植物营养与肥料学报 2010,16(4):998 - 1005
Plant Nutrition and Fertilizer Science

硒、钴单施和配施对苜蓿生长及产量的效应研究

郭 孝[1,2], 介晓磊[1,2*], 李 明[2], 刘世亮[1], 李建平[2], 胡华锋[2], 化党领[1]
(1 河南农业大学资环学院,河南郑州 450002; 2 郑州牧业工程高等专科学校,河南郑州 450011)

摘要: 为探讨硒、钴在提高苜蓿生长影响,在河南省沿黄滩区,开展了硒、钴单施和配施下对紫花苜蓿生长以及产量和品质影响研究。结果表明,硒、钴单施和配合基施均能够显著提高苜蓿从现蕾到开花期的净光合能力,降低呼吸消耗,提高单位叶面积干物质的生产速率,有利于苜蓿花前青干草生产和果实发育; 其中,以硒 570 g/hm^2、钴 762 g/hm^2 配施下效果显著,青干草增产 8.06 %,种子千粒重可提高 12.85 %。单施钴和硒钴配施还能促进 0—20 cm 耕层苜蓿根瘤菌的生长和积累,增强苜蓿的固氮能力。说明硒钴合理基施对苜蓿青干草和优质种子生产具有很好的应用效果。

关键词: 硒; 钴; 苜蓿; 产量; 品质
中图分类号: S551$^+$.7.062　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2010)04-0998-08

Effects of single and combined fertilization of selenium and cobalt on growth and yield of alfalfa

GUO Xiao [1,2], JIE Xiao-lei [1,2], LI Ming[2], LIU Shi-liang[1], LI Jian-ping[2], HU Hua-feng[2], HUA Dang-ling[1]
(*1 Resources and Environment Institute of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;*
2 Zhengzhou College of Animal Husbandry Engineering, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: A experiment was conducted to study the effects of selenium(Se) and cobalt(Co) on the growth, yield and quality of alfalfa(*Medicago sativa* L.) in the yellow river beach of Henan. The results show that the rational single and combined applications of Se and Co could promote net photosythetic efficiency, decrease plant respiration loss, enhance production rate of dry matter from ramification to florescence, and raise alfalfa hay production from the ramification to the florescence stages of alfalfa. The application rates of Se being 570 g/ha and Co 765 g/ha combined application have the best effects on the forage production and grain development, and alfalfa hay is increased by 8.06 % and 1000-grain weight is increased by 12.85 %. The Co or Se and Co combined application could also promote growth of root nodule and accumulation of root nodule volumes of alfalfa in a depth of 0-20 cm which could enhance nitrogen fixation. In conclusion, rational basal applications of Se and Co have better effects on fine hay and seed production because they could enhance net photosynthetic capacity, promote growth of alfalfa, raise yields of alfalfa and improve seed quality.

Key words: selenium; cobalt; alfalfa; yield; quality

1957 年美国营养学家 Schwarz[1] 和 Patterso[2] 发现硒对动物具有营养作用后,各国学者相继开始了对硒、钴的研究,并发现这 2 种元素均为动植物的营养元素。硒钴在植物营养方面,能够刺激植物生长,调节叶绿素的合成,增强植物抗氧化作用,清除自由基,强化 GSH-Px 系统,促进产量和质量的提高[3]; 进一步研究发现,硒和钴在植物营养方面具有趋同性和协调性,钴还能增强牧草对硒的吸收,增强硒的生理功能[4]。据刘峥[5]报道,中国土壤全硒平均含量 0.296 mg/kg,接近于世界平均值 0.30

收稿日期: 2009-04-20　　**接受日期**: 2009-09-03
基金项目: 河南省杰出人才创新基金项目(0521001700)部分内容资助。
作者简介: 郭孝(1964—),男,硕士,教授,主要从事饲料生产与草地改良的教学和科研工作。E-mail: hdlf2001@sohu.com
* 通讯作者 E-mail: jiexl@263.net

mg/kg，但由于我国土壤硒含量明显呈偏态分布，全国大约有 25% 的土壤处于缺硒状态，包括潜在性缺硒土壤，总共约占 40%；中国土壤的钴供应状况较好，全国约 10% 的土壤低于临界值，但是由于土壤的钴的有效性受土壤 pH 值制约，pH 值越高，钴的有效性越低。北方土壤虽然全钴含量虽较丰富，但由于 pH 值较高，土壤钴有效性不高[6]。据调查，河南省黄河滩区是硒钴缺乏或者不足的地区，直接影响到牧草生产水平的提高。为此，通过基施硒钴试验，研究其在单施和配施下对紫花苜蓿（*Medicago sativa* L.）生长、产量和品质的影响，为硒钴的合理施用提供科学依据，为黄河滩区苜蓿产业化生产服务。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验在位于河南省郑州市黄河滩区合博草业基地内进行。该地区海拔 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，10℃ 的积温为 4800℃，年均降水量 630 mm，无霜期为220～225 d。土壤为黄河冲积物上发育的壤质潮土。其基础性状为有机质 8.17 g/kg、碱解氮 66.02 mg/kg、速效 K 175.16 mg/kg、速效 P 7.04 mg/kg、有效 Fe 5.32 mg/kg、有效 B 0.4 mg/kg、有效 Mo 0.07 mg/kg、有效 Zn 0.64 mg/kg、有效 Cu 1.35 mg/kg、有效 Mn 10.90 mg/kg。土壤中有效 Se 含量 0.08 mg/kg，有效 Co 0.05 mg/kg，属硒、钴均缺乏的土壤。供试紫花苜蓿品种为亮苜-400（*Medicago sativa* cv. Liangmu No. 400），来自美国，秋眠级数为 4.0。

试验为 2 因子 3 水平的双因子随机设计试验。设：1）对照（S0C0）；2）低硒（S1C0）；3）高硒（S2C0）；4）低钴（S0C1）；5）高钴（S0C2）；6）低硒低钴（S1C1）；7）低硒高钴（S1C2）；8）S2C1（高硒低钴）；9）高硒高钴（S2C2）等 9 个处理。供试硒为亚硒酸钠（$Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$，AR 级）用量为 S1 570 g/hm^2（含 Se 200 g/hm^2），S2 为 765 g/hm^2（含 Se 266 g/hm^2）；供试钴为硫酸钴（$CoSO_4 \cdot 7H_2O$，AR 级）用量为 C1 762 g/hm^2（含 Co 160 g/hm^2），C2 1548 g/hm^2（含 Co 330 g/hm^2）。小区随机排列，3 次重复，小区面积为 4 m×5 m，区间距离 1 m，试验区的总面积为 1500 m^2[7]。

试验时，$Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$ 和 $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ 按设计用量撒施，然后耕翻。苜蓿于 2006 年 10 月 12 日播种，播行为 20～25 cm，播深为 1.5 cm，播种量为 2.2 g/m^2，播种后要镇压 1 次。在研究期间不施用其它任何肥料。试验从 2006 年 10 月开始到 2008 年 10 月结束，在每年的开花期进行观察、取样和分析。

1.2　测定项目与方法

产草量[8]：采用收获法。在每个小区中随机取 3 个 1 m^2 样区，留茬 4 cm，刈割后称鲜重，从中取 1 kg 装入布袋阴干后，即为风干重。另取 500 g 鲜草样，在 105℃ 下烘 10 min 后，调到 65℃，再烘 24 h 至恒重，即为干物质重。

根量：采用壕沟法。取样面积为 1 m^2，地下挖深 50 cm，重复 4～5 次。土样经过双层纱布袋浸泡后反复冲洗后，用 0.25 mm 的土壤筛过滤，将苜蓿和杂草的活根拣出。将地上和地下样品在 80℃ 的烘箱内烘干，或者将样品置于布袋内，在阳光充足和干燥的气候下阴干和称重。

根瘤量：在苗龄 80 d 时观测根瘤菌的数量和重量，每小区取 10 株进行观测，测定时只对有效根瘤进行计数，并且在避光处阴干后称重。

有关参数计算：

叶面积（Leaf area，L）= 叶长 × 叶宽 × K；

叶面积比（Leaf area ratio，LAR）= L/W；

净同化率（Net assimilation rate，NAR）= 1/L × dw/dt（即为单位叶面积、单位时间内干物质增量）；

绝对生长率（Absolute growth rate，AGR）= dw/dt（即用单位面积草地上一定时间内积累的生物量来表示[9]）；

相对生长率（Relative growth rate，RGR）= 1/W × dw/dt = LAR × NAR（在单位时间内植株或器官的增量占原有植株或器官数量的比值，即用单位时间内积累的生长量来表示[9-10]）。

上述各式中：K 为校正系极，一般取值为 0.71；L 为叶面积；W 为生物量；dt 为时间（日）；dw 为日增重。

试验观察数据采用 Excel 和 SPSS 11 统计分析软件进行分析和检验。

2　结果与分析

2.1　硒、钴物料对苜蓿叶面积比与净同化率的影响

2.1.1 叶面积比（LAR）　叶片是苜蓿进行光合作用产生干物质的器官，反映其单位叶量和光合能力。该值越小，说明叶面积增加幅度小于生物量增加，光合能力和干物质积累能力越强。

表 1 看出，在分枝期，单硒处理 S1C0 和 S2C0 的

LAR 值与 S0C0 差异均不显著,单钴处理 S0C1 和 S0C2 的 LAR 值均低于 S0C0; 硒钴配施的 S1C1、S1C2、S2C1 和 S2C2 处理的 LAR 值分别比 S0C0(9.43 m^2/kg)降低 2.77%、5.30%、2.65% 和 2.01%,其中 S0C0 与 S1C2(8.93 m^2/kg)间差异显著。在现蕾期,各单施处理的 LAR 值均低于 S0C0,其中 S1C0 与 S0C0 间差异显著; 硒钴配施各处理也均低于 S0C0,其中 S1C2 比 S0C0 低 10.13%,差异最显著。在开花期,单硒处理 S2C0 的 LAR 值均低于 S0C0,差异显著; 配施处理的 S1C1、S1C2、S2C1 和 S2C2 分别比 S0C0(4.58 m^2/kg)降低了 8.08%、10.26%、9.17% 和 7.00%,均达到显著水平。在结荚期,单硒处理的 LAR 值均高于 S0C0,其中 S2C0 与 S0C0 之间差异显著,单钴的 2 个处理与 S0C0 差异不显著。配施处理中,除 S2C1 与 S0C0 差异不显著外,其他差异均显著。在成熟期,各处理均高于 S0C0,但除了 S2C0 和 S2C2 外,其他各处理差异均不显著。

单施钴能降低分枝到现蕾期的 LAR 值,单施硒能降低现蕾到开花期的 LAR 值,硒钴合理配施比 2 者单施更能显著地降低 LAR 值,促进从分枝到开花期的有效光合叶面积的增加,增强光合作用,降低呼吸作用,其中在开花期最显著。成熟期,效果正好相反,施用硒钴配合肥加强了苜蓿的呼吸作用,促进植物的衰老。所以硒、钴配合基施能有效地促进苜蓿从分枝到开花期叶片的光合能力,降低呼吸消耗,有利于苜蓿的花前青干草生产。硒钴配合基施中,以

表 1 苜蓿(1 m^2)叶面积比与净同化率测定值

Table1 Measured values of LAR and NAR of alfalfa

处理 Treatment	项目 Item	生育期 Growth stage				
		分枝期 Shooting stage	现蕾期 Ramification	开花期 Florescence	结荚期 Pods formation	成熟期 Ripening
		出苗后天数 Days after emergence(d)				
		15～18	15～20	15～20	20～25	20～25
S0C0	LAR	9.43 ± 0.89 a	6.81 ± 0.57 a	4.58 ± 0.36 a	4.37 ± 0.29 b	4.36 ± 0.18 b
	NAR	5.47 ± 0.62 b	6.33 ± 0.23 b	6.77 ± 0.29 b	2.54 ± 0.17 a	0.82 ± 0.26 a
S1C0	LAR	9.46 ± 0.78 a	6.17 ± 0.52 a	4.23 ± 0.31 ab	4.57 ± 0.45 ab	4.47 ± 0.32 b
	NAR	5.45 ± 0.73 b	6.90 ± 0.43 a	6.92 ± 0.36 ab	2.48 ± 0.13 ab	0.78 ± 0.07 ab
S2C0	LAR	9.43 ± 0.58 a	6.38 ± 0.42 ab	4.18 ± 0.36 b	4.67 ± 0.34 a	4.58 ± 0.28 a
	NAR	5.48 ± 0.53 b	6.74 ± 0.38 a	6.95 ± 0.53 ab	2.43 ± 0.13 b	0.72 ± 0.05 b
S0C1	LAR	9.20 ± 0.74 ab	6.39 ± 0.52 ab	4.45 ± 0.26 a	4.42 ± 0.43 b	4.41 ± 0.32 b
	NAR	5.64 ± 0.73 ab	6.74 ± 0.34 a	6.78 ± 0.44 b	2.48 ± 0.15 ab	0.79 ± 0.06 a
S0C2	LAR	9.38 ± 0.62 a	6.56 ± 0.49 a	4.62 ± 0.27 a	4.36 ± 0.26 b	4.40 ± 0.27 b
	NAR	5.57 ± 0.42 b	6.55 ± 0.38 ab	6.74 ± 0.48 b	2.57 ± 0.20 a	0.80 ± 0.06 a
S1C1	LAR	9.17 ± 0.65 ab	6.28 ± 0.48 ab	4.21 ± 0.31 b	4.56 ± 0.26 a	4.43 ± 0.32 b
	NAR	5.62 ± 0.73 b	6.86 ± 0.43 a	6.98 ± 0.32 ab	2.47 ± 0.22 ab	0.79 ± 0.07 a
S1C2	LAR	8.93 ± 0.48 b	6.12 ± 0.38 b	4.11 ± 0.35 b	4.71 ± 0.37 a	4.57 ± 0.26 ab
	NAR	5.94 ± 0.25 a	6.98 ± 0.35 a	7.23 ± 0.85 a	2.41 ± 0.17 b	0.74 ± 0.06 b
S2C1	LAR	9.18 ± 0.52 ab	6.36 ± 0.61 ab	4.16 ± 0.38 b	4.57 ± 0.31 ab	4.53 ± 0.23 ab
	NAR	5.67 ± 0.42 ab	6.75 ± 0.37 a	7.04 ± 0.45 ab	2.46 ± 0.22 ab	0.77 ± 0.04 ab
S2C2	LAR	9.24 ± 0.68 ab	6.49 ± 0.43 a	4.26 ± 0.24 b	4.68 ± 0.27 a	4.71 ± 0.41 a
	NAR	5.58 ± 0.31 b	6.49 ± 0.53 ab	6.87 ± 0.30 b	2.42 ± 0.23 ab	0.72 ± 0.06 b

注(Note): LAR, m^2/kg; NAR, $g/(m^2 \cdot d)$. 同列数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters within the same column indicate significant at 5% level.

低硒高钴(S1C2)的效果最好,其次为低硒低钴(S1C1)和高硒低钴(S2C1)。

2.1.2 净同化率(NAR)　也称为单位叶速率(ULR),是单位叶面积生产干物质的速率,NAR 是瞬间值。NAR 的变化过程与 LAR 不同,是由低到高,然后再由高到低的过程。对照 S0C0 的峰值出现在开花期,其他 4 个处理的峰值出现在现蕾期。

表 1 还看出,分枝期,硒、钴单施的各 NAR 值与 S0C0 之间差异不显著; 硒钴配施能提高苜蓿的 NAR 值,S1C1、S1C2、S2C1 和 S2C2 的 NAR 值为 5.58～5.94 g/(m^2 · d),均高于 S0C0,其中 S1C2 与 S0C0 差异显著,其它处理与 S0C0 差异不显著。在现蕾期,硒钴单施和配施各处理的 NAR 均高于 S0C0,但差异不显著。S1C1、S1C2、S2C1 的 NAR 值为 6.75～6.98 g/(m^2 · d),比 S0C0,6.64%～10.27%。在开花期,硒钴单施的 NAR 值与 S0C0 无显著差异; 配施处理的 NAR 值为 6.87～7.23 g/(m^2 · d),均高于 S0C0 和硒钴的单施,其中 S1C2 比 S0C0 高 6.80%,差异显著。在结荚期,除了 S0C2 外,其他处理均低于 S0C0,其中 S2C0 与 S0C0 差异显著。成熟期和结荚期相似,各硒钴处理均低于 S0C0,其中 S2C0 和 S1C2 与 S0C0 差异显著,其他处理之间差异不显著。

结果说明硒钴单施能在一定程度上提高苜蓿开花前的 NAR 值,提高苜蓿的净光合能力。硒、钴配施比硒、钴单施能够更显著提高现蕾到开花期苜蓿的净光合能力,提高苜蓿的单位叶面积生产干物质的速率。配施处理中,以低硒配施效果好于高硒; 当硒、钴用量分别在 570 和 1548 g/hm^2 下(低硒高钴),苜蓿在现蕾—开花期的净光合能力最强。单钴处理对苜蓿结荚到成熟期的净光合能力影响不大,而单硒或者硒钴配施会降低生殖生长时期苜蓿的 NAR。

2.2　硒、钴物料对绝对生长率与相对生长率的影响

表 2 表明,在分枝期,硒、钴单施下的 AGR 均高于 S0C0,施钴的效果好于施硒。硒、钴配施的效果好于硒、钴单施,其中 S1C1 和 S1C3 与 S0C0 及其他处理差异显著。在现蕾期,硒、钴单施的各个处理的 AGR 均高于 S0C0; 配施中 S1C1 的 AGR 值最大,其次为 S2C1,分别比 S0C0 高 12.49% 和 12.13%,也显著地高于其他处理。在开花期,单施硒处理的 AGR 值显著高于 S0C0,也高于单施钴处理,但差异不显著; 硒、钴配施 S1C1 和 S2C1 显著高于 S0C0。在结荚期,除了 S1C0 和 S2C0 的 AGR 较低外,其他处理之间差异不显著。在成熟期,S1C1 的 AGR 值最大,其次为 S2C1 和 S0C2,相互间差异不显著,与 S0C0 相比差异也不显著。S1C2、S1C0、S2C2 的 AGR 值较低,与其它处理差异达显著水平。

AGR 体现苜蓿群体增长的速率,也就是苜蓿总生物量的增长动态,而 RGR 是由牧草自身发育节律影响,体现了牧草积累干物质的速度及效率,是个体动态。

表 2 表明,分枝期,硒、钴单施下各处理的 RGR 值与 S0C0 差异不显著。各硒、钴配施下的 RGR 值均高于 S0C0,其中,S1C1 和 S2C1 分别比 S0C0 高 11.1% 和 12.33%,差异显著。在现蕾期,硒、钴配施中 S1C1 和 S2C1 显著地高于 S0C0; 在开花期,S1C0 显著高于 S0C0,其他处理之间差异不明显。各处理在结荚-成熟期差异也不显著。

以上分析可知,硒、钴单施和配施均能在不同程度上促进苜蓿从分枝到开花期绝对生长率以及分枝期相对生长率的提高。硒、钴配施效果好于硒、钴的单施,当硒用量分别在 570 g/hm^2,钴用量在 670～1548 g/hm^2 的配合基施下,苜蓿的 AGR 与 RGR 均达到最佳水平,但硒钴单施或配施对开花后苜蓿的绝对和相对生长率影响不大。

2.3　硒钴对花期苜蓿的地上与地下生物量的影响

硒钴基施后第 2 年(2007 年),无论硒钴单施还是配施,苜蓿的地上生物量均高于 S0C0,其中,S1C1 最大,其次为 S0C1 和 S1C2,与 S0C0 相比,分别提高了 7.45%、8.68%、7.68%,差异均显著。单施钴和硒、钴配施处理均可提高苜蓿的地下生物量(表 3)。

基施第 3 年(2008 年),地上生物量低于第 2 年,而地下生物量和根冠比却高于第 2 年(表 3)。除 S2C2 外,单施钴或低硒与钴配施均可提高苜蓿产草量,S0C2、S1C1 和 S1C2 地上生物量分别比 S0C0 高 7.45%、7.33%、6.58%; S0C1、S0C2 和 S1C1 地下生物量比 S0C0 相分别提高了 6.75%、7.62%、5.10%。

从 2 年的结果看,单施钴及低硒与钴的配施能够显著提高苜蓿的地上和地下生物量,当硒用量分别在 570 g/hm^2,钴用量在 670～1548 g/hm^2 的配合基施下,苜蓿的地上生物量均达到最佳水平,分别比对照提高了 8.06%、5.57%。施钴可提高苜蓿的根冠比,有利于提高苜蓿的抗旱能力。

表2 苜蓿绝对生长率和相对生长率测定值

Table 2 Measured values of AGR and RGR of alfalfa

处理 Treatment	项目 Item	生育期 Growth stage				
		分枝期 Shooting stage	现蕾期 Ramification	开花期 Florescence	结荚期 Pods formation	成熟期 Ripening
		出苗后天数 Days after emergence(d)				
		15～18	15～20	15～20	20～25	20～25
S0C0	AGR	3.73±0.21 bc	11.13±0.78 bc	17.73±1.43 b	8.12±0.67 a	2.77±0.16 a
	RGR	0.36±0.03 b	0.16±0.02 a	0.07±0 a	0.01±0	0.01±0
S1C0	AGR	3.82±0.22 b	11.27±1.12 b	19.18±1.18 a	7.51±0.65 b	2.64±0.23 b
	RGR	0.34±0.03 c	0.17±0.02 a	0.08±0 a		
S2C0	AGR	3.74±0.14 b	11.42±0.98 b	19.04±2.04 a	7.43±0.48 b	2.74±0.13 a
	RGR	0.35±0.03 bc	0.17±0.01 a	0.07±0 a		
S0C1	AGR	3.81±0.17 b	11.32±1.12 b	18.24±2.08 ab	8.15±0.57 a	2.74±0.22 a
	RGR	0.35±0.03 bc	0.16±0.01 a	0.07±0 a		
S0C2	AGR	3.85±0.20 ab	11.21±1.08 b	18.11±1.51 ab	8.05±0.36 a	2.78±0.24 a
	RGR	0.36±0.03 b	0.16±0.01 a	0.07±0 a		
S1C1	AGR	4.10±0.12 a	12.52±1.03 a	19.15±1.18 b	8.18±0.53 a	2.84±0.19 a
	RGR	0.40±0.03 a	0.17±0.01 a	0.07±0 a		
S1C2	AGR	3.77±0.42 b	11.04±1.06 bc	18.31±0.95 ab	7.94±0.72 a	2.60±0.23 b
	RGR	0.37±0.03 b	0.15±0.01 b	0.07±0 a		
S2C1	AGR	4.19±0.32 a	12.48±1.06 a	18.98±0.95 a	8.07±0.63 a	2.78±0.21 a
	RGR	0.41±0.03 a	0.16±0.02 a	0.07±0 a		
S2C2	AGR	3.81±0.26 b	10.84±1.06 c	18.26±0.95 ab	7.83±0.67 ab	2.63±0.18 b
	RGR	0.38±0.03 b	0.14±0.01 b	0.06±0 a	0.01±0	

注(Note): AGR, g/(m^2·d); RGR, g/(g·d). 同列数值后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters within the same column indicate significant at 5% level.

表3 播种后第2年和第3年地上和地下生物量的测定值(2007,2008yr)

Table 3 Measured values of shoot and root biomass of alfalfa in the second and third years after planting

处理 Treatment	生物量 Biomass(g/m^2,DM)				根冠比 R/S ratio	
	地上部 Shoot		地下部 Root			
	第2年 2nd year	第3年 3rd year	第2年 2nd year	第3年 3rd yea	第2年 2nd year	第3年 3rd year
S0C0	570.67±42.75 b	478.75±33.15 b	632.45±43.56 b	714.42±56.42 b	1.10±0.11 a	1.49±0.12 a
S1C0	598.76±51.25 b	471.52±38.51 b	624.78±61.83 b	708.34±68.52 b	1.04±0.08 b	1.49±0.10 a
S2C0	583.86±47.86 b	482.04±41.36 b	642.66±58.51 ab	731.20±70.78 ab	1.10±0.10 a	1.51±0.13 a
S0C1	613.21±58.74 a	501.56±42.87 b	682.41±48.63 a	762.65±70.73 a	1.12±0.07 a	1.52±0.16 a
S0C2	590.21±61.25 b	512.82±31.77 a	663.16±66.05 a	768.88±68.17 a	1.13±0.12 a	1.50±0.14 ab
S1C1	620.21±43.42 a	513.84±42.81 a	657.56±53.45 a	750.19±64.37 a	1.06±0.04 b	1.46±0.09 ab
S1C2	614.48±42.32 a	510.24±28.52 a	649.12±56.38 ab	716.22±46.72 b	1.06±0.07 b	1.40±0.12 b
S2C1	598.53±32.87 ab	493.38±34.73 ab	646.06±36.29 a	740.41±47.66 ab	1.08±0.10 ab	1.50±0.11 a
S2C2	583.47±51.56 b	476.78±32.74 b	630.15±45.38 b	736.81±38.68 ab	1.08±0.06 ab	1.55±0.15 a

注(Note): 同列数值后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters within the same column indicate significant at 5% level.

2.4　硒、钴对苜蓿种子产量和千粒重的影响

表 4 看出,播种第 2 年,无论硒钴单施还是配施,种子产量均低于 S0C0,降幅为 2.54%~11.51%,其中以 S2C1 和 S2C2 2 个处理降幅最大,分别为 10.83% 和 11.51%。播种第 3 年(2008 年)各处理的差异没有 2007 年明显,S2C2、S2C1 和 S2C0 分别比 S0C0 下降了 7.11%、10.04%、13.75%。而千粒重单钴和硒钴配施处理则显著地高于 S0C0。2007 年的提高幅度为 4.82%~14.68%,其中以 S0C2 和 S1C1 2 个处理提高幅度最大,分别为 14.68% 和 13.52%。2008 年的提幅为 1.71%~14.84%,其中以 S0C1 和 S0C2 2 个处理提幅最大,分别为 14.84% 和 12.38%。

表 4　苜蓿果实产量和千粒重的 2 年测定值

Table 4　Measured data of grain yields and 1000-grain weight of alfalfa for the 2 years

处理 Treat.	种子产量(g/m^2) Grain yield		千粒重(g) 1000-grain wt.	
	2007	2008	2007	2008
S0C0	45.5 ±2.3 a	41.6 ±3.2 a	1.72 ±0.06 b	1.87 ±0.04 b
S1C0	44.3 ±3.9 a	40.6 ±3.4 ab	1.79 ±0.07 b	1.89 ±0.07 b
S2C0	40.6 ±4.5 b	36.0 ±3.3 c	1.78 ±0.05 b	1.93 ±0.08 ab
S0C1	43.3 ±3.9 a	42.1 ±4.1 a	1.92 ±0.03 a	2.14 ±0.10 a
S0C2	41.4 ±3.8 b	41.6 ±3.2 a	1.98 ±0.06 a	2.10 ±0.09 a
S1C1	42.2 ±3.4 ab	41.8 ±2.5 a	1.96 ±0.05 a	2.08 ±0.07 a
S1C2	43.3 ±4.1 a	40.9 ±1.9 a	1.91 ±0.04 a	2.04 ±0.04 a
S2C1	40.5 ±2.9 b	37.6 ±3.1 bc	1.81 ±0.03 ab	1.91 ±0.07 ab
S2C2	40.2 ±3.4 b	38.8 ±2.8 b	1.97 ±0.04 a	1.90 ±0.07 b

注(Note):同列数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters within the same column indicate significant at 5% level.

结果表明,无论硒、钴的单施或者配施均不会提高苜蓿种子的产量,高硒以及高硒与钴配施处理种子产量明显降低;但硒钴的单施和配施能提高果实的千粒重,以钴的单施以及低硒与钴的配施效果最佳,也就是说当钴量分别在 762 g/hm^2 和 1548 g/hm^2 的单施下,或者与 570 g/hm^2 的硒配合基施下,千粒重可达到 1.91~2.14 g。

2.5　硒钴物料对对苜蓿根瘤的影响

表 5 看出,单施硒对 0—40 cm 土层的根瘤无显著影响;单施钴能有效地促进根瘤的生长,增加苜蓿根瘤量。在硒、钴配施中,以 S1C1 的根瘤量最多,显著高于其他配施处理和单施硒处理。可见,单施硒对苜蓿根瘤量没有显著的影响,单施钴或者硒、钴配施均有利于根瘤生长,增加根瘤量。当钴量为 762 和 1548 g/hm^2,或钴 762 g/hm^2 与硒 570 g/hm^2 的配施下,苜蓿的根瘤量比其他处理高,达到显著水平。所以施钴基础上合理施用硒能够增强紫花苜蓿的固氮能力,增强根系对耕作层土壤养分的吸收和同化能力。

表 5　苜蓿不同土层根瘤量 2 年内平均测定值(mg/m^2,DM)

Table 5　Measured data of root nodule volumes in different soil layers

处理 Treat.	土层 Soil layer(cm)				
	0—10	10—20	20—30	30—40	0—40
S0C0	6.92 b	1.32 b	0.41 a	0.035 a	8.68 c
S1C0	7.05 b	1.34 b	0.39 a	0.031 a	8.81 bc
S2C0	7.11 b	1.28 b	0.37 a	0.030 a	8.79 c
S0C1	7.37 ab	1.43 a	0.40 a	0.028 a	9.22 b
S0C2	7.98 a	1.54 a	0.40 a	0.027 a	9.95 a
S1C1	7.63 a	1.45 a	0.41 a	0.031 a	9.53 ab
S1C2	7.41 ab	1.35 b	0.38 b	0.032 a	9.17 b
S2C1	7.48 ab	1.29 b	0.39 ab	0.041 a	9.20 b
S2C2	6.92 b	1.27 b	0.39 a	0.039 a	8.62 c

注(Note):同列中不同字母表示差异达 5% 显著水平 Different letters within the same column indicate significant at 5% level.

3 讨论与结论

20世纪20年代后,当科学家发现硒能抑制人和动物的某些地方性疾病及恶性肿瘤,以及钴能促进维生素 B_{12} 合成以后,人们才开始把注意目标投向硒、钴在生物方面的应用[11],并发现硒、钴能刺激植物生长,增强植物的抗氧化作用,促进豆科牧草根瘤固氮以及提高植物体内叶绿素含量和增强光合能力等方面[3]。

本研究表明,硒、钴在合理基施下对紫花苜蓿花前的营养生长,特别是对苜蓿单位叶面积生产干物质的速率和生长速度有显著的促进作用,对花后的生殖生长影响不大。硒的用量适宜时,表现与钴的协同效果,效果突出;过量硒则表现出与钴的拮抗效应,效果不明显甚至有抑制作用。而钴则无类似硒的现象,量的多少对其单独效果和与硒的配施效果没有多大影响。很多研究者也得出相似的结果,如张秀梅等[12]和李会芳等[13]研究表明,适宜的硒浓度处理提高了玉米和大豆种子的发芽率,增加了发芽势和发芽指数,提高了活力指数,也使大豆根的鲜重有所提高,适宜的硒浓度有利于种子的萌发,但是过高的浓度则有明显的抑制作用。彭诚等[14]认为,低浓度亚硒酸钠溶液浸种能对白菜的发芽率、可溶性蛋白质质量分数、游离氨基酸总量及可溶性糖质量分数等生理指标有明显的促进作用,而较高浓度亚硒酸钠溶液浸种,表现出一定的抑制作用。谢丽玲,熊兴东等[15]认为,硝酸钴能促进大白菜的生根率和芽分化率,提高可溶性蛋白质和叶绿素含量,生长能力得到显著加强。马闯等[16]和介晓磊等[17]认为,叶面喷施硫酸钴可显著提高了苜蓿鲜草产量,以施钴量为300 mg/kg的处理效果最好,可以提高鲜草产量25.0%~27.5%。

本研究还表明,硒、钴的单施或者配施对提高苜蓿种子产量无明显影响,但高硒或高硒与钴的配施却显著地降低种子产量。然而,硒、钴基施对提高种子的千粒重有较好效果,以钴的单施以及低硒与钴的配施最佳。当钴用量分别在762和1548 g/hm^{2}的单施下,或者与570 g/hm^{2}的硒配合基施下,苜蓿种子的千粒重达到1.91~2.14 g的较高水平。目前尚无关于硒钴对苜蓿种子产量和质量影响的报道,但类似研究如宋家永[18-19]的试验看出,在灌浆初期或中期叶面喷施硒,可明显提高小麦产量;王金英等[20]认为,硒对水稻的千粒重影响不大,而对提高结实率和单株子粒产量有显著效果。这些报道与本试验有所不同,这可能与植物种类、施肥方式和施肥时间有关。

钴单施以及与硒的配施能有效促进0—20 cm耕层苜蓿根瘤菌生长和根瘤量的积累。根瘤菌对豆科牧草具有促进生长,提高牧草经济性能,改善牧草品质和适口性的作用[21],所以硒钴基施有利于增强苜蓿的固氮能力,增强根系对耕作层土壤养分的吸收和同化能力,提高苜蓿的饲用价值。关于微量元素对豆科牧草根瘤菌生长的报道不少,陈远学[22]试验表明,适量的钴能促进花生根瘤菌和菌株的生长,但根瘤菌株对Co的耐性较弱;但紫花苜蓿对Co的耐性比较大,在高钴的情况下应用效果仍很好,与本试验结果一致。

由于硒、钴在苜蓿生产的研究历史较短,又缺乏硒、钴配施的报道,关于硒、钴元素之间拮抗和协同效应研究不深;同时,本试验硒和钴用量只有3水平,是否适宜仍需进一步验证。

参 考 文 献:

[1] Schwarz K, Foltz C M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration[J]. J. Am. Chem. Soc.,1957,79: 3292.

[2] Patterson E L, Milstrey R, Stokstad E L R. Effect of selenium in preventing exudative diathesis in chicks[J]. Proc. Soc. Exp. Biol. Med.,1957,95: 617-620.

[3] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社,2003. 117-125.
Lu J L. Plant nutrition science[M]. Beijing: China Agricultural University Press,2003,117-125.

[4] 胡坚. 动物饲养学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社,1990,90-91.
Hu J. Animal feeding science[M]. Changchun: Jilin Science Technology Press,1990,90-91.

[5] 刘铮,朱其清,唐丽华. 土壤中的微量元素[M]. 北京: 科学出版社,1982. 65-73.
Liu Z, Zhu Q Q. Trace elements in soil[M]. Beijing: Science Press,1982. 65-73.

[6] 刘铮. 微量元素的农业化学[M]. 北京: 农业出版社,1991. 273-295.
Liu Z. Agrochemistry of trace eelements[M]. Beijing: Agricultural Press,1991. 273-295.

[7] 郭英,孙学振,宋宪亮. 钾营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(3): 363-368.
Guo Y, Sun X Y, Song X L. Effects of potassium nutrition on growth and leaf physiological characteristics at seedling stage of cotton[J]. Plant Nutr. Fert. Sci.,2006,12(3): 363-368.

[8] 汪诗平,王艳芬,李永宏,等. 不同放牧率对草原牧草再生性能和地上净初级生产力的影响[J]. 草地学报,1998,6(4): 275-281.

Wang S P, Wang Y F, Li Y H *et al*. The Influence of different stocking rates on herbage regrowth and aboveground net primary production[J]. Acta Agrectir. Sin. ,1998,6(4): 275-281.

[9] 黄德华,王艳芬,陈佐忠. 内蒙古羊草草原均腐土营养元素的生物积累[J]. 草地学报,1996,4(4): 231-239.
Huang D H, Wang Y F, Chen Z Z. Bioaccumulation of different nutritive elements of leymus chinesis steppe in isohumisol soil Inner Mongolia[J]. Acta Agrectir. Sin. ,1996,4(4): 231-239.

[10] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社,1998. 201-223.
Ren J Z. Studing methods of pratacultural science[M]. Beijing: China Agricultural Press,1998,201-223.

[11] 文贵辉,张彬. 微量元素硒在动物中的研究与应用[J]. 中国饲料,2004,9(11): 11-14.
Wen G H, Zhang B. Studies and application of trace elements in animals[J]. China Feed,2004,9(11): 11-14.

[12] 张秀梅,孙效文,孙桂玲. 硒对玉米发芽率及植株生长的影响[J]. 农业科技通讯,2005,(8): 18-20.
Zhang X M,Sun X W,Sun G L. Effect of selenium on the germination rate and plant growth of corn[J]. Bull. Agric. Sci. Tech. ,2005,(8): 18-20.

[13] 李会芳,白云生,樊文华,黄艳娟. 不同浓度的硒对大豆种子发芽率及幼苗生长的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2006,26(3): 256-258.
Li H F, Bai Y S, Fan W H, Huang Y J. Influence of selenium on germination percentage of soybeans seeds[J]. J. Shanxi Agric. Univ. (Nat. Sci. Ed.),2006,26(3): 256-258.

[14] 彭诚,丁莉,王军. 硒对白菜种子发芽率及幼苗生长的影响[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2006,24(1): 90-93.
Peng C, Ding L, Wang J. The physiological effects of Se on the germinating of cabbage seeds[J]. J. Hubei Instit. Nation. (Nat. Sci. Ed.),2006,24(1): 90-93.

[15] 谢丽玲,熊兴东. 硝酸钴对大白菜子叶组培苗生长的效应[J]. 植物生理学通讯,2002,32(5): 445-447.
Xie L L, Xiong X D. Effect of cobalt nitrate on growth in cotyledon of brassica campestris *in vitro*[J]. Plant Physiol. Commun. ,2002,32(5): 445-447.

[16] 马闯,崔海燕,刘世亮,等. 喷施硫酸钴对紫花苜蓿鲜草产量及品质的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(9): 58-62.
Ma C, Cui H Y, Liu S L *et al*. Effect of leaf surface spurting cobalt sulfate on the fresh grass yield and quality of alfalfa[J]. Chin. Agric. Sci. Bull. ,2007,23(9): 58-6.

[17] 介晓磊,马闯,刘世亮,等. 喷施硫酸钴对紫花苜蓿产量及微量元素吸收的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(35): 190-192.
Jie X L, Ma C, Liu S L *et al*. Effect of spraying cobalt sulfate on the yield and absorption of trace elements in alfalfa[J]. J. Anhui Agric. Sci. ,2007,35(35): 190-192.

[18] 宋家永. 硒肥对小麦花后旗叶生理特性和子粒含硒量及产量的影响[J]. 华北农学报,2006,21(6): 68-71.
Song J Y. Effect of selenium fertilization on flag leaf physiological characteristics and grain selenium content and yield after anthesis of wheat[J]. Acta Agric. Bor.-Sin. ,2006,21(6): 68-71.

[19] 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,2005,39(2): 139-142.
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. ,2005,39(2): 139-142.

[20] 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 yield and mineral nutrition in brown rice[J]. Chin. Agric. Sci. Bull. ,2006,22(3): 217-220.

[21] 鲁鸿佩. 根瘤菌对紫花苜蓿产草量的影响试验研究[J]. 草原与草坪,2007,(2): 56-59.
Lu H P. Experimental studies of rhizobia on yield of alfalfa[J]. Grassl. Turf,2007,(2): 56-59.

[22] 陈远学,徐开未,张小平,等. 花生根瘤菌对微量元素耐性的筛选[J]. 中国土壤与肥料,2007,(4): 76-80.
Chen Y X, Xu K W, Zhang X P *et al*. Primary study on tolerance of *brady rhizobium* sp. (Arachis) to microelements[J]. Soil Fert. Sci. China,2007,(4): 76-80.