋白占总硒的 33.43%,可溶性盐蛋白可以与 NaCl 进行交换硒占 20.1%,Tris-HCL 态蛋白占 16%,水溶性的蛋白、

水溶性的多糖生物大分子、以及可溶于水的无机硒占 10.6%,酸解态占 4.4%,可能为单糖或多糖类。随着土壤中施硒量的增加,富硒燕麦茎中各个形态的硒含量呈现先增加再减少的趋势。

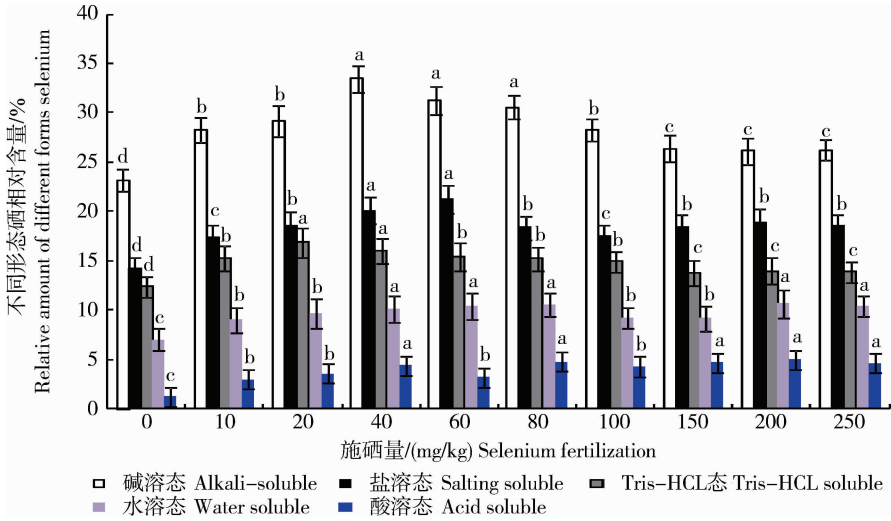


图 4 成熟期燕麦茎中不同形态硒的含量

Fig. 4 Relative amount of different forms selenium of oat stems in maturity stage

成熟期富硒燕麦籽粒中硒的形态,呈碱溶态 > 盐溶态 > Tris-HCL 态 > 水溶态 > 酸溶态 (图 5)。相对于茎,籽粒中的碱溶态硒和 Tris-HCL 态

硒的含量 > 茎中的碱溶态硒和 Tris-HCL 态硒的含量。水溶态、盐溶态和酸溶态相对于茎中没有显著变化。

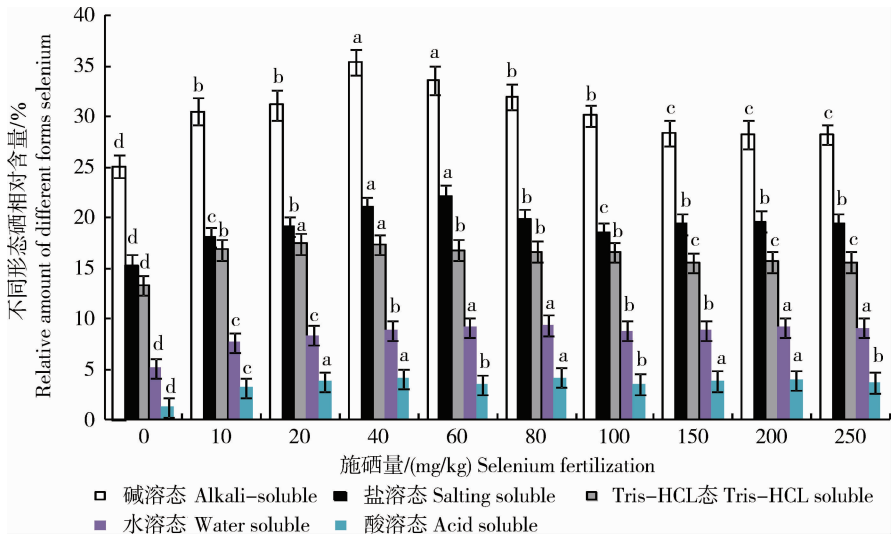


图 5 成熟期燕麦籽粒中不同形态硒的含量

Fig. 5 Relative amount of different forms selenium of oat grains in maturity stage

碱溶态硒大部分是以共价键结合的形式存在于多糖和蛋白的分子中,以游离的生物小分子形式存在的硒较少,这些含硒生物大分子化合物在弱酸、微碱环境下一部分被水解变成可溶性、易于人体吸收

的含硒小分子化合物,大部分进入人体后将通过各种消化、水解酶的作用分解成易于人体吸收的单糖、寡糖及各种氨基酸等生物小分子,这些小分子可直接参与组织细胞的代谢活动。在燕麦 Tris-HCL 溶

态和盐溶态的硒含量相对都较高,表明在这些介质中以游离的生物分子形式存在的硒的溶解度较大,其生物有效性、人体利用率较高。

### 3 讨论

通过对燕麦的株高、产量、粗蛋白、粗纤维和硒总量等指标的分析,土壤施硒可显著提高燕麦中硒的含量。总体而言,硒在茎和籽粒中的相对含量都有所提高,这说明燕麦的根部从土壤中吸收硒元素后便向上运输,在茎和籽粒中均有积累。这与翁伯琦等<sup>[15]</sup>研究的结果一致:施硒能提高圆叶决明的植株生长、品质和根瘤固氮能力,植株的硒含量随施硒用量的提高而直线上升,增幅高达 302.7%~1178.4%。随着生长发育时期的延长,燕麦中硒含量呈逐渐下降趋势,这可能是由于燕麦中干物质质量增加而引起的稀释效应所引起。

硒对植物的效应受剂量影响,适量硒可以促进植株生长、增加产量,但过量硒则抑制其生长并产生毒害作用。本试验硒对燕麦产量影响的研究表明,施硒量在 10~80 mg/kg,可显著提高燕麦株高和产量。粗蛋白含量为作物常用的品质分析指标。施硒可以显著提高麦中粗蛋白的含量,同时降低粗纤维的含量。这与吕选忠等<sup>[16]</sup>报道,硒能提高生菜茎叶的总糖、还原糖、叶绿素和可溶性蛋白质含量,降低粗纤维和亚硝酸盐的含量一致。施硒超过 100 mg/kg 时,施硒量和产量呈负相关的原因也可能是燕麦的耐硒能力在 80 mg/kg 左右,尽管硒的积累在逐渐增加,但此时可能是硒处于奢侈吸收状态,因此产量表现为不断降低趋势。同时通过田间观察发现,随施硒量提高,燕麦逐渐表现出硒毒害症状,植株矮小、叶缘焦黄、叶片细弱、展开度变小等,并且随施硒量增加症状渐重,这与产量的变化特点相符。Maria 等<sup>[17]</sup>发现硒在低浓度时对胡萝卜生长有益,提高胡萝卜产量;而高浓度时则有害,造成减产。

硒影响农作物的品质主要是通过在一定程度上影响作物体内有些有机化合物的水平来实现的。随着施硒量的增大,蛋白质含量与对照相比先增高而后又逐渐降低。这可能由于在低浓度硒时,硒能促进燕麦中蛋白质的合成,高浓度硒时,燕麦表现为硒中毒现象,从而抑制蛋白的合成,且浓度越高对燕麦中蛋白的抑制程度越大。周遗品<sup>[18]</sup>研究发现土壤施硒肥低于 30 mg/kg 时,对水稻的生长发育有促进作用,增产 10%~14%;当施硒肥量高于 30 mg/kg

时,水稻苗期生长受到不良影响,生长发育逐渐缓解,产量开始下降。胡华锋<sup>[19]</sup>研究表明,适量硒可以促进紫花苜蓿生长,提高其品质,但过量硒则抑制其生长并产生毒害。

各种硒化合物不同的生理、生物活性,及其迁移转化规律,不仅取决于硒的总浓度水平,而且同硒存在的化学形态以及不同化学形态下硒化物的浓度水平有着很大关联。有机硒的毒性远比无机硒低,且无机硒不易被人体吸收利用,过量食用在体内积累后对人和动物均有一定的毒害;另外,有机硒特别是植物中普遍存在的硒代蛋氨酸,可在人体中储存,需要时可合成人体必需的硒蛋白。本试验结果表明,燕麦具有将无机硒高度转化为有机硒的能力,其中有机硒主要表现为碱溶态硒蛋白的含量最高,说明硒以硒多肽、硒蛋白甚至是硒核酸等含硒大分子形式储存在燕麦中,可以通过人工强化硒素改良燕麦有机硒的含量,从而达到人体补硒的目的。

### 4 结论

土壤施硒可以提高燕麦中硒的含量,从而使燕麦作为载体进行植物富硒成为可能。在施硒量 10~80 mg/kg 内,可以安全有效地提高燕麦中含硒量和粗蛋白的含量,同时又对燕麦有一定的增产作用。在施硒量为 40 mg/kg 左右,燕麦的产量和含硒量最大值,产量达到 5 762 kg/hm<sup>2</sup>。当硒过量时(>80 mg/kg)时,则对燕麦生长发育产生抑制作用,产量下降,硒含量趋于稳定。在富硒燕麦中硒的形态分布为碱溶态>盐溶态>Tris-HCL 态>水溶态>酸溶态。燕麦中有机硒大分子主要以碱溶态的蛋白形式存在。

### 参 考 文 献

- [1] 张现伟,郑家奎,张涛,等.富硒水稻的研究意义与进展[J].杂交水稻,2009,24(2):5-9
- [2] 周军,白兆帅,徐辉碧,等.硒蛋白与糖尿病:硒的两面性[J].化学进展,2013,25(4):488-494
- [3] 彭祚全,张欣,牟敏,等.富硒食品含硒量范围标准的研究[J].微量元素与健康研究,2013,30(1):41-43
- [4] 杜振宁,史衍玺,王清华.蔬菜对硒的吸收及适宜补硒食用量[J].生态环境,2004,13(2):230-231
- [5] 彭耀湘,陈正法.硒的生理功能及富硒水果的开发利用[J].农业现代化研究,2007,28(3):381-384
- [6] 张琳,梁晓芳,申国明,等.土壤和叶面施硒对烤烟硒积累的影响[J].国烟草科学,2011,32(3):7-60

- [7] 赵占军,赵晓梅,杨淑英,等. 硒对生菜富硒效果及品质的影响[J]. 山西农业科学,2013,41(4):57-59
- [8] 铁梅,刘阳,李华为,等. 硒镉处理对萝卜硒镉吸收的影响及其交互作用[J]. 生态学杂志,2014,33(6):1587-1593
- [9] 殷金岩,耿增超,孟令军,等. 不同硒肥对马铃薯产量、硒含量及品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(9):122-127
- [10] 王晋民,蔡甲福. 不同硒处理对大蒜含硒量及产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(4):342-344
- [11] 路颖,陈浩,杨学,等. 黑龙江省燕麦科研和生产现状及发展建议[J]. 黑龙江农业科学,2010(2):125-127
- [12] 路威. 燕麦品种品质及饮料加工特性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2013
- [13] 张莹. 萝卜中硒的测定及硒与重金属相互作用的研究[D]. 沈阳:辽宁大学,2013
- [14] Kulp T R ,Pratt L M. Speciation and weathering of selenium in Upper Cretaceous chalk and shale from South Dakota and Wyoming, USA[J]. *Geochim Cosmochim Acta*,2004,68(18):3687-3701
- [15] 翁伯琦,黄东风,熊德中,等. 硒肥对豆科牧草圆叶决明生长和植株养分含量及其固氮能力的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(6):1056-1060
- [16] 吕选忠,宫象雷,唐勇. 叶面喷施锌或硒对生菜吸收镉的拮抗作用研究[J]. 土壤学报,2006,43(5):868-870
- [17] 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 and Soil*,2010,336(1):303-312
- [18] 周遗品. 硒在水稻中的积累与分布的研究[J]. 石河子农学院学报,1994,12(1):27-31
- [19] 胡华锋. 硒在土壤-苜蓿-饲料-蛋鸡系统中的迁移效应及其机理研究[D]. 武汉:华中农业大学,2011

责任编辑:袁文业