

北京地区施硫肥对苜蓿品质及消化率的影响

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: 在北京潮土地区施硫肥(S)显著提高了苜蓿粗蛋白和粗灰分含量,降低了粗纤维含量。苜蓿植株体内的S含量从0.19%提高到0.33%左右,增幅达50%~70%;同时施硫肥还提高了K的含量,但降低了P和Na的含量,显著降低了N/S。植株体内的S含量只与N、K含量高度正相关。施硫肥显著提高了含硫氨基酸(半胱氨酸和蛋氨酸)的含量;另外,还显著提高了第1,2茬的苏氨酸、丙氨酸和精氨酸的含量,对其他氨基酸含量的影响不一致。除谷氨酸和缬氨酸外,含硫氨基酸与其他氨基酸含量间均呈显著或极显著负相关。施硫肥还显著提高了干物质和有机质的消化率,而对粗蛋白的消化率影响不显著;干物质与有机质消化率与纤维素含量呈高度负相关,而与粗蛋白和粗灰分含量高度正相关。第1~3茬苜蓿适宜的含硫量范围分别为0.23%~0.38%,0.28%~0.37%和0.28%~0.38%,适宜的N/S为(9.0~12.8)1。2种施硫肥的当年利用效率为87.5%和54.7%。

关键词: 北京地区;硫肥;苜蓿;品质和消化率

中图分类号: S551.7;S816.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2005)06-0067-06

* 硫肥对苜蓿(*Medicago sativa*)和其他作物的生产非常重要,不仅提高了植物的产量,还能改善产品的品质,生长在充足含硫土壤中的植物含有较高的含硫氨基酸,因此,在高品质蛋白质产品中的硫作用正引起更大的研究兴趣^[1~10]。施硫肥还能提高植物体中S的含量,但降低了P的含量,也有人报道硫肥增加了N和Mn的含量,降低了B的含量,而对K、Ca、Mg、Zn、Mo、Co和Na等含量的影响不稳定^[11]。通过土壤和植物分析可以预测土壤是否缺硫,但植物分析更为有效^[1]。植物体中硫的含量随植物生长物候期的变化而不同,而N/S则很少受成熟阶段的影响^[12,13],故很多人都建议用N/S作为判断土壤是否缺硫的指标^[7,13]。如以最高干物质产量时的S含量和N/S作为植株体内的临界值上限,将最高产量的90%时的S含量和N/S作为临界值的下限,则可以得出它们的适宜临界范围^[14]。

本研究在探讨硫肥对苜蓿形态和产量形成影响的基础上,进一步研究施硫肥对苜蓿品质及体外消化率的影响,并用植株体内的含硫量及N/S作为指标,判断土壤的缺硫状况,为该地区的苜蓿生产进一步提供科学数据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

该试验在中国农业大学草地科学组东北旺试验样地里进行,该地位于116°E,39°58'N,海拔50m,属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,年均温11℃左右,年均降水680mm左右;全年无霜期225d左右;土壤为潮土,冲击母质,地下水2~3m^[15]。土壤呈碱性,有机质含量低,K含量中上等,而P、S较缺。试验期间,人工去除杂草,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。

1.2 试验设计

该试验选择播种第3年的肇东苜蓿地进行硫肥试验。当年播种量为11.5kg/hm²,条播,每畦5行,长14m,行距40cm(即小区面积为2m×14m)。前2年没有施过任何肥料。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30~45cm)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45kg/hm²的氮(尿素)和磷(三料过磷酸钙,美国进口,含46%

* 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的资助。

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

*通讯作者。E-mail: wangship@yahoo.com

P₂O₅)水平进行施肥,3个硫(硫酸钾)水平为0,28.5和57.0 kg/hm²,将这3种处理分别记为NPS0、NPS1和NPS2。所有肥料混合表面沟施,深3~5 cm,施肥后覆土。此外,按文献[16]有关建议,用水溶液喷洒一些微量元素,包括铁、硼、锰、铜和锌。同时,还设置空白对照组,即不施肥组(NOP0S0)。每种处理重复3次。初花期时在每个小区选择1 m × 1 m(覆盖3行苜蓿)的样方离地面5 cm高度刈割,称其鲜重,然后在70 °C下烘干48 h称重;测产后,所有苜蓿全部刈割掉。植物样品的营养成分分析参见文献[17]上的方法进行;植株体内的大量和微量元素分析采用HNO₃-HClO₄消煮法消化,然后用ICAP-9000型电感耦合等离子发射光谱计进行测定。利用835-50型氨基酸自动分析仪测定氨基酸含量。干物质(DM)、有机质(OM)和粗蛋白(CP)的消化率均采用体外酶解两步法进行。

1.3 数据分析

所有数据均按文献[18]上的方法进行多重比较分析。

2 结果

2.1 苜蓿营养成分

施硫肥显著提高了粗蛋白和粗灰分的含量,而显著降低了粗纤维的含量(图1~3),对粗脂肪和无氮浸出物含量的影响不显著。2种施硫肥间的差异很少达到显著性水平,只有第2茬NPS2处理的苜蓿粗纤维含量显著低于NPS1(图3)。另外,与NOP0S0处理相比,除第1茬外,NPS0处理也显著提高了粗蛋白的含量,而在第2茬粗灰分含量显著增加,粗纤维含量显著下降。说明该试验地不仅缺硫,而且其他营养元素也较缺乏。

施硫肥后,苜蓿植株体内的S含量从0.19%提高到0.33%左右;同时提高了K的含量,但降低了P和Na的含量(第1茬除外),第1茬Ca、Mg、Zn、Mo和Co含量也显著下降,其他元素含量各茬次间没有一致的反应(表1,2)。尽管施硫肥同时增加了苜蓿体内N(图1)和S的含量,但却显著降低了N/S(表1),说明S含量的提高比N更大。另外,NPS0处理与NOP0S0相比,植株体内P的含量显著提高,而在第1茬显著增加了N/S,说明在快速生长的条件下施其他肥料可能加剧了硫的缺乏,对其他元素很少有一致性影响。

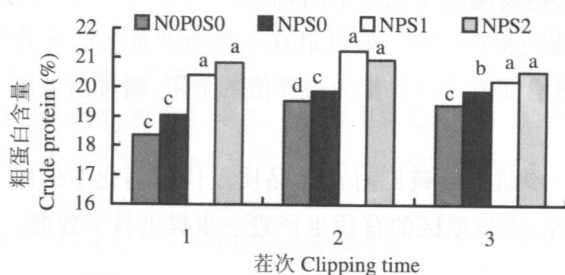


图1 不同施肥处理对不同茬次苜蓿粗蛋白含量的影响

Fig. 1 Influence of different fertilizer treatments on crude protein of *M. sativa* under different clipping times

图中不同字母表示差异显著($P < 0.05$),下同 Different letters mean significant difference at $P < 0.05$, the same below

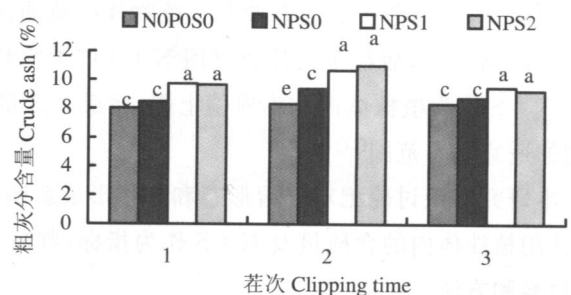


图2 不同施肥处理对不同茬次苜蓿粗灰分含量的影响

Fig. 2 Influence of different fertilizer treatments on crude ash of *M. sativa* under different clipping times

2.2 氨基酸含量

从表3可以看出,施硫肥主要对含硫氨基酸(半胱氨酸和蛋氨酸)有显著的影响,特别是对蛋氨酸含量,3茬内均有显著性的提高;另外,与半胱氨酸类似,施硫肥还显著提高了第1,2茬的苏氨酸、丙氨酸和精氨酸的含量,对其他氨基酸含量的影响不一致。处理NPS0与NOP0S0相比,主要在第1茬存在显著性的差异,前者显著提高了其中11种氨基酸的含量,而在第2,3茬基本上没有显著性的影响(表3)。

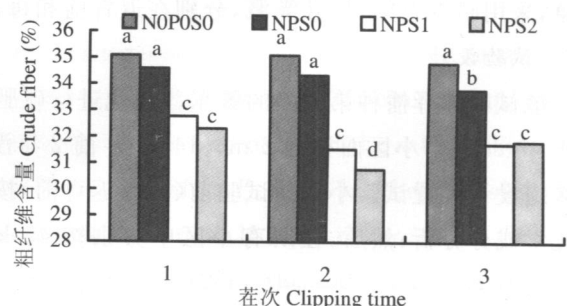


图3 不同施肥处理对不同茬次苜蓿粗纤维含量的影响

Fig. 3 Influence of different fertilizer treatments on crude fiber of *M. sativa* under different clipping times

表 1 不同施肥处理对不同茬次苜蓿大量元素含量的影响

Table 1 Influence of different fertilizer treatments on macro-elements concentration of *M. sativa* under different clipping times

茬次 Clipping time	处理 Treatment	磷 P (%)	钾 K (%)	硫 S (%)	钙 Ca (%)	镁 Mg (%)	钠 Na (%)	氮/硫 N S
1	N0P0S0	0.27 c	1.49 c	0.21 c	2.63 b	0.46 ab	0.14 a	14.7 c
	NPS0	0.33 a	1.42 c	0.19 c	2.90 a	0.51 a	0.14 a	17.0 a
	NPS1	0.33 a	1.90 a	0.32 a	2.38 c	0.45 ab	0.14 a	10.2 e
	NPS2	0.32 a	1.81 a	0.34 a	2.37 c	0.42 b	0.16 a	9.8 e
2	N0P0S0	0.28 e	1.46 d	0.21 e	1.78 a	0.38 a	0.06 a	15.3 a
	NPS0	0.34 a	1.43 d	0.20 e	1.53 b	0.36 a	0.06 a	15.9 a
	NPS1	0.32 c	1.54 c	0.31 c	1.58 ab	0.35 a	0.04 c	11.2 c
	NPS2	0.30 d	1.74 a	0.35 a	1.55 b	0.34 a	0.04 c	9.6 d
3	N0P0S0	0.28 e	1.31 c	0.23 e	1.58 a	0.43 a	0.04 a	13.8 a
	NPS0	0.33 a	1.32 c	0.24 e	1.56 a	0.43 a	0.04 a	13.3 a
	NPS1	0.31 bc	1.49 a	0.29 c	1.58 a	0.38 a	0.03 b	11.2 c
	NPS2	0.30 cd	1.53 a	0.34 a	1.63 a	0.43 a	0.03 b	9.7 e

注:同茬次同列数据有相同字母者表示差异不显著 ($P>0.05$),下同。

Note: No significant difference for the values followed by the same letter ($P>0.05$), the same below.

表 2 不同施肥处理对不同茬次苜蓿微量元素含量的影响

Table 2 Influence of different fertilizer treatments on micro-elements concentration of *M. sativa* under different clipping times

茬次 Clipping time	处理 Treatment	铁 Fe	锰 Mn	锌 Zn	硼 B	硒 Se	钼 Mo	钴 Co
1	N0P0S0	829.3 bc	46.2 c	6.83 ab	41.4 a	32.2 a	6.82 ab	1.16 c
	NPS0	1 088.6 a	55.6 a	7.14 a	37.6 ab	33.7 a	7.14 a	1.92 a
	NPS1	1 127.5 a	49.2 bc	6.13 bc	39.0 ab	38.0 a	6.13 b	1.30 b
	NPS2	811.6 c	45.3 c	5.56 c	34.1 b	33.6 a	5.56 c	1.73 ab
2	N0P0S0	622.7 a	35.7 a	6.45 a	33.0 a	33.8 a	6.45 a	0.77 a
	NPS0	530.5 c	31.7 bc	4.45 a	26.7 a	29.0 ab	4.45 a	0.76 a
	NPS1	441.3 c	30.1 c	5.52 a	30.2 a	25.5 b	5.52 a	0.79 a
	NPS2	576.7 b	32.3 bc	4.93 a	30.1 a	24.8 b	4.93 a	0.79 a
3	N0P0S0	673.0 c	42.4 ab	5.56 a	38.5 a	27.0 a	5.56 a	0.78 a
	NPS0	651.3 cd	39.9 bc	4.51 a	28.7 a	24.7 a	4.51 a	0.87 a
	NPS1	622.7 d	37.7 c	5.75 a	33.7 b	23.0 a	5.75 a	0.75 a
	NPS2	821.6 a	44.7 a	5.20 a	34.5 ab	26.6 a	5.20 a	0.78 a

2.3 体外消化率

通过体外酶消化试验表明,施硫肥显著提高了干物质和有机质的消化率,而对粗蛋白的消化率影响不大。同一处理不同茬次相比,干物质和有机质的消化率以第 3 茬较高,而粗蛋白消化率以第 1 茬较高,施肥处理间的季节性差异较 N0P0S0 处理的大(表 4)。这主要与苜蓿的营养成分特别是粗蛋白、粗纤维、粗灰分和无氮浸出物的含量有关,干物质与有机质消化率和纤维素含量呈高度负相关,而与粗蛋白和粗灰分含量高度正相关。

2.4 干物质产量与硫含量及 N S 的关系

苜蓿干物质产量与植株体内 S 含量 (%) 的回归方程为: 第 1 茬 $y = 3.8054 + 32.8866x_1 - 42.7900x_1^2$,

表3 不同施肥处理对不同茬次的苜蓿氨基酸含量的影响

Table 3 Influence of different fertilizer treatments on amino acid concentration under different clipping times g/100 g

氨基酸 Amino acid	茬次 Clipping time											
	1				2				3			
	N0P0S0	NPS0	NPS1	NPS2	N0P0S0	NPS0	NPS1	NPS2	N0P0S0	NPS0	NPS1	NPS2
天冬氨酸 Asp	1.48 c	1.51 c	2.46 a	1.80 bc	2.84 a	2.64 a	2.58 a	2.58 a	0.94 ab	1.01 a	0.84 c	0.91 c
苏氨酸 Thr	0.54 d	0.64 d	0.75 b	0.82 a	0.92 ab	0.86 b	0.98 a	0.94 ab	0.94 ab	1.01 a	0.84 c	0.91 bc
丝氨酸 Ser	0.48 c	0.69 a	0.75 a	0.74 a	0.91 b	0.89 b	1.02 a	1.01 a	1.26 a	1.09 a	0.89 a	0.91 a
谷氨酸 Glu	1.61 c	1.83 bc	1.91 ab	2.25 a	2.52 a	2.05 b	2.20 ab	2.16 b	1.76 c	2.21 a	2.14 a	2.12 a
甘氨酸 Gly	0.65 c	0.76 ab	0.85 a	0.94 a	0.97 c	1.03 bc	1.12 a	1.12 a	1.07 b	1.16 a	1.08 ab	1.10 ab
丙氨酸 Ala	0.74 b	0.77 b	1.14 a	0.94 ab	1.19 bc	1.17 c	1.33 a	1.31 a	1.25 a	1.27 a	1.26 a	1.19 a
半胱氨酸 Cys	0.13 c	0.15 c	0.19 a	0.20 a	0.07 b	0.07 b	0.09 a	0.09 a	0.06 a	0.07 a	0.06 a	0.07 a
缬氨酸 Val	0.69 c	0.93 a	0.94 a	0.91 a	0.88 c	1.05 a	1.08 a	1.12 a	0.98 ab	1.25 a	0.85 b	1.08 ab
蛋氨酸 Met	0.16 c	0.18 bc	0.20 a	0.21 a	0.06 c	0.06 c	0.11 a	0.12 a	0.08 c	0.08 c	0.12 a	0.13 a
异亮氨酸 Ile	0.49 c	0.74 a	0.74 a	0.74 a	0.74 b	0.88 ab	0.92 a	0.96 a	0.85 a	1.04 a	0.86 a	0.88 a
亮氨酸 Leu	0.96 c	1.31 a	1.32 a	1.37 a	1.57 a	1.52 a	1.70 a	1.68 a	1.67 ab	1.75 a	1.56 c	1.63 b
酪氨酸 Tyr	0.47 c	0.61 a	0.63 a	0.61 a	0.65 c	0.65 c	0.76 a	0.79 a	0.74 a	0.74 a	0.65 b	0.73 a
苯丙氨酸 Phe	0.65 c	0.85 a	0.87 a	0.88 a	0.94 b	0.92 b	1.05 a	1.04 a	1.02 ab	1.09 a	0.96 c	0.99 bc
赖氨酸 Lys	0.72 e	0.91 c	1.01 a	0.91 c	1.18 ab	1.15 b	1.28 a	1.27 a	1.25 ab	1.36 a	1.16 b	1.23 b
组氨酸 His	0.25 d	0.33 b	0.40 a	0.38 a	0.59 a	0.65 a	0.66 a	0.66 a	0.69 ab	0.73 a	0.57 c	0.66 b
精氨酸 Arg	0.57 e	0.79 c	0.85 b	0.93 a	1.16 c	1.15 c	1.42 a	1.39 a	1.24 a	1.30 a	1.15 a	1.26 a
脯氨酸 Pro	0.57 c	0.73 ab	0.85 a	0.82 a	1.02 ab	0.98 b	1.11 a	1.07 ab	0.80 e	1.03 c	1.03 c	1.16 a

$r^2 = 0.861$, $P = 0.007$;第2茬 $y = -3.3204 + 40.0085x_2 - 54.5770x_2^2$, $r^2 = 0.894$, $P = 0.004$;第3茬 $y = -1.4587 + 25.4603x_3 - 33.9130x_3^2$, $r^2 = 0.906$, $P = 0.003$ 。苜蓿干物质产量与植株体内 N S 的回归方程为:第1茬 $y = -11.4960 + 33.5369x_1 - 0.1384x_1^2$, $r^2 = 0.963$, $P = 0.007$;第2茬 $y = 1.6539 + 0.5036x_2 - 0.0274x_2^2$, $r^2 = 0.943$, $P = 0.013$;第3茬 $y = 4.1420 - 0.0499x_3 - 0.0041x_3^2$, $r^2 = 0.906$, $P = 0.029$ 。

根据上述干物质产量与植株体内的 S 含量及 N S 的回归方程,如果以最高干物质产量时的 S 含量和 N S 作为植株体内的临界值上限,将最高产量的 90% 时的 S 含量和 N S 作为临界值的下限,则可以得出它们的适宜临界范围。由此可以得出第 1~3 茬苜蓿适宜的含硫量范围分别为 0.23%~0.38%, 0.28%~0.37% 和 0.28%~0.38%,由此可以看出,苜蓿在高温高湿环境的胁迫下 S 的临界含量有较大的提高。类似的,适宜的 N S 为 (9.0~12.8) 1。因此,无论是按植株体内的 S 含量,还是 N S 的值来判断,该地区的土壤都缺 S。

3 讨论

硫的生理作用有 2 种方式,即直接参与化合物的合成或间接影响其他营养或化合物合成。如硫作为含硫氨基酸的成分而影响蛋白质的合成,许多研究表明,土壤中有效硫浓度适当时,苜蓿合成更多的含硫氨基酸^[19,20]。

用植物体中的 S 含量和 N S 能很好的指示土壤和植物的营养状况^[7],对苜蓿而言,S 的临界浓度范围为 0.20%~0.28%^[13,14],也有人认为此值为 0.30%~0.35%^[21]。本试验表明在北京地区苜蓿体中 S 的适宜含量为 0.23%~0.38%。有人认为同时考虑 N S 更能反映植物硫的状况^[7]。当 N S 超过 11 1 时,植物就可能表现出缺硫,并妨碍蛋白质的合成^[13],本试验认为适宜的 N S 在 (9.0~12.8) 1,其均值也为 11 1。此外,植株体内的 N S 还是衡量牧草品质的一个指标,有研究表明,对于大多数反刍动物而言,当牧草中 N 的含量充足时,牧草中的 N S 以 (10~14) 1 为宜^[4],但对于育成羊和奶牛而言,N S 可以较高一些,这并不是说它们对硫的需要量低,而是因为需要更多的 N 的缘故。Wang 等^[6,7] 发现就羔羊而言,获得最大增重的 S 含量和 N S

表 4 不同施肥处理对不同茬次苜蓿干物质(DM)和有机质(OM)及粗蛋白(CP)体外消化率的影响
Table 4 Influence of different fertilizer treatments on digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM)
and crude protein (CP) %

茬次 Clipping time	项目 Item	处理 Treatment			
		N0P0S0	NPS0	NPS1	NPS2
1	干物质 DM	59.4 b	59.6 b	62.7 a	62.8 a
	有机质 OM	57.7 c	58.9 bc	61.7 a	61.9 a
	粗蛋白 CP	75.7 a	79.4 a	78.6 a	79.1 a
2	干物质 DM	60.3 b	60.4 b	62.0 a	62.2 a
	有机质 OM	57.6 d	58.6 c	59.9 ab	60.2 a
	粗蛋白 CP	76.0 a	77.1 a	77.7 a	77.6 a
3	干物质 DM	60.4 b	61.1 b	63.7 a	64.7 a
	有机质 OM	58.0 d	60.5 bc	61.9 ab	63.0 a
	粗蛋白 CP	75.2 a	75.3 a	75.0 a	75.1 a

分别为 0.26% 和 10.5~1.0。另外,在利用 N/S 作为植物和家畜营养状况的评价指标时应该注意到,有时候即使 N/S 比较合适,但 N 和 S 的绝对含量未必能满足需要,因为当两者同时都较低时,一样能使 N/S 处在合适的范围内,因此建议同时利用牧草中 S 的含量及 N/S 值来判断牧草的营养价值是必要的^[7]。

许多试验业已表明施硫肥在草原生态系统中具有重要的作用,能较大的提高牧草的消化率和家畜生产性能^[15,16,22~24]。在施硫肥的草地上放牧,绵羊毛的长度增加 10%~25%,产量增加 22%~33%;而且日粮中充足的 S 水平还可以提高牛奶的产量,增加牛奶中的干物质、脂肪、蛋白质和奶酪蛋白的含量,提高乳制品的品质^[4]。施硫肥不仅能提高牧草中 S 的含量,还能提高土壤中 N 素的利用率^[7]。

参考文献:

- [1] Haneklaus S, Schnug E. Diagnosis of crop sulphur status and application of X-ray fluorescence spectroscopy for the sulphur determination in plant and soil materials[J]. Sulfur in Agriculture, 1994, 18: 31-40.
- [2] 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.
- [3] Schnug E. Sulphur nutritional status of Europe crops and consequences for agriculture[J]. Sulfur in Agriculture, 1991, 15: 7-12.
- [4] Tisdale S L. Sulphur in forage quality and ruminant nutrition[M]. Washington D C: The Sulphur Institute of USA, 1977.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Zhao F J, Mc Grath S P. Extractable sulphate and organic sulphur in soils and their availability to plants[J]. Plant and Soil, 1994, 164: 243-250.
- [10] 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.
- [11] Caldwell A C, Seim E C, Rehm G W. Sulfur effects on the elements composition of alfalfa and corn[J]. Agronomy Journal, 1969, 62: 632-634.
- [12] Martel Y A, Zizka J. Yield and quality of alfalfa as influencee by additions of S to P and K fertilizers under green house condi-

- tions[J]. Agronomy Journal , 1977 , 69 : 531-535.
- [13] Pumphrey F V , Moore D P. Diagnosing sulfur deficiency of alfalfa (*Medicago sativa*) from plant analysis[J]. Agronomy Journal , 1965 , 57 : 364-366.
- [14] Andrew C S. The effect of sulfur on the growth , sulfur and nitrogen concentrations , and critical sulfur concentrations of some tropical and temperate pasture legumes[J]. Australia Journal of Agriculture Research , 1977 , 28 : 807-820.
- [15] Qi K , Lu C D , Owens F N. Sulphate supplementation for growing goats : Effects on performance , acid - base balance , and nutrient digestibilities[J]. Journal of Animal Science , 1993 , 71 : 1579-1587.
- [16] 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.
- [17] 杨胜. 家畜饲养试验指导[M]. 北京 : 农业出版社 , 1979.
- [18] 范濂. 农业试验统计方法[M]. 郑州 : 河南科学技术出版社 , 1983.
- [19] Chandler P M , Spencer D , Randall P J , *et al.* Influence of sulphur nutrition on developmental patterns of some major pea seed proteins and their mRNAs[J]. Plant Physiology , 1989 , 75 : 651-657.
- [20] Wang-Keun O H. Plant response to sulphur application[A]. Proc. Intern. Symp. Sulphur for Korean Agric. Korean Society of Soil Science and Fertilizer and The Sulphur Institute[C]. Seoul , Korea : Harn Lim Journal Company , 1988. 118-130.
- [21] Olson R A. Alfalfa production in Nebraska[J]. Plant and Food Review , 1966 , 12(3) : 7-9.
- [22] Qi K , Lu C D , Owens F N , *et al.* Sulphate supplementation of Angora goats : Metabolic and mohair responses[J]. Journal of Animal Science , 1992 , 70 : 2828-2837.
- [23] Qi K , Owens F N , Lu C D. Effects of sulphur deficiency on performance of fiber-producing sheep and goats : A review[J]. Small Ruminant Research , 1994 , 14 : 118-126.
- [24] 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.

Effect of sulfur fertilizer on *Medicago sativa* quality and digestibility 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 : The addition of Sulfur (S) fertilizer was found in this study to significantly increase crude protein and ash concentrations whilst at the same time decrease the crude fiber concentration in *M. sativa* in the Beijing region. S concentration increased by 50 % - 70 % compared with the no S application treatment. S application significantly increased potassium (K) and decreased phosphorus and sodium concentrations as well as the N : S ratio. Significant positive correlations between S , N and K in the plant were shown to occur. S - containing amino acid (Cry and Met) concentrations were significantly increased by S application , while a negative correlation between S - containing amino acids and other amino acids was observed. S application significantly increased the digestibility of dry matter (DM) and organic matter (OM). There were significant negative correlations between DM and OM digestibility and crude fiber concentration , and positive correlations between DM and OM with both crude protein and ash concentrations. The critical S ranges in *M. sativa* for the first , second and third clippings were 0.23 % - 0.38 % , 0.28 % - 0.37 % 和 0.28 % - 0.38 % , respectively and the N : S ratio ranged from 9.0 to 12.8.

Key words : Beijing region ; *Medicago sativa* ; S fertilizer ; quality and digestibility