

# 施硼对圆叶决明植株生长、 养分含量及固氮能力的影响

翁伯琦<sup>1a\*</sup>, 黄东风<sup>1b</sup>, 王义祥<sup>1a</sup>, 熊德中<sup>2</sup>, 罗涛<sup>1b</sup>, 应朝阳<sup>1a</sup>

(1. 福建省农业科学院, a. 农业生态研究所; b. 土壤肥料研究所, 福州 350013;

2. 福建农林大学资源与环境学院, 福州 350002)

**摘要:** 设立田间小区试验, 探讨在红壤中施用不同浓度的硼肥对圆叶决明 (*Chamaecrista rotundifolia*) 植株生长、牧草品质和根瘤固氮能力的影响。结果表明, 施用 1.5、3.0 和 4.5 kg hm<sup>-2</sup> 硼肥(B)处理的植株分枝数、根部重和植株生物产量分别比对照提高 15.7%–36.7%、251%–493% 和 7.2%–34.2%, 其中以施 B 1.5 kg hm<sup>-2</sup> 的处理较为适宜。施 1.5、3.0 和 4.5 kg hm<sup>-2</sup> 硼处理的植株全氮、全磷和全钾的含量分别比对照提高 8.80%–31.38%、10.37%–31.26% 和 18.4%–37.9%, 粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和氨基酸的含量分别提高 8.80%–31.38%、15.6%–65.4%、10.5%–33.7% 和 1.43%–42.60%, 其中也以 1.5 kg hm<sup>-2</sup> 的田间施硼量的效应最佳, 适当施用硼肥有利于圆叶决明植株对营养物质的吸收与累积。施硼量为 4.5 kg hm<sup>-2</sup> 时, 植株的硼含量最高; 施 B 3.0 kg hm<sup>-2</sup> 处理的植株根瘤重、根瘤数和根瘤固氮酶活性均达到最大值。综合评价的结果表明, 1.5 kg hm<sup>-2</sup> B 是本试验条件下较佳的硼用量。

**关键词:** 硼; 圆叶决明; 植株生长; 固氮能力

中图分类号: Q945.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2007)04-0343-06

## Effects of Boron on the Growth, Nutrients and Nitrogen-fixing Ability of *Chamaecrista rotundifolia*

WENG Bo-qi<sup>1a\*</sup>, HUANG Dong-feng<sup>1b</sup>, WANG Yi-xiang<sup>1a</sup>,

XIONG De-zhong<sup>2</sup>, LUO Tao<sup>1b</sup>, YING Zhao-yang<sup>1a</sup>

(1a. Agricultural Ecology Institute; 1b. Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350013, China;

2. Resources and Environment College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** Effects of boron on the growth, nutrition quality and nitrogen-fixing ability were studied in *Chamaecrista rotundifolia*. Compared with the control, the branch numbers, root and shoot biomass of *C. rotundifolia* treated with boron (1.5 kg hm<sup>-2</sup>, 3.0 kg hm<sup>-2</sup>, 4.5 kg hm<sup>-2</sup>) were increased by 15.7%–36.7%, 251%–493% and 7.2%–34.2%, respectively. The boron treatment of 1.5 kg hm<sup>-2</sup> was the best. The contents of total nitrogen, phosphorus, potassium, raw proteins, raw fat, raw fibers and amino acids were increased by 8.80%–31.38%, 10.37%–31.26%, 18.4%–37.9%, 15.6%–65.4%, 10.5%–33.7% and 1.43%–42.60%, respectively, in boron (1.5, 3.0 and 4.5 kg hm<sup>-2</sup>) treatments than those in control. The effect of 1.5 kg hm<sup>-2</sup> boron treatment was also the best. It was suggested that the appropriate boron was benefit to nutrient absorption and accumulation in *C. rotundifolia*. The experiment also showed that boron content of the species was highest after 4.5 kg hm<sup>-2</sup> boron treatment. Root nodule weight, number and nitrogenase activity reached highest levels after 3.0 kg hm<sup>-2</sup> boron

收稿日期: 2006-11-13 接受日期: 2007-04-05

基金项目: 福建省科技计划重点项目(2005N029); 福建省农业科学院科技创新团队建设基金项目(STIF-Y01)资助

\* 通讯作者 Corresponding author

treatment. The comprehensive analysis showed that 1.5 kg hm<sup>-2</sup> boron treatment was more suitable under the experiment condition.

**Key words:** Boron; *Chamaecrista rotundifolia*; Growth; Nutrient; Nitrogen fixation

多年的生产实践证明,圆叶决明(*Chamaecrista rotundifolia*)是一种适于山地红壤种植的抗逆性强,固氮活性较高,产量中等且各种养分较为丰富的草种<sup>[1]</sup>,具有较大的开发与利用潜力。有研究表明,我国南方红壤区土壤的硼含量一般较低,红壤、赤红壤、砖红壤的全硼平均含量分别为 40、24、20 mg kg<sup>-1</sup>,水溶态硼平均含量分别为 0.14、0.18、0.26 mg kg<sup>-1</sup>[2-3]。根据土壤中水溶态硼含量分级法判断<sup>[2]</sup>,红壤区土壤不论全硼或水溶态硼的含量都偏低,特别是土壤中水溶态硼的含量大多数都低于缺硼的临界含量 0.50 mg kg<sup>-1</sup>。硼是植物生长发育的必需微量元素,对植物的生长发育、蛋白质合成、物质运输和抗逆性都有影响,适量的硼还能促进豆科植物根瘤的生长发育及根瘤菌的固氮能力<sup>[4]</sup>,而有关施用微肥对圆叶决明生长、养分含量及其固氮能力影响的研究报道甚少。本文主要研究并探讨施用硼肥对种植于红壤山地的圆叶决明的生长及生理特性的影响,为豆科牧草圆叶决明生产中合理施用微量元素肥料提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验在福建省连江县长龙华侨农场芦山工区进行。试验地平均海拔 450 m,试验小区台面平整,土壤类型为山地红黄壤,供试小区土壤的物理化学性状为: pH 值为 4.60,有机质含量 2.8%,全氮 0.177%,速效氮(铵态氮+硝态氮) 100 mg kg<sup>-1</sup>,速效磷 20 mg kg<sup>-1</sup>,速效钾 40 mg kg<sup>-1</sup>,有效态硼 0.282 mg kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 材料

供试豆科牧草圆叶决明(*Chamaecrista rotundifolia*)为 34721 品系,1991 年引自澳大利亚生态农业研究中心,于 2003 年 5 月 3 日播种,5 月 8 日后陆续开始萌芽,10 月 18 日测定植株根瘤固氮酶活性,11 月 20 日采收,并进行圆叶决明植株农艺性状观察与测产。

### 1.3 试验设计

采用单因素随机区组设计,共设 4 个处理,即 4 种硼肥施用量,分别为: 0(对照)、1.5 kg hm<sup>-2</sup>、3.0 kg hm<sup>-2</sup> 和 4.5 kg hm<sup>-2</sup>; 各处理化肥用量相同,均为 N 25 kg hm<sup>-2</sup>、P 80 kg hm<sup>-2</sup>、K 50 kg hm<sup>-2</sup>。每个处理各 3 次重复,共 12 个小区,每个小区面积 10 m<sup>2</sup>,随机排列。供试肥料品种为尿素、磷酸二铵、氯化钾和硼酸。其中尿素、磷酸二铵、氯化钾在播种前与土壤混匀并耙入土深 5 cm 做基肥; 硼酸则按施用总量的一半分两次追施(间隔 7 d),将硼酸溶于定量清水后均匀浇施入土中,对照处理用等量清水均匀浇施。

### 1.4 测定方法

土壤有效态硼测定采用沸水浸提-甲亚胺比色法<sup>[5]</sup>; 植株硼含量采用甲亚胺比色法测定<sup>[5]</sup>; 根瘤固氮酶活性测定采用乙炔还原-气相色谱仪法(岛津 GC-2010 型)<sup>[6]</sup>; 植株粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量的测定分别采用开氏法、油重法和酸碱洗涤法<sup>[5]</sup>; 植株全氮、全磷、全钾含量采用常规方法测定<sup>[7]</sup>(在福建省农业科学院土壤肥料研究所化验室完成); 根瘤菌侵染力的测定方法是: 在圆叶决明的盛花期,各处理的每小区随机挖取 6 株,测定每株的根瘤数量及其重量<sup>[8-9]</sup>。植株氨基酸含量采用氨基酸自动分析仪测定(在福建省农业科学院中心实验室完成)。

### 1.5 统计分析

采用 DPS 软件中的单因素试验统计分析进行不同施硼处理之间差异显著性测验,采用 LSD 法作多重比较分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 施硼对植株生长及生物产量的影响

图 1 显示,施用不同浓度的硼肥处理均能增加圆叶决明植株的分枝数,与对照相比,其增幅为 15.7%~36.7%,其中 B(3.0 kg hm<sup>-2</sup>) 处理使植株分枝数平均增加 6.1 条,但不同处理间分枝数并没有显著性差异。由图 2、图 3 可以看出,施用硼肥植株

的株高和茎叶比降低或没有影响,但不同硼处理间均无显著性差异;与对照相比,降低幅度分别为 2.7%–4.0%和 0%–25.66%,其中 B (4.5 kg hm<sup>-2</sup>) 处理的植株茎 / 叶(干重)比最低。由于叶片的营养成分含量比茎秆高,植株茎 / 叶比低说明草料品质相对较优、饲用价值相对较高<sup>[10]</sup>。所以施硼可以提高该饲料植物的营养价值。

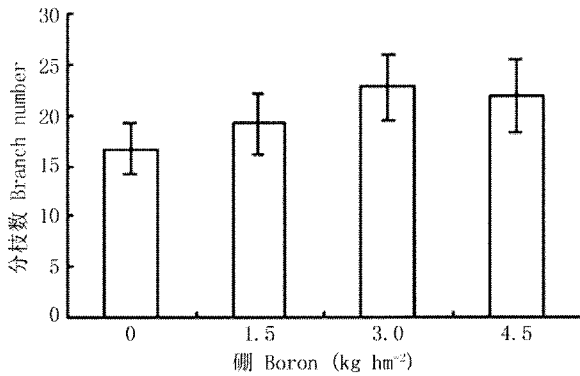


图 1 施用硼肥对圆叶决明植株分枝数的影响

Fig. 1 Effect of boron on branch number of *Chamaecrista rotundifolia*

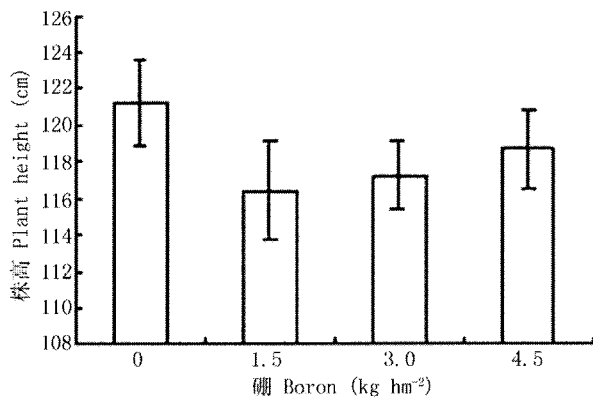


图 2 施用硼肥对圆叶决明株高的影响

Fig. 2 Effect of boron on plant height of *Chamaecrista rotundifolia*

表 1 结果显示,施用硼肥处理均可提高圆叶决明植株根部和茎叶的生物量,与对照相比,其增幅分别为 251%–493%和 29.4%–82.4%;其中 B (3.0 kg hm<sup>-2</sup>) 处理对植株根部生物量的增加效果最好,每株增加量约为 3.4 g。B(1.5 kg hm<sup>-2</sup>)处理可提高植株的茎叶生物量,平均增加 23.34 g。与对照相比,B(3.0 kg hm<sup>-2</sup>)和 B(4.5 kg hm<sup>-2</sup>)处理可显著地提高圆叶决明根部生物量,但 B (1.5 kg hm<sup>-2</sup>)处理的根部生物量与对照间的差异不显著,而 B(4.5 kg hm<sup>-2</sup>)处理能显著地提高根部生物量。就茎叶生物量而言,施用硼肥处理的均比对照高,但仅 B (1.5 kg hm<sup>-2</sup>) 处理与对照间的差异达到 5%显著水平。由表 1 还可以看出,施用硼肥处理均能促进圆叶决明植株生物产量的增加,与对照相比,增幅为 7.2%–34.2%。施硼肥处理的圆叶决明鲜草和干草产量比对照分别增加 800–3 800 kg hm<sup>-2</sup>和 360–1 740 kg hm<sup>-2</sup>;其中 B(1.5 kg hm<sup>-2</sup>)处理对植株产量的增产效果达到 5%显著水平。

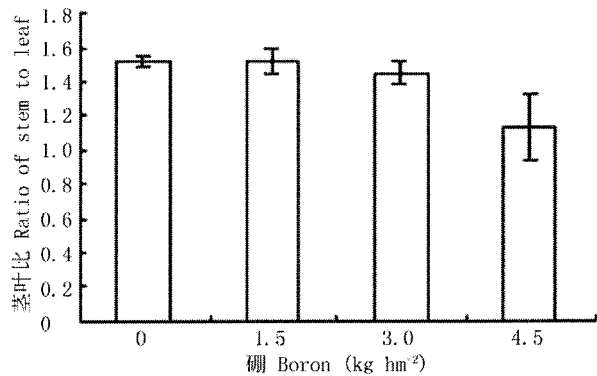


图 3 施用硼肥对圆叶决明植株茎 / 叶比的影响

Fig.3 Effect of boron on the ratio of stem to leaf of *Chamaecrista rotundifolia*

表 1 施用硼肥对圆叶决明植株根部、茎叶生物量以及生物产量的影响

Table 1 Effects of boron on the yield and biomass of root, stem and leaf of *Chamaecrista rotundifolia*

B (kg hm <sup>-2</sup> )	根重 (g) Root weight	茎叶重 (g) Stem and leaf weight	产量 Yield (kg hm <sup>-2</sup> )	
			鲜草 Fresh grass	干草 Dry grass
0	0.69c	28.33b	1.11×10 <sup>4</sup> b	5.09×10 <sup>3</sup> b
1.5	2.42bc	51.67a	1.49×10 <sup>4</sup> a	6.83×10 <sup>3</sup> a
3.0	4.09a	36.67b	1.40×10 <sup>4</sup> ab	6.42×10 <sup>3</sup> ab
4.5	3.82ab	43.33ab	1.19×10 <sup>4</sup> ab	5.45×10 <sup>3</sup> ab

数据后面不同字母表示 5%显著性差异水平。Data followed by different letters indicate significant differences at 5% level.

## 2.2 施硼对植株氮、磷、钾及硼含量的影响

表 2 显示, 施用硼肥 1.5 kg hm<sup>-2</sup>、3.0 kg hm<sup>-2</sup> 和 4.5 kg hm<sup>-2</sup> 处理均能提高圆叶决明植株的全氮、全磷和全钾的含量。与对照相比, 其增幅依次为 8.80%–31.38%、10.37%–31.26% 和 18.4%–37.9%; 其中 B (1.5 kg hm<sup>-2</sup>) 处理对提高植株全氮和全钾含量的效果最为明显, 其增加量分别为 35.83 kg hm<sup>-2</sup> 和 14.10 kg hm<sup>-2</sup>, 与对照间的差异分别达到极显著和显著水平。B (3.0 kg hm<sup>-2</sup>) 处理的植株全磷含量比对照提高 3.17 kg hm<sup>-2</sup>, 差异达 1% 极显著水平。由表 2 还可以看出, 施用硼肥均能提高圆叶决明植株硼元素的含量, 与对照相比, B (1.5 kg hm<sup>-2</sup>)、B (3.0 kg hm<sup>-2</sup>)、B (4.5 kg hm<sup>-2</sup>) 处理的植株的硼含量增幅为 13.0%–32.4%; 其中 B (4.5 kg hm<sup>-2</sup>) 处理的植株硼含量为 47.555 mg kg<sup>-1</sup>, 达到最高值。方差分析的结果显示, B (4.5 kg hm<sup>-2</sup>) 处理的植株硼含量与对照间的差异达 5% 显著性水平, 其它处理与对照间无显著性差异。

表 2 施用硼肥对圆叶决明植株全氮、全磷和全钾含量的影响

Table 2 Effects of boron on total nitrogen, phosphorus and potassium contents in *Chamaecrista rotundifolia*

B (kg hm <sup>-2</sup> )	全氮 Total nitrogen (kg hm <sup>-2</sup> )	全磷 Total phosphorus (kg hm <sup>-2</sup> )	全钾 Total potassium (kg hm <sup>-2</sup> )	硼 Boron (mg kg <sup>-1</sup> )
0	114.20Bc	10.13Bc	37.19Ab	35.91b
1.5	150.03Aa	12.57Aab	51.29Aa	43.05ab
3.0	135.33ABab	13.29Aa	45.95Aab	40.56ab
4.5	124.25ABbc	11.18Aab	44.01Aab	47.56a

数据后面不同小写字母表示 5% 显著性差异水平, 大写字母表示 1% 极显著性差异水平 (下同)。Data followed by different small letters and capital letters indicate significant difference at 5% and 1% levels, respectively. The same as below.

## 2.3 施硼对植株粗蛋白、粗脂肪、粗纤维等含量的影响

施用硼肥处理均能提高圆叶决明植株的粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和氨基酸的含量 (表 3), 与对照相比, 其增幅依次为 8.80%–31.38%、15.6%–65.4%、10.5%–33.7% 和 1.43%–42.60%; 其中 B (1.5 kg hm<sup>-2</sup>) 处理的植株粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和氨基酸的含量分别比对照增加 223.95 kg hm<sup>-2</sup>、68.06 kg hm<sup>-2</sup>、826.5 kg hm<sup>-2</sup> 和 219.15 kg hm<sup>-2</sup>, 差异均达 5% 显著水平。

表 3 施用硼肥对圆叶决明植株粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和氨基酸含量的影响

Table 3 Effects of boron on raw protein, raw fat, raw fiber and amino acid contents of *Chamaecrista rotundifolia*

B (kg hm <sup>-2</sup> )	粗蛋白 Raw protein (kg hm <sup>-2</sup> )	粗脂肪 Raw fat (kg hm <sup>-2</sup> )	粗纤维 Raw fiber (kg hm <sup>-2</sup> )	氨基酸 Amino acid (kg hm <sup>-2</sup> )
0	713.7Bc	104.12Ab	2451.0Ab	514.50Ab
1.5	937.65Aa	172.17Aa	3277.5Aa	733.65Aa
3.0	845.85ABab	133.22Aab	3174.0Aa	602.55Ab
4.5	776.55ABbc	120.32Aab	2707.5Aab	521.85Ab

## 2.4 施硼对根瘤固氮能力的影响

表 4 显示, 施用硼肥处理均能不同程度地提高圆叶决明植株的根瘤重量和数量, 与对照相比, 其增幅分别为 11.9%–69.8% 和 0%–200%; 其中 B (3.0 kg hm<sup>-2</sup>) 处理的植株根瘤重量和根瘤数, 每株分别比对照提高 8.8 mg 和 14 个, 差异均达 1% 极显著水平。施用硼肥 1.5 kg hm<sup>-2</sup>、3.0 kg hm<sup>-2</sup>、4.5 kg hm<sup>-2</sup> 均能提高圆叶决明植株根瘤的固氮酶活性, 与对照相比, 其增幅为 288.1%–788.3%, 其中 B (3.0 kg hm<sup>-2</sup>) 处理的圆叶决明根瘤固氮酶活性达 11.104 μmol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> d<sup>-1</sup>。方差分析显示, 不同处理间植株根瘤固氮酶活性均达极显著性差异。

表 4 施用硼肥对圆叶决明根瘤重、根瘤数和固氮酶活性的影响

Table 4 Effects of boron on the number, weight and nitrogenase activity in root nodules of *Chamaecrista rotundifolia*

B (kg hm <sup>-2</sup> )	重量 Weight (mg)	数量 Number	固氮酶活性 Nitrogenase activity (μmol C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> d <sup>-1</sup> )
0	12.6Cc	7.0Cc	1.25Dd
1.5	14.1Bb	7.0Cc	4.851Cc
3	21.4Aa	21.0Aa	11.104Aa
4.5	15.1Bb	15.3Bb	6.65Bb

## 3 讨论

### 3.1 施用硼肥与牧草生长及产量的关系

施用硼肥对牧草植株的茎、叶及草产量的影响研究均有所报道, 但结果不甚一致。臧福君<sup>[11]</sup>用 200–600 mg kg<sup>-1</sup> 硼溶液浸种紫花苜蓿 (*Medicago sativa*), 结果表明, 可提高干草产量 15.5%–21.4%, 其中以 400 mg kg<sup>-1</sup> B 浸种的效果最好。葛广鹏等<sup>[12]</sup>的研究结果表明, 在盛花期喷施 0.2% 的硼酸和四硼

酸钠溶液,紫花苜蓿的株高虽比对照增加,但不明显。谢良商等<sup>[13]</sup>的试验结果表明,从完全养分中去除硼,白三叶(*Trifolium repens*)、鸡脚草(*Dactylis glomerata*)和圆叶决明的地上部分干重分别下降了9.7%、40%和32%,地下部分干重下降了19.5%、42.2%和24%。而翁伯琦等<sup>[14]</sup>的研究结果表明,施用硼肥处理的圆叶决明牧草的株高和草料干重均比不施硼肥处理的低。林洁荣等<sup>[15]</sup>的研究结果表明,施用硼肥对亚热带人工草地的卡松古鲁狗尾草(*Setaria anceps*)、宽叶雀稗(*Paspalum wetsfeteini*)、格拉姆柱花草(*Styiosanthes guianensis*)、大翼豆(*Macroptilium atropurpureum*)的产量影响不显著。本研究表明,施用硼肥(1.5、3.0、4.5 kg hm<sup>-2</sup>)处理对田间种植的圆叶决明植株的株高、分枝数和茎/叶比没有显著影响,但B(1.5 kg hm<sup>-2</sup>)处理可显著提高圆叶决明植株的茎叶重、鲜草和干草产量,提高幅度分别为82.39%、34.23%和34.18%。总体而言,适量施用微量元素硼对牧草的营养生长及产量都有一定的促进作用,只是研究选用材料的差异导致各自研究结果的不甚一致。

### 3.2 施用硼肥对牧草营养品质的影响

硼是植物建造各种营养器官所必需的元素,它能促进植物体内糖的运输和代谢,从而改善植物各器官中有机物质的供应,促进干物质增多。适量硼能促进植物对各种营养元素的吸收,而缺硼则明显抑制植物对养分的吸收。另外,硼还可通过与N、Mo元素的交互作用,间接地影响植物的氮代谢。目前,关于施用硼肥对牧草营养物质的含量影响研究也有较多的报道,但结果不尽相同。有研究指出<sup>[16]</sup>,合理施硼对红三叶草(*Trifolium pratense*)氮代谢有促进作用,缺硼土壤上施用硼肥,可显著提高红三叶草地上部分蛋白氮和非蛋白氮以及根中非蛋白氮的含量,叶片中游离氨基酸和水解氨基酸也因种类不同而对硼的反应有较大的差异;施硼还能促进结瘤、固氮和萌发种子中蛋白酶、肽酶的活性。Zaky<sup>[17]</sup>的研究结果表明,喷施硼溶液(10、50、250 mg kg<sup>-1</sup>)后,豇豆(*Vigna sinensis*)叶片的叶绿素和类胡萝卜素含量都有所增加;喷施低浓度的硼,增加了还原糖、蔗糖、多糖、碳水化合物总量、DNA和RNA含量,并且增加了赤霉素类化合物的数量和活性,减少芽、根的总氮量;高浓度硼(250 mg kg<sup>-1</sup>)

会导致豇豆各生长发育阶段DNA和RNA含量的显著减少,硼处理极显著降低整个试验生育期豇豆芽、根的 $\alpha$ -淀粉酶和 $\beta$ -淀粉酶活性,而低浓度硼增加了蛋白酶活性。马文奇等<sup>[18]</sup>对不同浓度硼对红三叶草品质影响的研究表明,施硼可提高红三叶草的粗蛋白和粗纤维含量,降低粗脂肪含量,而对灰分和无氮浸出物影响不大。但林洁荣等<sup>[15]</sup>的研究结果却表明,施用硼肥对卡松古鲁狗尾草粗蛋白含量没有显著影响,但能明显提高牧草硼含量。本试验条件下,施硼量为1.5 kg hm<sup>-2</sup>的处理可显著提高豆科牧草圆叶决明植株中全氮、全钾、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维和氨基酸的含量;此外,该施硼量还显著提高了圆叶决明植株的茎叶重和干草产量。由以上结果初步认为,1.5 kg hm<sup>-2</sup>的施硼量是本试验条件下的较佳用量。今后,我们将进一步进行扩大性验证试验,提出区域性适宜牧草生产的最佳施硼量并建立施肥模型,为指导生产提供依据。

### 3.3 施用硼肥与牧草硝酸还原酶活性和固氮能力的关系

关于施用硼肥对牧草硝酸还原酶活性和根瘤固氮能力的影响研究报道不多,但硼元素在豆科植物根瘤的生长发育及根瘤菌的固氮能力方面起着非常重要的作用,硼可促进蛋白质的合成和硝酸还原酶活性的提高及菌根的生长,有助于增强固氮能力<sup>[19]</sup>。据日本学者Rahman的研究报道,硼胁迫明显抑制豆科植物根瘤的形成,而且其抑制效应明显大于其对植株地上部分的影响<sup>[20]</sup>。马文奇等<sup>[16]</sup>的研究表明,施硼能促进红三叶草结瘤、固氮和萌发种子中蛋白酶、肽酶的活性。Lambert<sup>[21]</sup>等研究了硼对牧草菌根的效应,结果表明,在临界缺硼的土壤上施用1.1 mg kg<sup>-1</sup>硼肥,可增加有菌根红三叶草嫩叶的平均干重16%,但对无菌根红三叶草嫩叶干重无影响,且缺硼对红三叶草的根和叶片磷含量无明显影响。关于适量施用硼肥能提高圆叶决明叶片硝酸还原酶活性和根瘤固氮酶活性的原因可能与硼在植物体内的生理功能有关。供硼充足时,能改善碳水化合物运输,为根瘤提供更多的能源物质。有研究显示,缺硼时,植物根部维管束发育不良,影响碳水化合物向根部运输<sup>[22]</sup>,根瘤菌能源供应不良,根瘤菌数量减少,甚至由共生变成寄生,寄主细胞发育畸形。

## 参考文献

- [1] Ying Z Y(应朝阳), Huang Y B(黄毅斌), Zhang G H(张明辉), et al. Suitability of 40 accessions of *Chamaecrista* spp. in hilly red soil in north Fujian [J]. J Fujian Agri Univ(福建农业大学学报), 2000, 29(2):233-237.(in Chinese)
- [2] Liu Z(刘铮), Zhu Q Q(朱其清), Tang L H(唐丽华), et al. Geographical distribution of trace elements-deficient soils in China [J]. Acta Pedol Sin(土壤学报), 1982, 19:209-211.(in Chinese)
- [3] Liu Z, Zhu Q Q, Tang L H. Microelements in main soils of China [J]. Soil Sci, 1983, 135:40-46.
- [4] Goldbach H E. A critical review on current hypotheses concerning the role of boron in higher plants: suggestions for further research and methodological requirements [J]. J Trace Microprobe Techn, 1997, 15(1):51-91.
- [5] Nanjing Agriculture University(南京农业大学). Soil Agricultural Chemistry Analysis [M]. 2nd ed. Beijing: Agriculture Press, 1992: 44, 179-180, 213-219, 264-265, 269-271.(in Chinese)
- [6] Wu J(吴静), Li C J(李春俭), Jiang R F(江荣凤), et al. Effects of boron-deficiency on soybean growth and nitrogenase activity [J]. Acta Agri Boral-Sin(华北农学报), 1999, 14(2):96-101.(in Chinese)
- [7] Li Y K(李酉开), Jiang B P(蒋柏藩), Yuan K N(袁可能). Conventional Soil Chemical Nutrient Analysis Techniques [M]. Beijing: Science Press, 1983:99-101. (in Chinese)
- [8] Shi P F(施佩芳). The effect of  $\text{NH}_4\text{-N}$  on nitrogen fixation in root nodule of clovers [J]. Soils(土壤), 1993, 25(3):152-154.(in Chinese)
- [9] Jing Y X(靖元孝), Chen Z P(陈兆平). Biological characteristics of rhizobium isolated from two *Cassia* species from Guangdong [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 1996, 4(2):47-52.(in Chinese)
- [10] Luo T(罗涛), Weng B Q(翁伯琦), Lin Y Q(林允钦), et al. Dynamics of dry-matter yields and NPK contents in three species *Cassia* [J]. Acta Pratacul Sin(草业学报), 2003, 12(1):94-98.(in Chinese)
- [11] 臧福君. 硼钼对紫花苜蓿的就行了用效果试验 [J]. 当代畜禽养殖业, 1993(5):22.
- [12] 葛广鹏, 高金华, 赵永才. 喷施微量元素硼、钼提高紫花苜蓿种子产量试验初报 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 1999(1):17.
- [13] Xie L S(谢良商), Zhang J Q(张久权), Wen S L(文石林). Fertilizer effects of pastures in red soil hills [M]// The Cultivation and Utilization of Pasture in Southern Red Soils. Beijing: China Agricultural Press, 1998:114-118.(in Chinese)
- [14] 翁伯琦, 罗涛, 白雪峰, 等. 圆叶决明(*Cassia rotundifolia*)在红壤山地果园套种的生长特性及其固氮量测定 [J]. 土壤通报, 1994, 25(3):130-132.
- [15] Lin J R(林洁荣), Su J S(苏金水), Liu J C(刘建昌), et al. Effects of micronutrient fertilizers on the tropical artificial grassland in south Asia [J]. J Fujian Agri Univ(福建农业大学学报), 1996, 25(1):83-86.(in Chinese)
- [16] Ma W Q(马文奇), Liu W D(刘武定), Pi M M(皮美美). Effect of boron on nitrogen metabolism in red clover [J]. Plant Physiol Commun(植物生理学通讯), 1990(4):43-46.(in Chinese)
- [17] Zaky L M, Hassanein R A, Dowidar A E. Effect of foliar treatment with boron and Zinc on physiological responses of cowpea (*Vigna sinensis* cv. Cream7). II. Metabolic activities during growth and development of the harvested seeds and their protein pattern [J]. Egypt J Physiol Sci, 2001, 23:415-442.
- [18] Ma W Q(马文奇), Liu W D(刘武定), Pi M M(皮美美). Influence of boron on the yields and quality of red clover [J]. Grassland China(中国草地), 1993(6):49-51.(in Chinese)
- [19] Zu Y Q(祖艳群), Lin K H(林克惠). The role of boron in plants and its effect on the yield and quality of crops [J]. J Yunnan Agri Univ(云南农业大学学报), 2000, 15(4):359-363.(in Chinese)
- [20] Rahman M H H, Anma Y, Walanabe K, et al. Adequate range of boron nutrition is more restricted for root nodule development than for plant growth in young soybean [J]. Soil Sci Plant Nutr, 1999, 45(2):287-296.
- [21] Lambert D H, Cole H, Bader D E. The role of boron in plant response to mycorrhizal infection [J]. Plant Soil, 1980, 57(2):431-438.
- [22] Qu H Z(屈红征), Wang L P(王丽萍), Wu G L(吴国良). Progress of the study on boron nutrition of plant [J]. J Shanxi Agri Univ(山西农业大学学报), 2001, 21(2):173-176.(in Chinese)