

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0548

张志, 苏德荣, 焦健. 地下滴灌硅肥对紫花苜蓿生长及品质的影响. 草业科学, 2016, 33(8): 1611-1617.

Zhang Z, Su D R, Jiao J. Effect of integration of water and silicon fertilizer on the growth of alfalfa under subsurface drip irrigation. Pratacultural Science, 2016, 33(8): 1611-1617.

地下滴灌硅肥对紫花苜蓿 生长及品质的影响

张 志, 苏德荣, 焦 健

(北京林业大学草地资源与生态研究中心, 北京 100083)

摘要: 为了探讨在地下滴灌条件下将硅肥随水一体施入土壤后硅肥对紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 生长及品质的影响, 设计了模拟水硅一体化的地下滴灌装置, 并采用苜蓿盆栽滴灌方法进行研究。设置 4 个硅肥水平 (0、0.01、0.02 和 0.03 g · kg⁻¹, 每千克土壤施用 SiO₂ 的克数), 每个处理 9 次重复。结果表明, 施硅的植株生长指标要显著好于不施硅的植株 ($P < 0.05$)。试验观测的两个茬次的苜蓿, 施硅的处理植株相比于不施硅对照, 其产量、叶面积、鲜干比、节间距、节间数等指标均有显著的提高 ($P < 0.05$)。不同茬次对比, 施硅处理对于苜蓿的促进作用在生长初期要大于生长后期。施用硅肥对苜蓿营养指标的影响不明显, 施硅量为 0.02 g · kg⁻¹ 的处理相比对照组粗蛋白含量最高, 纤维素含量最低, 并且 0.02 g · kg⁻¹ 处理的植株有较高的相对饲喂价值。所以, 通过滴灌方式水肥一体施用硅肥可以促进紫花苜蓿的生长。

关键词: 紫花苜蓿; 硅肥; 地下滴灌; 生长品质

中图分类号: S816.11; S541⁺.107.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-0629(2016)8-1611-07*

Effect of integration of water and silicon fertilizer on the growth of alfalfa under subsurface drip irrigation

Zhang Zhi, Su De-rong, Jiao Jian

(Research Center for Grassland Resources and Ecology, Beijing Forestry
University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to explore the influence of integration of irrigation water and fertilizer on the growth and quality of alfalfa under subsurface drip irrigation (SDI), the pot culture experiment simulated SDI and integration of water and silicon fertilizer was carried out with four treatments of silicon concentrations (0, 0.01, 0.02 and 0.03 g SiO₂ · kg⁻¹ Soil) and nine duplicates for each treatment. The results showed that six growth indexes of alfalfa applied silicon fertilizer were higher than that of without silicon fertilizer. As for the quality of alfalfa hay, CP with 0.02 g · kg⁻¹ silicon fertilizer was the highest, NDF with 0.02 g · kg⁻¹ silicon fertilizer was the least. So the conclusion was that the integration of irrigation water and silicon fertilizer under subsurface drip irrigation can promote growth of alfalfa, and silicon fertilizer promote the early growth stage of alfalfa more than the late growth stage of alfalfa. Plants with 0.02 g · kg⁻¹ Si fertilizer has higher quality than other plants.

Key words: alfalfa; silicon fertilizer; subsurface drip irrigation; quality

Corresponding author: Su De-rong E-mail: suderong@bjfu.edu.cn

* 收稿日期: 2015-10-10 接受日期: 2016-03-14

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“不同生态区域优良牧草品种优化配置及丰产栽培技术研究”(2011BAD17B01-05)

第一作者: 张志(1989-), 男, 山东泰安人, 在读硕士生, 主要从事草地生态用水管理研究。E-mail: qiaoyang2015abc@163.com

通信作者: 苏德荣(1958-), 男, 甘肃永靖人, 教授, 博士, 主要从事草地生态及水文过程研究。E-mail: suderong@bjfu.edu.cn

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)被称为“牧草皇后”,是一种具有广泛适应性、高产并且品质优良的饲料作物。苜蓿在中国已经有2 000多年的栽培历史,而且在我国的农业系统中占据着不可替代的地位^[1]。中国很早就引进了紫花苜蓿,并且是最早建成苜蓿栽培草地的国家之一^[2]。近年来中国苜蓿产业化发展十分迅速,尤其是在气候自然条件适宜苜蓿生产的北方和西部干旱半干旱地区。然而,这一地区发展苜蓿规模化种植的最大制约因素是水资源严重短缺和土壤肥力十分低下^[3]。目前,大面积苜蓿种植普遍采用喷灌方法,在干旱半干旱地区由于喷灌时不可避免地会产生水汽飘散及植物冠层截留蒸发损失^[4],因此,在苜蓿种植中采用更为节水的滴灌技术,尤其是地下滴灌(subsurface drip irrigation, SDI)技术成为当前应用和试验研究的热点^[5]。利用地下滴灌技术可以将作物所需要的肥料或养分随灌溉水连续少量施入作物根部,水肥利用效率高^[6]。在苜蓿生产中选择地下滴灌技术不仅节水,而且可以实现水肥一体化,更重要的是灌溉系统埋入地下非常适应苜蓿植物多年生的特点^[7]。

在地下滴灌水肥一体化技术研究应用中主要以作物所需的大量营养元素(N、P、K)为目标^[8],对微量元素的水肥一体研究报道甚少。硅元素是禾本科作物的必需营养元素,也是一部分非硅富集植物的有益营养元素,研究表明,硅元素能促进小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*)、水稻(*Oryza sativa*)、甘蔗(*Saccharum officinarum*)等的生长和增产,并且已广泛应用于这些作物的生产,效果明显^[9]。对植物生长作用的研究表明,硅元素主要集中于细胞的内皮层中^[10],硅元素能增强植物的生物膜保护功能和光合作用效率^[11],促进植物的营养生长,提高植物的抗病性和抗重金属离子的毒害;硅元素还能促进活化土壤中的磷,增加植物对磷的吸收和利用,并能增加植物的籽实产量^[12]。外源施用硅元素对紫花苜蓿的根系和茎叶生长有显著影响,能够提高紫花苜蓿的发芽率,缩短种子的萌发时间,提高苜蓿的抗逆性,增加土壤水分亏缺时苜蓿的水分利用效率和生物量^[13]。目前,我国干旱半干旱地区紫花苜蓿主产区施用磷肥较多,磷能够使紫花苜蓿的耗水系数降低^[14],但大量施用磷肥易引起潜在的面源污染问题^[15]。硅元素和磷元素原子结构相似,而且硅能够活化土壤中的磷,施用一定量的硅肥可以避免磷施用过多而造成的污染问题^[16]。

有关硅肥对于禾本科作物和果蔬的影响研究较多,在紫花苜蓿上施用硅肥的研究主要是把硅肥当做基肥,也就是在播种前一次性施入,而地下滴灌技术利

用地下滴灌施用硅肥可以在苜蓿不同生长阶段随滴灌水多次施入,灌水量少、灌水延续时间较长,可以提高苜蓿对硅的吸收利用。本研究建立了一套地下滴灌、硅肥一体化灌溉模拟试验装置,设置4个硅肥施用量来探讨紫花苜蓿生长季多次施硅对其生长及品质的影响,以期确定紫花苜蓿种植中滴灌硅肥的使用量,为紫花苜蓿生产中水肥一体化滴灌技术的应用提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2014年4—9月在北京克劳沃草业技术开发中心双桥试验基地进行。基地位于北京市朝阳区,116°28' E、39°34' N,年均温10~12℃,海拔约为50 m,一年中无霜期190~200 d,≥10℃年积温4 200℃·d;年平均降水量约为600 mm。试验地土壤肥沃,为多年耕作土壤,光照、通风良好,适合苜蓿生长。

1.2 试验材料

试验所用的紫花苜蓿品种为皇冠(Phabulous),由北京克劳沃草业技术开发中心提供。试验所用硅肥材料为NaSiO₃·9H₂O(北京化工厂生产,AR),其中二氧化硅(SiO₂)含量为21.1%。

1.3 试验设计

试验采用地下滴灌盆栽苜蓿技术,种植盆采用直径30 cm、高60 cm的PVC塑料管制作,管底封堵设有排水孔。种植桶内填入试验地0—30 cm土层种植土壤,土壤类型为沙壤土,容重为1.44 g·cm⁻³,田间持水量为13.0%,pH为7.79。土壤中速效氮含量为38.36 mg·kg⁻¹,速效磷含量为35.36 mg·kg⁻¹,速效钾含量为75.33 mg·kg⁻¹,有效硅含量为102 mg·kg⁻¹,土壤有机质含量为5.75%。

模拟地下滴灌装置采用距地面2.1 m的高位水罐靠重力加压进行滴灌。高位水罐用两个1.5 L倒置的塑料桶制成,桶底开口以便注水和添加硅肥,桶盖上安装一直径为4 mm的PE软管,管长1.5 m,管的一端连接4个滴头,每个种植桶设一组高位水罐。种植桶内距表层土壤20 cm处将连接在PE软管上的4个滴头水平绕桶圆心均匀排布埋设,采用的滴头流量为1.0 L·h⁻¹。初始时每个试验处理的土壤含水量保持为田间持水量。

试验施硅量(按每千克土壤中施入的SiO₂量计)设为4个水平,分别为0(CK)、0.01、0.02、0.03 g·kg⁻¹。施硅处理分为3次,将硅酸钠溶于滴灌水中,通过供水罐以地下滴灌的方式水与硅肥一起滴入

土壤中,每处理 9 次重复。

为避免降水的影响,本试验在防水透光的阳光棚下进行。阳光棚为 6 m×6 m,棚西高东低,四周有下沿,方便雨水尽快流走并且最大限度地防止雨水进入试验区域。播种所用的种子事先进行了消毒、拌根瘤菌处理。2014 年 4 月 14 日播种,播种量为 1.5 g·m⁻²,播种深度为 1.5 cm。播种后精细管理,试验前用喷壶浇水确保每盆苜蓿整齐出苗。出苗后,每盆苜蓿定植 15 株。初花期刈割,留茬高度为 5 cm。本试验采集了两茬苜蓿数据进行分析,两茬生长日期分别为 2015 年 6 月 17 日—7 月 17 日和 7 月 17 日—8 月 17 日。

1.4 测定指标与方法

测定指标包括:1)株高的测定。茎的最低部到最顶端叶尖的绝对距离为植株高度。每 10 d 在每盆中任选 3 株苜蓿进行株高测定,取平均值作为一个样本的植株高度,试验中,在一茬完整的生长期中共测得 4 次株高。每 10 d 为一个生长小期,划分为生长前期、生长中期和生长后期。2)节间数与节间距的测定。现蕾期随机选取 10 个一级分枝,数取节间数,并测量节间距。3)叶面积的测定。取苜蓿枝条顶部第 1 个展开叶的中间小叶,每个小区取 10 片小叶,利用数码相机和 Photoshop 软件计算叶面积。4)产量的测定。初花期将试验装置中的紫花苜蓿距地表 5 cm 以上部分全部刈割,立即称取每个试验装置中的地上生物量,计算其与种植盆面积的比值,换算成为鲜草产量。5)鲜干比的测定。将各处理鲜样,在 105 ℃ 的烘箱中杀青 1 h 后置于 70 ℃,恒温下烘 48 h,冷却后取出称干重。干鲜比=样品干重/鲜重。6)粗蛋白(CP)含量测定。样品烘干后采用半微量凯氏定氮法,利用 FOSS 2300 凯氏定氮仪测定样品中粗蛋白含量。7)中性洗涤纤维(NDF,%)和酸性洗涤纤维(ADF,%)的测定。样品烘干后采用范氏(van Soest)洗涤纤维分析法^[17],利用 FOSS FT350 纤维测定仪测定样品中中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的含量。8)相对饲喂价值(RFV)的计算公式:

$$RFV = DDM \times DMI / 1.29 \quad (1)$$

$$DDM = 88.9 - 0.779 \times ADF \quad (2)$$

$$DMI = 120 / NDF \quad (3)$$

式中:DDM 是指饲草可消化的干物质,其单位为占干物质的百分比;DMI 是指饲草干物质的随意采食量,其单位为占体重的百分比。通过上述公式,DMI 和 DDM 可分别由 NDF 与 ADF 计算得到。RFV 计算公式中的 1.29 是以大量动物试验数据为基础预测的

盛花期苜蓿可消化干物质的采食量。RFV 计算公式中之所以除以 1.29 是为了使苜蓿盛花期的 RFV 值为 100。当某种牧草的 RFV 值大于 100 时,说明其整体质量较好。

1.5 数据处理

数据录入通过 Microsoft Excel 2010 软件进行,图表采用 Microsoft Excel 2010 进行绘制,试验测定的生长及品质指标数据显著性分析采用 SPSS 20.0 处理,叶面积测定通过 Adobe Photoshop CS6 软件中的像素计算程序进行。

2 结果与分析

2.1 不同硅处理对叶面积的影响

对于第 1 茬来说,随着施硅量的增加,叶面积呈现出先增大后变小的趋势(表 1)。其中 0.02 g·kg⁻¹ 施硅处理增量最多,较对照的植株增加了 65.15%。对于第 2 茬来说叶面积呈现出先增大后变小又增大的趋势(表 2)。第 2 茬中施硅量为 0.01 g·kg⁻¹ 的处理较对照增量最多,为 30.30%。尽管施硅量 0.02 g·kg⁻¹ 的处理与对照无显著差异($P > 0.05$),但也比对照增加了 19.12%。除第 2 茬施硅量为 0.01 g·kg⁻¹ 的处理外,两茬中其它施硅处理的叶面积均显著大于对照($P < 0.05$)。

2.2 不同硅处理对产量的影响

所有施硅的苜蓿植株鲜草产量均显著大于对照的植株($P < 0.05$)。对于第 1 茬而言,随着施硅量的增大,施硅植株比对照产量分别增加了 44.12%、34.56% 和 47.06%。对于第 2 茬而言,随着施硅量的增大,施硅植株比对照产量分别增加了 25.68%、30.74% 和 27.16%(表 1、2)。

2.3 不同硅处理对鲜干比的影响

除第 1 茬施硅量为 0.02 g·kg⁻¹ 的处理外,其它所有的施硅处理鲜干比均显著大于对照($P < 0.05$)。对于第 1 茬来说,随着施硅量的增加,施硅植株鲜干比较对照分别增加了 37.25%、16.18% 和 30.88%。对于第 2 茬来说,随着施硅量的增加,施硅植株鲜干比较对照分别增加了 25.83%、22.76% 和 17.65%(表 1、2)。

2.4 不同硅处理对株高生长量的影响

除第 1 茬 0.02 g·kg⁻¹ 施硅量处理外,其它施硅处理植株生长前期的株高增长量均显著高于对照($P < 0.05$)。第 1 茬中,随着施硅量的增大,施硅植株生长前期的株高增长量分别比对照高 71.83%、59.15% 和 101.41%。第 2 茬中,随着施硅量的增大,生长前期施硅植株的株高增量分别比对照高 32.99%、

25.99%和34.74%。所有施硅植株生长中期的株高增长量显著高于对照。第1茬中,随着施硅量的增大,施硅植株生长中期的株高增长量分别比对照高43.04%、59.49%和82.28%。第2茬中,随着施硅量的增大,施硅植株生长中期的株高增长量分别比对照高19.97%、14.72%和12.22%。所有施硅植株生长后期的株高与对照组均无显著差异($P>0.05$)。对比第1茬与第2茬不同生长时期的株高增量,发现第2茬增量要高于第1茬(表1、2)。

2.5 不同硅处理对节间数、节间距的影响

施硅的植株节间数要显著高于对照(表1、2)。第1茬中,随着施硅量的增大,施硅植株节间数比对照分

别高了12.89%、11.46%和13.48%。第2茬中,随着施硅量的增大,施硅植株节间数比对照组分别高了10.53%、9.77%和8.81%。除第1茬0.01 g·kg⁻¹施硅量的处理外,其它施硅植株的节间距均显著高于对照的($P<0.05$)。第1茬中,随着施硅量的增大,施硅植株节间距比对照分别高了17.43%、27.80%和26.14%。第2茬中,随着施硅量的增大,施硅植株节间距比对照分别高了12.86%、22.14%和20.00%。

2.6 不同施硅量对粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和相对饲喂价值的影响

第1茬中,不同的施硅量对苜蓿粗蛋白、中性洗涤纤维含量和相对饲喂价值没有显著的影响($P>0.05$)

表1 不同施硅量对第1茬紫花苜蓿叶面积、鲜干比、株高增长量、节间数、节间距和产量的影响
Table 1 Leaf area, the ratio of fresh to hay, the increase ment of plant height, the number of internodes, intermodal distance and yield under different silicon concentrations in first stubble

施硅量 Si fertilizer/g · kg ⁻¹	叶面积 Leaf area/cm ²	鲜草产量 Fresh yield/t · hm ⁻²	株高增长量 Height increment/cm		
			鲜干比 Ratio of fresh to hay	节间数 Number of internodes	
0(CK)	0.66±0.06b	2.72±1.58b	2.04±0.19b		8.38±0.21b
0.01	1.00±0.10a	3.92±3.25a	2.80±0.18a		9.46±0.42a
0.02	1.09±0.08a	3.66±3.13a	2.37±0.07ab		9.34±0.24a
0.03	0.95±0.07a	4.00±2.69a	2.67±0.13a		9.51±0.27a
施硅量 Si fertilizer/g · kg ⁻¹	节间距 Intermodal distance/cm	株高增长量 Height increment/cm			
		生长前期 Early stage	生长中期 Middle stage	生长后期 Later stage	
0(CK)	2.41±0.11b	0.71±0.10b	0.79±0.11b	1.54±0.43a	
0.01	2.83±0.20ab	1.22±0.14a	1.13±0.08a	2.22±0.62a	
0.02	3.08±0.16a	1.13±0.19ab	1.26±0.09a	1.71±0.45a	
0.03	3.04±0.12a	1.43±0.19a	1.44±0.17a	1.86±0.62a	

表2 不同施硅量对第2茬紫花苜蓿叶面积、鲜干比、株高增长量、节间数、节间距和产量的影响
Table 2 Leaf area, the ratio of fresh to hay, the increase ment of plant height, the number of internodes, intermodal distance and yield under different silicon concentrations in second stubble

施硅量 Si fertilizer/g · kg ⁻¹	叶面积 Leaf area/cm ²	鲜草产量 Fresh yield/t · hm ⁻²	株高增长量 Height increment/cm		
			鲜干比 Ratio of fresh to hay	节间数 Number of internodes	
0(CK)	0.99±0.06b	4.75±2.04b	3.91±0.06b		9.31±0.18b
0.01	1.29±0.09a	5.97±3.47a	4.92±0.13a		10.29±0.13a
0.02	1.18±0.08ab	6.21±4.26a	4.80±0.16a		10.22±0.15a
0.03	1.29±0.08a	6.04±2.68a	4.60±0.09a		10.13±0.22a
施硅量 Si fertilizer/g · kg ⁻¹	节间距 Intermodal distance/cm	株高增长量 Height increment/cm			
		生长前期 Early stage	生长中期 Middle stage	生长后期 Later stage	
0(CK)	2.80±0.10b	12.58±0.40b	7.61±0.18b	2.63±0.44a	
0.01	3.16±0.14a	16.73±0.40a	9.13±0.32a	3.04±0.40a	
0.02	3.42±0.07a	15.85±0.46a	8.73±0.28a	3.18±0.51a	
0.03	3.36±0.15a	16.95±0.53a	8.54±0.45a	3.74±0.19a	

注:不同小写字母表示同一项目不同施硅量处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: Different lower case letters indicate significant difference within the same index among different Si fertilizers at 0.05 level. The same below.

(表 3)。施硅量为 $0.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理,其酸性洗涤纤维显著小于 $0.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理 ($P < 0.05$),其它处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。施硅量为 $0.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的植株其相对于对照的粗蛋白增长率为 9.0% ,高于 $0.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理 (3.0%) 和 $0.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理 (1.3%),而且 $0.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理植株其相比对照, NDF 增长率为 0.3% , ADF 为 -10.4% ,均低于 $0.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理 (2.2% , 8.5%) 和 $0.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理 (2.5% , 2.8%)。并且, $0.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理的植株具有

更高的相对饲喂价值。

第 2 茬中,不同施硅量对苜蓿粗蛋白、纤维素含量和相对饲喂价值均无显著影响 ($P > 0.05$) (表 3)。与第 1 茬相似,施硅量为 $0.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理植株相对于对照组的粗蛋白含量增长率和相对饲喂价值增长率高于 0.01 和 $0.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理的植株,并且纤维素含量增长率低于 0.01 和 $0.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理植株。因此,可以认为 $0.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理植株相对于 $0.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理植株和 $0.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理植株有更好的品质。

表 3 不同施硅量对两茬植株粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量和相对饲喂价值的影响

Table 3 Crude protein, neutral detergent fiber, acid detergent fiber and RFV under different silicon concentrations

茬次 Stubble	施硅量 Si fertilizer/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	粗蛋白含量 CP/%	中性洗涤纤维含量 NDF/%	酸性洗涤纤维含量 ADF/%	相对饲喂价值 RFV/%
第 1 茬 The first stubble	0(CK)	$23.4 \pm 2.4a$	$64.1 \pm 3.5a$	$10.6 \pm 1.5ab$	$117.4 \pm 6.8a$
	0.01	$24.1 \pm 1.6a$	$65.5 \pm 2.9a$	$11.5 \pm 1.5a$	$113.6 \pm 3.8a$
	0.02	$25.5 \pm 1.3a$	$64.3 \pm 3.5a$	$9.5 \pm 1.9b$	$118.2 \pm 5.9a$
	0.03	$23.7 \pm 1.6a$	$65.7 \pm 2.3a$	$10.9 \pm 1.1ab$	$113.9 \pm 4.1a$
第 2 茬 The second stubble	0(CK)	$24.5 \pm 1.0a$	$65.2 \pm 1.6a$	$13.3 \pm 2.9a$	$112.1 \pm 3.3a$
	0.01	$25.2 \pm 1.0a$	$65.5 \pm 1.6a$	$12.4 \pm 1.8a$	$113.4 \pm 3.2a$
	0.02	$25.2 \pm 1.1a$	$64.6 \pm 1.1a$	$12.1 \pm 2.3a$	$114.5 \pm 3.4a$
	0.03	$25.1 \pm 1.0a$	$64.9 \pm 1.4a$	$13.3 \pm 2.5a$	$113.0 \pm 2.7a$

3 讨论

部分农作物施用硅肥可以增加产量^[18-21]。紫花苜蓿以硅钙钾复合肥作为基肥可以增加干草产量^[9]。本研究中,单施硅肥并结合地下滴灌随水连续施用硅肥,证明施硅的苜蓿植株比不施硅植株第 1 茬干重平均增加了 41.6% ,第 2 茬平均增加了 27.9% 。施硅处理与不施硅处理相比,叶面积、节间距、节间数和株高也有相应的增大。施硅苜蓿植株第 1 茬叶面积比不施硅的植株平均增加 53.5% ,第 2 茬平均增加 26.7% ;施硅苜蓿植株的节间数第 1 茬和第 2 茬分别比不施硅植株增加了 12.6% 和 9.7% ,节间距分别增加了 23.8% 和 18.3% ;第 1 茬和第 2 茬生长前期株高增长量比不施硅的植株分别增加了 77.6% 和 58.9% ,第 1 茬和第 2 茬生长中期株高增长量比不施硅的植株分别增加了 23.8% 和 18.3% 。前人研究也证明,外施硅肥作为基肥能够增加紫花苜蓿的叶面积^[13],施硅能够促进植株茎叶生长^[22],这些结果与本研究的结果基本类似。但是,紫花苜蓿施硅以后硅对植株茎叶生长的促进机理尚不明确。

施硅对于紫花苜蓿不同生长阶段的促进作用是不同的。本研究中,施硅的紫花苜蓿植株第 1 茬产量、叶

面积、节间距、节间数和鲜干比的增长量均大于第 2 茬植株,表明硅元素对于紫花苜蓿生长初期的促进作用大于中后期。而田福平等^[23]研究也表明,硅元素对于紫花苜蓿早期生长发育和产量有积极影响,随着紫花苜蓿的生长,施硅对于紫花苜蓿的生长促进作用呈下降趋势,由此说明施硅对于紫花苜蓿早期生长的促进作用大于中后期。与此相对应的是,不同生长阶段是否采用不同的施硅量,作为基肥一次性施入与在生育期多次连续随水施入对苜蓿植株茎叶生长的影响还需进一步试验研究。

本研究表明,施硅植株的鲜干比显著高于不施硅植株,第 1 茬和第 2 茬施硅植株鲜干比分别比不施硅的植株高 28.1% 和 22.1% ,这说明施硅能够提高苜蓿植株的含水量。前人的研究表明,施硅可以使植物外表皮的硅质层增厚,从而阻止水分散失^[24]。施硅可以提高草地早熟禾 (*Poa pratensis*) 等植物的抗旱能力^[25-26]。另一方面,施硅以后是否改善了土壤水化学及水势状态,从而使苜蓿植株从土壤中更容易吸收到更多的水分,从而证明外施硅肥可以达到节水的作用。这些更深入的方面本研究未有涉及。

施硅对于苜蓿草品质的影响,刘慧霞等^[27]研究认为,硅元素对于茎叶粗蛋白、纤维含量的影响不及对生

长的影响,本研究也证实了这一结论。施硅植株的粗蛋白含量与纤维素含量与不施硅植株没有显著差异。

4 结论

1) 地下滴灌条件下外施硅肥能够显著促进紫花苜蓿产量增加,同时也显著促进叶面积、生长前中期株高增长量、节间距、节间数和鲜干比的增大。施用硅肥的苜蓿植株相比对照处理,第1茬和第2茬产量分别增大41.6%和27.9%,叶面积分别增大53.5%和26.7%,生长前期株高增长量分别增大77.6%和58.9%,生长中期株高增长量分别增大31.3%和15.7%,节间数分

别增大12.6%和9.7%,节间距分别增大23.8%和18.3%,鲜干比分别增大28.1%和22.1%。

2) 硅元素对于紫花苜蓿早期生长的促进作用大于生长中后期,并且施硅对于第1茬次的生长促进作用也好于第2茬次。

3) 紫花苜蓿外施硅肥可以促进鲜干比的显著提高,施硅植株的含水量高于不施硅植株,施硅对于紫花苜蓿地有一定的节水作用。

4) 施硅对于紫花苜蓿的营养指标没有显著影响。但是施硅量为 $0.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的植株相对于 0.01 和 $0.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的植株有更好的品质。

参考文献 References:

- [1] 徐文婷,苏德荣,刘自学,刘艺杉.地下滴灌条件下水钾耦合对紫花苜蓿的影响.中国草地学报,2014,36(3):52-56.
Xu W T, Su D R, Liu Z X, Liu Y S. Effect of potassium coupled with water on alfalfa under drip irrigation. Chinese Journal of Grassland, 2014, 36(3): 52-56. (in Chinese)
- [2] 杨朝,苏德荣.紫花苜蓿不同层高的生长特性及营养物质含量比较.中国草地学报,2014,36(5):32-37.
Yang Z, Su D R. Comparison of the growth characteristics and nutrient substances of alfalfa in different layers. Chinese Journal of Grassland, 2014, 36(5): 32-37. (in Chinese)
- [3] 卢欣石.中国苜蓿产业发展问题.中国草地学报,2013,35(5):1-5.
Lu X S. Problems with the development of alfalfa industry in China. Chinese Journal of Grassland, 2013, 35(5): 1-5. (in Chinese)
- [4] Stambouli T, Martínez-Cob A, Faci J M, Howell T, Zapata N. Sprinkler evaporation losses in alfalfa during solid-set sprinkler irrigation in semiarid areas. Irrigation Science, 2013, 31(5): 1075-1089.
- [5] 寇丹,苏德荣,吴迪,李岩.地下调亏滴灌对紫花苜蓿耗水、产量和品质的影响.农业工程学报,2014,30(2):116-123.
Kou D, Su D R, Wu D, Li Y. Effects of regulated deficit irrigation on water consumption, hay yield and quality of alfalfa under subsurface drip irrigation. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(2): 116-123. (in Chinese)
- [6] 孔清华,李光永,王永红,温义刚.不同施肥条件和滴灌方式对青椒生长的影响.农业工程学报,2010,26(7):21-25.
Kong Q H, Li G Y, Wang Y H, Wen Y G. Influences of subsurface drip irrigation and surface drip irrigation on bell pepper growth under different fertilization conditions. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(7): 21-25. (in Chinese)
- [7] 曹雪松,李和平,郑和祥,佟长福,王军,杨波.地理滴灌紫花苜蓿灌水均匀性研究.灌溉排水学报,2015,34(z1):72-74.
Cao X S, Li H P, Zheng H X, Tong C F, Wang J, Yang B. Irrigation uniformity of underground drip irrigation for alfalfa. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(z1): 72-74. (in Chinese)
- [8] 杜文波.日光温室番茄应用滴灌水肥一体化技术初探.山西农业科学,2009,37(1):58-60.
Du W B. Effects of drip fertigation on tomato in the solar greenhouse. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2009, 37(1): 58-60. (in Chinese)
- [9] 田福平,张自和,陈子萱,王锁民.硅对紫花苜蓿产量的影响.甘肃农业大学学报,2005(1):42-47.
Tian F P, Zhang Z H, Chen Z X, Wang S M. Effect of Si fertilizer on yield of alfalfa. Journal of Gansu Agricultural University, 2005(1): 42-47. (in Chinese)
- [10] Lux A, Luxova M, Abe J, Morita S, Inanaga S. Silicification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) root and leaf. Plant and Soil, 2003(255): 85-91. (in Chinese)
- [11] 宫海军,陈坤明,陈国仓,王锁民,张承烈.硅对小麦生长及其抗氧化酶系统的影响.土壤通报,2003,34(1):55-57.
Gong H J, Chen K M, Chen G C, Wang S M, Zhang C L. Effects of silicon on the growth of wheat and its antioxidative enzymatic system. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(1): 55-57. (in Chinese)
- [12] 李清芳,马成仓,李韩平,萧云丽,刘雪艳.土壤有效硅对大豆生长发育和生理功能的影响.应用生态学报,2004,15(1):73-76.
Li Q F, Ma C C, Li H P, Xiao Y L, Liu X Y. Effects of soil available silicon on growth, development and physiological functions

- of soybean. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(1): 73-76. (in Chinese)
- [13] 郭正刚, 田福平, 王锁民, 张自和. 硅对紫花苜蓿生物学特性的影响. 生态学报, 2006, 26(10): 3302-3307.
Guo Z G, Tian F P, Wang S M, Zhang Z H. Effect of silicon supply on alfalfa growth. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3302-3307. (in Chinese)
- [14] 刘慧霞, 郭正刚, 周雪荣, 郭兴华, 邹文辉, 王爱国. 硅对紫花苜蓿根系生长的影响. 中国草地学报, 2009, 31(1): 28-31.
Liu H X, Guo Z G, Zhou X R, Guo X H, Zou W H, Wang A G. Effects of silicon on root growth of lucerne. Chinese Journal of Grassland, 2009, 31(1): 28-31. (in Chinese)
- [15] 刘慧霞, 郭正刚, 郭兴华, 周雪荣, 惠文森, 王康英. 不同土壤水分条件下硅对紫花苜蓿水分利用效率及产量构成要素的影响. 生态学报, 2009, 29(6): 3075-3080.
Liu H X, Guo Z G, Guo X H, Zhou X R, Hui W S, Wang K Y. Effect of addition of silicon on water use efficiency and yield components of alfalfa under the different soil moisture. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 3075-3080. (in Chinese)
- [16] 李琪, 陈利顶, 齐鑫, 张心昱, 马岩. 流域尺度农业磷流失危险性评价与关键源区识别方法. 应用生态学报, 2007, 18(9): 1982-1986.
Li Q, Chen L D, Qi X, Zhang X Y, Ma Y. Catchment scale risk assessment and critical source area identification of agricultural phosphorus loss. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(9): 1982-1986. (in Chinese)
- [17] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 67-70.
Zhang L Y. Analysis of Feed and Feed Quality Detection Technology. Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 67-70. (in Chinese)
- [18] 于立河, 高聚林. 硅对小麦产量与籽粒品质的影响. 麦类作物学报, 2012, 32(3): 469-473.
Yu L H, Gao J L. Effects of silicon on yield and grain quality of wheat. Journal of Triticeae Crops, 2012, 32(3): 469-473. (in Chinese)
- [19] 常春荣, 龚真真, 廖基兴. 硅肥对南方花生产量和品质效应研究. 中国农学通报, 2006, 22(11): 432-435.
Chang C R, Gong M Z, Liao J X. Effect of silicon fertilizer on peanut yield and quality in south China. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(11): 432-435. (in Chinese)
- [20] 李清芳, 马成仓. 土壤有效硅对棉花幼苗营养代谢的影响. 中国农业科学, 2003, 36(6): 726-730.
Li Q F, Ma C C. Effect of available silicon in soil on nutritive metabolism of cotton seedling. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(6): 726-730. (in Chinese)
- [21] 王晓岑, 王东, 李淑芹, 许景钢. 响应曲面法优化硅磷交互作用下的水稻产量. 中国农学通报, 2010, 26(6): 104-109.
Wang X C, Wang D, Li S Q, Xu J G. Application of response surface methodology for optimization of rice yield by treatments of silicate fertilizer and phosphorus fertilizer. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(6): 104-109. (in Chinese)
- [22] Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1994, 91(1): 11-17.
- [23] 田福平, 张自和, 陈子莹, 李尚中, 路远. 硅对紫花苜蓿分枝数、开花数和结荚数及叶面积的影响. 中国草地学报, 2007, 29(6): 43-47.
Tian F P, Zhang Z H, Chen Z X, Li S Z, Lu Y. Effect of Si on shoots, inflorescences and leaf area of alfalfa. Chinese Journal of Grassland, 2007, 29(6): 43-47. (in Chinese)
- [24] Lux A, Luxova M, Hattori T, Inanaga S, Sugimoto Y. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. Physiologia Plantarum, 2002, 115(1): 87-92.
- [25] 郑明珠, 刘金荣, 秦伟志, 杨有俊. 硅对于旱胁迫下草地早熟禾形态及生理特性的影响. 草业科学, 2011, 28(6): 1009-1013.
Zheng M Z, Liu J R, Qin W Z, Yang Y J. Effects of silicon on Kentucky bluegrass under drought stress. Pratacultural Science, 2011, 28(6): 1009-1013. (in Chinese)
- [26] 王生银, 李泽西, 白贺兰, 柴琦. 园艺硅肥提高草地早熟禾抗旱性的效应及机制. 草业科学, 2008, 25(2): 116-120.
Wang S Y, Li Z X, Bai H L, Chai Q. Effects and mechanisms of silicon on drought resistance of Kentucky bluegrass. Pratacultural Science, 2008, 25(2): 116-120. (in Chinese)
- [27] 刘慧霞, 王康英, 郭正刚. 不同土壤水分条件下硅对紫花苜蓿生理特性及品质的影响. 中国草地学报, 2011, 33(3): 22-27.
Liu H X, Wang K Y, Guo Z G. Effect of silicon on some physiological biochemical characteristics and quality of alfalfa under different soil moistures. Chinese Journal of Grassland, 2011, 33(3): 22-27. (in Chinese)

(责任编辑 王芳)