

北京地区施硫肥对苜蓿形态和产量的影响

周¹, 汪诗平^{2*}, 陈默君³

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008;
3. 中国农业大学草地研究所, 北京 100094)

摘要:在北京地区进行了不同施硫肥水平对苜蓿生产和土壤有效硫(NaHCO_3 浸提)含量变化的影响的试验。结果表明,施硫肥显著增加了苜蓿的生长和发育,延长了第4茬的生长期;养分缺乏导致更多光合产物分配到茎部,使茎叶比增加。施硫肥增大了苜蓿最新展开的三出复叶的叶面积,叶绿素含量升高,最终提高苜蓿干物质产量30%左右。在相同或相近的密度下,苜蓿初花期的高度可以很好地预测其干物质产量。生长季结束时不施硫肥的土壤有效硫含量显著比生长季前的低,土壤中各层次有效硫含量与苜蓿干物质总产量间均存在显著性正相关。总体上,0~45 cm 土壤中以 NaHCO_3 浸提的有效硫含量在 20~30 mg/kg 较适宜。

关键词:北京地区;硫肥;苜蓿形态;干物质产量

中图分类号: S551.706 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2005)05-0075-06

* 近几年来,硫被认为是植物生长发育所需的四大营养元素之一,仅次于氮、磷、钾,在一些发达国家,其施用量与磷相当^[1-5]。目前世界上许多国家和地区的作物都不同程度地表现出缺硫症状,其主要原因是精耕细做、作物产量大幅度增加和不含硫肥的肥料大量施给,以及对硫素营养的忽视等^[6-13]。大田和温室试验研究均表明硫肥显著提高了牧草的产量和品质,并且是获得最大经济产量不可缺少的营养成分^[11,14-18]。苜蓿是“牧草之王”,在全世界广泛种植,面积达3300万 hm^2 以上,而我国达134万 hm^2 以上,目前我国苜蓿产业化建设正在以前所未有的速度发展^[19]。由于苜蓿产量高,达13~22 t/hm^2 ,每年需硫量为39~66 kg/hm^2 ^[20]。施硫肥不仅能提高苜蓿的产量和品质,而且还能改善家畜的营养状况,特别是提高和改善羊毛产量和品质及乳牛的产奶量和品质^[9,12,21]。近年来随着我国特别是北京地区环境污染的治理,尤其是 SO_2 释放源的控制,使得植物缺硫症状进一步加重,缺硫土壤的面积也必将进一步扩大,因此,在北京地区研究施硫肥对苜蓿生产的影响,将对苜蓿产业化的健康发展有科学的理论和实践意义。本研究主要探讨施硫肥对苜蓿形态特征和产量的影响。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

该试验在原北京农业大学(现中国农业大学)草地科学组的东北旺试验样地里进行,该地位于116°0'E, 39°58'N,海拔50 m,属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,年均气温11℃左右,年均降水680 mm左右;全年无霜期225 d左右;土壤为潮土,冲击母质,地下水2~3 m^[22]。土壤呈碱性,有机质含量低,钾含量中上等,而磷、硫较缺。

1.2 试验设计

该试验选择播种第3年的肇东苜蓿(*Medicago sativa*)地进行硫肥试验。当年播种量为11.5 kg/hm^2 ,条播,每畦5行,长14 m,行距40 cm(即小区面积为2 m × 14 m)。前2年没有施过任何肥料。试验选择4畦苜蓿生长均匀的地块,按完全随机区组设计设置试验小区。试验前(苜蓿返青前)按5点法分层(0~15, 15~30和30~45 cm)取土壤样品进行基本化学成分分析;然后,在所有小区中分别按45 kg/hm^2 的氮(尿素)和磷(三料过石,美国进口,含46% P_2O_5)的水平进行施肥,3个硫(硫酸钾)水平分别为0, 28.5和57.0 kg/hm^2 ,这3个处理分别记为NPS0, NPS1和NPS2。所有混合肥料表面沟施,深3~5 cm,施肥后覆土。此外,按《苜蓿的科学和技术》(中国农

* 收稿日期:2004-03-16

基金项目:国家十五攻关项目(2002BA518A03-02)和中国科学院院长基金资助。

作者简介:周 (1969-),男,浙江诸暨人,助研,大学本科。E-mail: yzhou@cjac.org.cn

* 通讯作者。

科院畜牧所饲料室和农牧渔业部畜牧局草原处译,1986)一书中有关建议,用水溶液喷洒一些微量元素,包括铁、硼、锰、铜、锌。同时,设置空白对照组,即不施任何肥料(NOP0S0),每处理重复3次。试验期间,采用暗管农渠,机井灌溉,分别在返青前和每次刈割后灌溉1次。人工去除杂草。

1.3 田间观测和取样

1.3.1 植株高度 在返青后或刈割后再生的第7天开始,每个小区随机选择5株植株标记,然后每间隔7d定期测量从地面到顶部的高度,直到初花期为止。

1.3.2 再生速度 每个小区随机选择5株植株标记,模拟自然放牧条件,每间隔7d刈割1次,测定再生高度。

1.3.3 叶面积 在初花期随机选择10株植株已完全展开的3片小叶,用游标卡尺测量最大长度和宽度,按椭圆形计算叶片的面积。

1.3.4 叶绿素含量 取上述叶片研碎并用丙酮浸提,按文献[23]有关方法分析叶绿素含量。

1.3.5 初花期产量 记录各处理到达初花期的天数,初花期时在每个小区选择1m×1m(覆盖3行苜蓿)的样方离地面5cm高度刈割,称其鲜重,然后在70℃下烘干48h称重;测量产量后,所有苜蓿全部刈割掉。

1.3.6 土壤样品 每次刈割后按上述相同方法分层取土壤样品,然后用0.5 mol/L NaHCO₃分析土壤中有效硫和其他养分的含量^[24]。

1.4 数据分析

按文献[25]的方法用SPSS软件进行多重比较分析。

2 结果和分析

2.1 苜蓿生产的响应

图1表明,除第1周外,施硫肥显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)地提高了各茬次的苜蓿生长速度,但2种施硫肥水平(NPS1和NPS2)之间差异不显著($P > 0.05$)。在第1茬初花期时,施硫肥苜蓿绝对高度达100cm以上,而不施硫肥的处理苜蓿高度只有90cm左右;但仅施氮、磷等肥料而不施硫肥时(NPS0)与空白对照处理(NOP0S0)之间差异不显著。在第2和第3茬,除了施硫肥显著提高了苜蓿的生长以外,达到初花期所需的生长时间缩短了7d;同时发现,处理NPS0比NOP0S0显著提高了苜蓿的生长,说明此时其他养分可能开始限制苜蓿的生长,特别是磷,因为苜蓿通过共生固氮可以解决部分或全部氮营养的问题^[2~4,26,27]。施硫肥的处理在初花期刈割3茬需要133d,而不施硫肥的处理则需要147d,总共缩短了14d。

在每间隔7d进行频繁刈割下(模拟放牧),发现施硫肥显著提高了苜蓿的再生速度(2种施硫肥处理间差异不显著),且处理NPS0的苜蓿再生速度显著高于NOP0S0(图2)。由于频繁的刈割,苜蓿的再生速度显著地低于正常状况下的生长速度,此时,在高强度的利用条件下,不仅硫是苜蓿生长的限制性因子,且氮、磷等其他营养元素也限制了苜蓿的再生。施硫肥显著提高了苜蓿最新完全展开的三出小叶的叶面积(第3茬除外)(图3),仅在第1茬处理NPS0与NOP0S0相比存在显著性差异。

所有茬次中施硫肥都明显地降低了苜蓿茎叶比,同时与对照(NOP0S0)相比,处理NPS0也显著降低了苜蓿的茎叶比(图4),说明在养分亏缺的情况下,植物将更多的光合产物用于茎的生产,以便在与相邻植株竞争光资源时占优势。同时,施硫肥显著增加了叶绿素含量(图5),从而为增加单位面积内干物质产量奠定了物质基础。

施硫肥显著或极显著增加了各茬次苜蓿干物质产量,除第1茬外,处理NPS0与NOP0S0相比,苜蓿干物质产量也显著的得到提高。尽管各茬次内2种施硫肥间的差异未达到显著水平,但就全年4茬苜蓿总干物质产量而言,处理NPS2和NPS1间的差异达到显著水平(图6)。施硫肥的苜蓿全年干物质产量为18t/hm²左右,而不施硫肥只有14t/hm²左右。苜蓿初花期茎高与干物质产量间存在极显著相关关系,其回归方程为: $y = -7.929 + 0.178x^{**}$, $r^2 = 0.964$ ($P < 0.001$),即初花期苜蓿绝对高度平均每增加1cm,干物质产量增加0.178t/hm²。

2.2 土壤有效硫的变化及与干物质产量间的关系

从图7可以看出,不施硫肥处理(NOP0S0和NPS0)自第1茬后土壤中各层次的有效硫含量均明显下降,尤其是下层土壤(30~45cm)中的有效硫含量降低较快,到生长季结束时,处理NOP0S0三个层次的土壤中有有效硫含量分别比试验前下降了24%、43%和40%;而处理NPS0土壤有效硫含量降低更快,分别下降了34%、37%

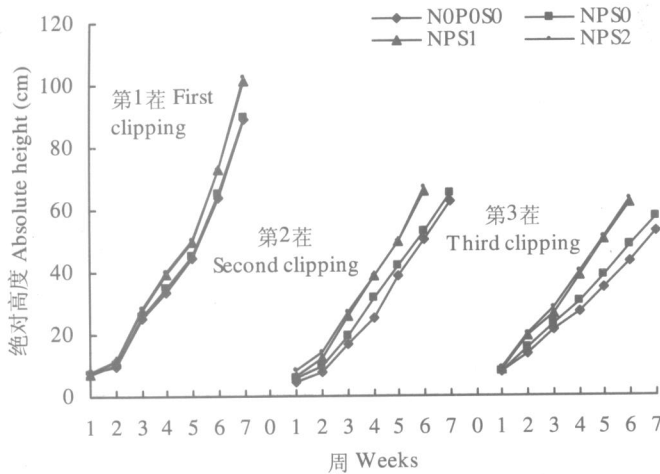


图 1 不同施肥处理对不同茬次苜蓿绝对生长的影响
Fig. 1 Influence of different fertilizer treatments on absolute height of stem under different clipping times

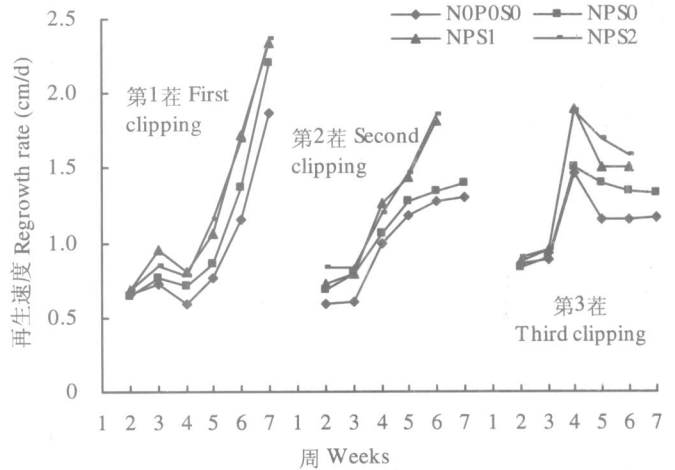


图 2 不同施肥处理对间隔 1 周刈割 1 次的苜蓿再生速度的影响
Fig. 2 Influence of different fertilizer treatments on re-growth rate of absolute height under defoliation of a week interval

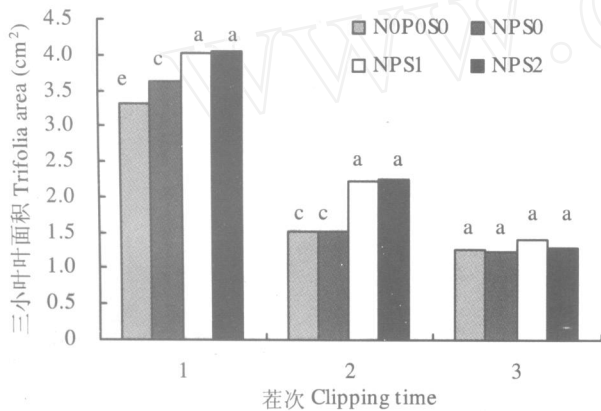


图 3 不同施肥处理对不同茬次顶部三小叶叶面积大小的影响
Fig. 3 Influence of different fertilizer treatments on trifoliate leaf area under different clipping times

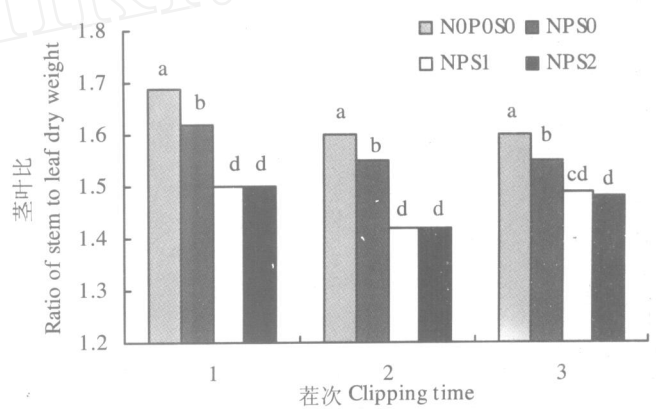


图 4 不同施肥处理对不同茬次苜蓿茎叶干重比的影响
Fig. 4 Influence of different fertilizer treatments on the ratio of stem to leaf dry matter under different clipping times

不同字母表示显著性差异 ($P < 0.01$) Significance between different letters at 0.01 level

不同字母表示显著性差异 ($P < 0.01$) Significance between different letters at 0.01 level

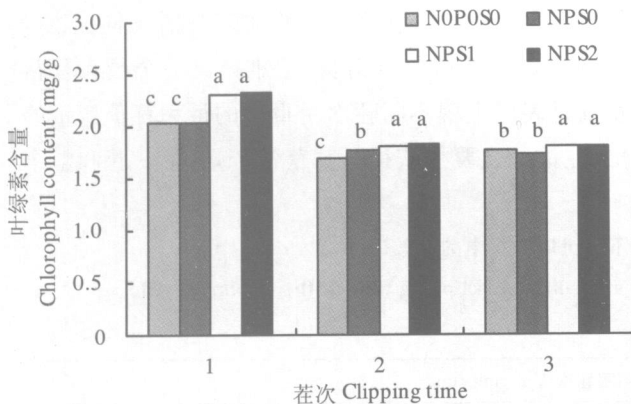


图 5 不同施肥处理对不同茬次苜蓿叶绿素含量的影响
Fig. 5 Influence of different fertilizer treatments on chlorophyll content under different clipping times

不同字母表示显著性差异 ($P < 0.01$) Significance between different letters at 0.01 level

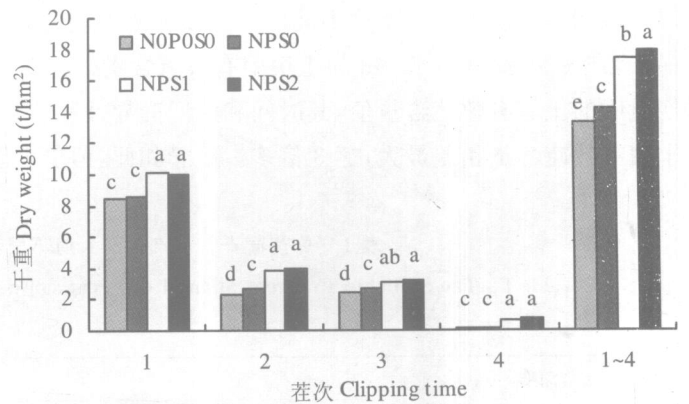


图 6 不同施肥处理对不同茬次和全年总干物质产量的影响
Fig. 6 Influence of different fertilizer treatments on dry matter yield under different clipping times

不同字母表示显著性差异 ($P < 0.01$) Significance between different letters at 0.01 level

和 45 %。对于施硫肥的处理(NPS1 和 NPS2)而言,土壤中有有效硫的含量显著增加,在第 1 茬苜蓿刈割后,施在地表面的硫肥已经被淋溶到 30~45 cm 以下,致使 15~30 和 30~45 cm 的土层有效硫含量提高了 80%~160%;但自第 2 茬以后,土壤中有有效硫含量下降也较快,一则是由于苜蓿的吸收,更重要的可能是被淋溶到更下层的土壤中。尽管如此,到生长季结束时,施硫肥处理土壤中的有效硫含量仍显著高于试验前水平。

相关分析表明,苜蓿地上干物质产量与 0~15,15~30 和 30~45 cm 土壤中有有效硫含量间均存在极显著正相关关系,相关系数分别为 0.521^{**},0.554^{**}和 0.574^{**}。

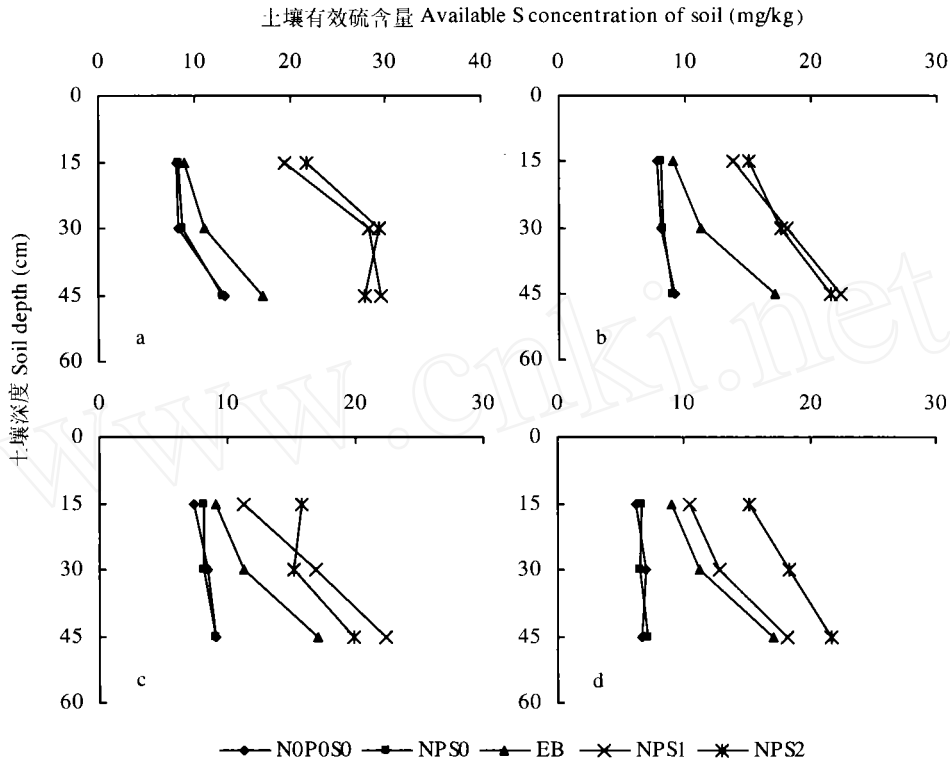


图 7 不同施肥处理不同茬次下土壤有效硫含量的变化

Fig. 7 Influence of different fertilizer treatments on available S concentration in soils under different clipping time

a:第 1 茬 First clipping time; b:第 2 茬 Second clipping time; c:第 3 茬 Third clipping time; d:第 4 茬 Forth clipping time; EB:试验前状况 Experimental beginning

根据干物质产量与土壤不同层次有效硫浓度间的回归方程,可以得出最大总苜蓿干物质产量时不同茬次 0~15,15~30 和 30~45 cm 的土壤中有有效硫含量(表 1)。从表 1 可以看出,就全年而言,很难得出一个最大苜蓿产量时的土壤有效硫含量值,其时间和空间变异性都非常大,特别是表层土壤不同茬次所得出的最大苜蓿产量的土壤有效硫含量相差最大,达 3 倍多。尽管如此,但仍可以看出,在该地区要想获得最高苜蓿产量,第一茬和整个

表 1 总苜蓿干物质产量最大时不同茬次不同土壤层次中的有效硫含量

Table 1 The available S concentration of different soil depths after different clipping time at the maximum yield

土壤深度 Soil depth (cm)	刈割茬次 Clipping time			
	1	2	3	4
0~15	38.8	46.6	13.2	13.8
15~30	28.5	15.3	13.9	16.9
30~45	25.7	19.0	19.1	30.2

mg/ kg

生长季结束时的 0~45 cm 土壤有效硫平均含量分别不应低于 30 和 20 mg/kg。因此,与对照组相比,该地区严重缺硫。

3 讨论与结论

尽管人们很早就认识到硫是植物四大营养元素之一,并且已经证明在许多国家和地区硫的缺乏广泛存在^[6,10],但在我国并未引起足够的重视,目前主要在水稻和其他一些经济作物上研究较多^[28~30],而在苜蓿等牧草的研究上较少。究其原因,除了不受重视及肥料种类和数量等限制外,可能还与过去的大气污染较重,大气中硫沉降或 SO₂ 直接被植物所吸收^[30],因而全部或部分掩盖了土壤的缺硫现象有关,特别是在北京等北方大中型城市地区。欧洲的经历表明,在 20 世纪 80 年代以前,如 1955 - 1956 年欧洲从大气中输入的硫达 80 kg/(hm²·a),而 1984 - 1985 年硫的沉降约为 20 kg/(hm²·a)^[31],主要是欧洲实施了严格控制环境污染的有关法律,大大降低了 SO₂ 排放量,此前,很少有硫缺乏的报道,但此后在许多种作物上都表现为不同程度的硫缺乏症状^[7]。因此可以预见,随着环境治理和生态工程建设的开展,我国北方土壤缺硫面积和程度将可能严重制约着各种作物的生长和发育,甚至影响农产品的品质。

在北京地区,施硫肥显著增加了苜蓿的生长和发育以及干物质产量,因此要想获得苜蓿生产的高产,硫是关键的营养元素之一。

参考文献:

- [1] Morris R J. Sulphur — the fourth major nutrient[M]. Republic of Korea: Proceeding International Symposium on Sulphur for Korean Agriculture Seoul, 1988. 9-16.
- [2] 汪诗平,陈默君. 硫肥对苜蓿生产的影响[J]. 中国草地, 1992, 15(4): 53-56.
- [3] 汪诗平,陈默君. 氮肥对苜蓿生产的影响[J]. 中国草地, 1992, 15(5): 74-77.
- [4] 汪诗平,陈默君. 磷肥对苜蓿生产的影响[J]. 中国草地, 1992, 15(6): 66-69.
- [5] 汪诗平,陈默君. 钾肥对苜蓿生产的影响[J]. 中国草地, 1993, 16(4): 71-74.
- [6] Gowrisankar D, Shukla L M. Evaluation of extractants for predicting availability of sulphur to mustard in Inceptisols[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1999, 30: 2643-2654.
- [7] Schnug E. Sulphur in agrosystems[M]. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998.
- [8] 汪诗平,姚依群,王艳芬. 内蒙古典型草原放牧生态系统硫循环模式的研究[J]. 草地学报, 1998, 6(4): 252-257.
- [9] 汪诗平,王艳芬. 硫肥对内蒙古细毛羊氮和硫代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2000, 12(2): 53-56.
- [10] Wang S P, Wang Y F, Chen Z Z, et al. Sulphur concentration of soils and plants and its requirement for ruminants in the Inner Mongolia steppe of China[J]. Grass and Forage Science, 2001, 56: 418-422.
- [11] Wang S P, Wang Y F, Schnug E, et al. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on oats yield and quality and digestibility, nitrogen and sulphur metabolism by sheep in the Inner Mongolia steppes of China[J]. Nutrients Cycling in Agroecosystems, 2002, 62: 195-202.
- [12] Wang S P, Wang Y F, Cui X Y, et al. Influence of sulphur fertilizer on sulphur cycling and its implications on sulphur fertilizer requirement of grazed pasture in warm seasonal rangeland of Inner Mongolia steppe of China[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44: 204-211.
- [13] Zhao F J, Hawkesford M J, Warrilow A G S, et al. Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency[J]. Plant and Soil, 1996, 181: 317-327.
- [14] Aulakh M S, Arora B R. Effect of sulphur fertilizer on the nitrogen - sulphur relationships in alfalfa[J]. Plant and Soil, 1976, 45: 75-80.
- [15] Beaton J D, Wagner R E. Sulphur — a vital component of maximum economic yield systems[J]. Sulphur in Agriculture, 1985, 9: 12-17.
- [16] Nuttall W F. Effect of N, P and S fertilizers on alfalfa grown on three soil types in Northeastern Saskatchewan I. Yield and soil test[J]. Agronomy Journal, 1985, 77: 41-46.
- [17] Rehm G W. Application of phosphorus and sulphur on irrigated alfalfa[J]. Agronomy Journal, 1987, 79: 973-979.
- [18] 姚依群,汪诗平,王艳芬. 硫肥对内蒙古典型草原牧草和绵羊生产性能的影响[J]. 草地学报, 1997, 6(4): 34-40.

- [19] 郭正刚,张自和,王锁民,等.不同紫花苜蓿品种在黄土高原丘陵区适应性的研究[J].草业学报,2003,12(4):45-50.
- [20] Seim E C,Caldwell A C,Rehm G W. Sulfur response by alfalfa on a sulfur - deficient soil[J]. Agronomy Journal,1969,61:368-371.
- [21] Tisdale S L. Sulphur in forage quality and ruminant nutrition[M]. USA:The Sulphur Institute of Tech.Bull.,1977.
- [22] 熊毅,李庆逵.中国土壤[M].北京:科学出版社,1987.
- [23] 华东师范大学生物系植物教研组.植物生理学方法[M].北京:人民教育出版社,1980.88-90.
- [24] 李酉开.土壤化学分析方法[M].北京:科学出版社,1983.
- [25] 范濂编.农业试验统计方法[M].郑州:河南科学技术出版社,1983.
- [26] 姜薇,关秀清,于井朝.生物固氮在集约化草地畜牧业中的作用[J].草业学报,2003,12(6):42-46.
- [27] 曾昭海,隋新华,胡跃高,等.紫花苜蓿-根瘤菌高效共生体筛选及田间作用效果[J].草业学报,2004,13(5):95-100.
- [28] Hu Z Y,Yang Z H,Xu C K,*et al.* Effect of crop growth on the distribution of soil sulfur fractions in the rhizosphere[J].Journal of Plant Nutrition and Soil Science,2002,165:249-254.
- [29] Hu Z Y,Beaton J D,Cao Z H,*et al.* Sulphate formation and extraction from red soil treated with micronized elemental sulphur fertilizer and incubated in closed and open systems[J]. Communication on Soil Science and Plant Analysis,2002,33(11,12):1779-1797.
- [30] Fan M X,Messick D L. The current status of S in Chinese agriculture[J]. Sulphur in Agriculture,1997,20:71-79.
- [31] Schnug E,Holz F. Deposition of nitrate - N and sulfate - S by precipitations in Schleswig - Holsrein[J]. Atmosphere Environment,1987,21:1235-1241.

Effect of sulfur fertilizer on the morphology and production of *Medicago sativa* in the Beijing region

ZHOU Yong¹,WANG Shi-ping²,CHEN Mo-jun³

(1. Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xi 'ning 810008, China; 3. The Grassland Institute of China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract : This experiment was conducted in order to study the effect of sulfur fertilizer application on both *Medicago sativa* production and on soil available S as extracted by NaHCO₃, in the Beijing region. The results showed that S application significantly increased *M. sativa* production and development as well as growth rate, regeneration rate, stem height and basal stem diameter. Further, S application significantly enhanced trifoliate leaf area and chlorophyll concentration and decreased the ratio of stem to leaf dry matter (DM). Soil available S extracted by NaHCO₃ at the end of the experiment was significantly lower without S application compared with what was extracted at the beginning of the growth season. The correlations between total DM yield per year and soil available S at different soil depths were significant. Overall 20 - 30 mg/ kg available S in soils was required for the maximum DM yield to be achieved, although the spatial and temporal variations of soil available S were shown to be large within the growing season.

Key words : Beijing region ; S fertilizer ; *Medicago sativa* morphology ; DM production