文章编号: 1674 - 7054(2017)02 - 0203 - 06

# 热研2号柱花草接种不同根瘤菌最适钼浓度的研究

董荣书,张 洁,陈志坚,白昌军,丁西朋,王文强,刘国道
(中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所/农业部华南基因资源与种质创制重点实验室,海南 儋州 571737)

**摘 要:** 为明确热研2号柱花草(*Stylosanthes guianensis* 'Reyan No. 2')接种不同根瘤菌达到最佳共生效果的钼浓度,采用双因子随机区组设计,在砂培中对接种3株不同根瘤菌的柱花草进行7个钼浓度的处理,通过对柱花草鲜质量、株高增加、植株含氮量、根瘤数和固氮酶活性的测定及分析,结合主成分分析确定钼对共生体系的影响。结果表明:钼对热研2号柱花草接种不同根瘤菌后结瘤数的影响不大,主要通过影响根瘤固氮酶活性从而影响柱花草株高和鲜质量;接种不同菌株的最适钼浓度存在差异,接种菌株RJS9-2的最适钼浓度为1 000 ~ 1 500 mg·$L^{-1}$,接种YM11-1的最适钼浓度为1 000 ~ 2 000 mg·$L^{-1}$,接种菌株PN13-3的最适钼浓度为2 000 ~ 2 500 mg·$L^{-1}$。

**关键词:** 柱花草;根瘤菌;钼处理;固氮
**中图分类号:** S 541 **文献标志码:** A DOI:10.15886/j.cnki.rdswxb.2017.02.013

热研2号柱花草(*Stylosanthes guianensis* 'Reyan No. 2')是我国南方重要的多年生豆科牧草,具有高产、优质及饲喂对象多的特点[1-3]。高效根瘤菌菌株接种到热研2号柱花草后具有较强的固氮能力,不仅能提高柱花草的产量和氮含量,还能提高土壤及根际其他作物的氮含量,在生产中广泛用于林木间作、绿肥、土壤改良等[4-6]。钼不仅是植物生长所必须的微量元素,还是固氮酶、硝酸还原酶及氮还原酶的重要组分,直接参与豆科植物根瘤的形成及固氮的进行[7-8]。研究结果表明,适量的钼可以促进根瘤的固氮作用,过多或不足都会减少根瘤数和降低固氮酶活性[9-11]。对植物叶片喷施适量的钼肥可以显著提高作物的结瘤量和产量[12-13],在生产中对菜豆[14]、大豆[15]、蚕豆[16]、绿豆[17]、苜蓿[18]等豆科植物增施一定量的钼能显著的提高作物的产量。余爱等[19]发现对柱花草喷施钼肥能显著提高柱花草产量、有效根瘤数、根系活力、蛋白、磷和钾等含量,但未涉钼处理对接种根瘤菌影响的研究。笔者在砂培介质中对接种不同根瘤菌的热研2号柱花草进行不同钼浓度的处理,确定使热研2号柱花草与不同根瘤菌达到最佳共生状态的钼浓度,以期为根瘤菌的使用及菌剂的研制提供数据支撑,为热研2号柱花草高产栽培的科学用肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

1.1 材料来源 热研2号柱花草由中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所牧草中心选育,3个根瘤菌菌株为中国南方柱花草种植地筛选出的高效菌株(表1)。钼酸铵 [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$](分析纯)。

**收稿日期:** 2017 - 01 - 07 **修回日期:** 2017 - 03 - 10
**基金项目:** 柱花草接种高效固氮根瘤菌在果园间作中应用的技术集成与示范(0316006);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(0315029,1630032016010)
**作者简介:** 董荣书(1983 - ),男,助理研究员,博士. 研究方向:豆科牧草根瘤菌. E-mail: dongrongshu@126.com
**通信作者:** 刘国道(1963 - ),男,研究员,博士. 研究方向:热带牧草. E-mail: liuguodao2008@163.com

表 1 供试菌株及来源

Tab. 1 Information of rhizobium strains

| 菌株/Strains | 拉丁名/ Latin name | 采集地/ Locality | 专利号/Patents No |
|---|---|---|---|
| RJS9-2 | *Bradyrhizobium yuanmingense* RY2 | N = 24°45.684′, E = 98°55.546′, H = 1 023 m | ZL200910214315.5 |
| YM11-1 | *Bradyrhizobium sp.* RY3 | N = 25.50°, E = 101.49°, H = 1 084 m | ZL200910214317.4 |
| PN13-3 | *Bradyrhizobium sp.* RY4 | N = 26°25.276′, E = 101°46.137′, H = 1 100 m | ZL200910214319.3 |

1.2 无菌种苗的准备 柱花草种子剥去种皮,在 80 ℃的热水中浸泡 3 min; 分别于 95% 的乙醇(体积分数,下同) 和 2 g·$L^{-1}$的 $HgCl_2$ 溶液中浸泡 5 min 和 3 min (灭菌); 取出,用无菌水冲洗 5 ~ 6 次; 种子撒播在铺有发芽纸的培养皿中(已灭菌),发芽纸上浇无菌的 50 μmol·$L^{-1}$硫酸钙溶液; 于黑暗中发芽,备用。

1.3 根瘤菌菌液的准备 配制 YMA(Yeast Mannitol Agar) 固体、液体培养基[20] 放置 2 d,确认无污染后将保存的各菌株活化于固体培养基上; 培养 5 d 后,将菌落接种于液体培养基中,在 180 r·$min^{-1}$,28 ℃摇床上培养至对数生长期($OD_{600}$ > 0.9)。

1.4 砂培系统的准备、移苗及处理 将试验所需的花盆(20 cm × 20 cm),于 10 mL·$L^{-1}$的盐酸中浸泡过夜; 用去离子水冲洗干净后,在纯水浸泡 30 min; 晾干后备用。将准备好的石英砂用自来水洗 10 ~ 15 次,用 1 g·$L^{-1}$的高锰酸钾泡 5 ~ 8 h(或用 10 mL·$L^{-1}$的 HCl 溶液浸泡过夜); 用去离子水洗干净后在高压锅中(121 ℃) 灭菌 30 min; 烘干冷却; 装入无菌花盆中备用。

1.5 根瘤菌接种及生长期管理 无菌柱花草幼苗在不同的菌液中浸泡 15 min 后移栽到无菌砂培系统中。并在每株苗根部浇菌液 5 mL,在大棚中生长。每周浇 1 次低氮营养液[18],砂面太干时补浇田间持水量一半的无菌水。

1.6 实验设计 采用双因子随机区组试验。菌株因子设 4 个水平(即接种根瘤菌 RJS9-2、YM11-1 和 PN13-3 及不接种); 钼浓度因子设 $P_1$ ~ $P_7$ 7 个水平,钼浓度 $C_P$ 分别为 0,500,1 000,1 500,2 000,2 500 和 4 500 mg·$L^{-1}$; 3 次重复。试验中所有的数据均用 Microsoft Excel 2000,JMP9 等统计软件进行统计和方差分析,以 Tukey HSD 作为差异显著性标准,显著性水平 $P < 0.01$。通过 IBM SPSS Statistics 19 软件进行主成分分析,以最大方差法进行方差正交旋转。

1.7 取样及各指标的测定 3 个月后进行取样及指标测定。剪下茎叶称鲜质量后放入信封于烘箱 105 ℃杀青 20 min,75 ℃烘干后称质量。地上部干样用于氮的测定。将样品粉碎,先用 $H_2SO_4$-$H_2O_2$ 进行消毒,用自动定氮仪 (Kjedahl2300,FOSS,瑞士) 测定全氮。根系洗净后将根瘤菌剥离到白纸上,通过计数器统计根瘤菌数。用乙烯还原法通过气相色谱测定根瘤固氮酶活性[19]。固氮酶活性以每小时每克鲜瘤将乙炔转化为乙烯的能力表示〔μmol·(h·g)$^{-1}$〕。

## 2 结果与分析

2.1 不同钼水平对热研 2 号柱花草-菌株 PN13-3 共生体系的影响 钼处理对热研 2 号柱花草与 PN13-3 共生体系植株鲜质量、含氮量、根瘤数和固氮酶活性等指标的影响见表 2。从表 2 可见,在钼浓度为 5 000 mg·$L^{-1}$时柱花草鲜质量最大,为 16.70 g,显著高于其他浓度处理; 在浓度为 10 000 mg·$L^{-1}$时柱花草含氮量最高,为 5.05%,显著高于其他浓度处理的; 钼浓度在 500 ~ 15 000 mg·$L^{-1}$之间时柱花草的结瘤数差异不显著,为 42.67 ~ 48.00 个,显著高于钼浓度为 45 000 mg·$L^{-1}$的结瘤数; 在钼浓度为 10 000 mg·$L^{-1}$时根瘤的固氮酶活性最高,为 96.78 μmol $C_2H_4$·(g·h)$^{-1}$,显著高于钼浓度为 0,45 000 mg·$L^{-1}$时固氮酶的活性。

2.2 不同钼水平对热研 2 号柱花草-菌株 RJS9-2 共生体系的影响 热研 2 号柱花草接种 RJS9-2 在不同钼水平下植株的鲜质量、含氮量、根瘤数、固氮酶活性见表 2。从表 2 可见,钼浓度在 500 ~ 25 000 mg·$L^{-1}$之间时,柱花草鲜质量差异不显著,为 11.06 ~ 12.86 g,显著高于 0,45 000 mg·$L^{-1}$处理的鲜质量; 钼浓度为 5 000 mg·$L^{-1}$时柱花草的含氮量最高,为 4.90%,显著高于除 10 000 mg·$L^{-1}$的处理,含氮量最低的处理是 0,45 000 mg·$L^{-1}$; 钼处理对柱花草结瘤量的影响不大,各处理间差异不显著,根瘤数在 3.33 ~ 20.33 个之间; 钼浓度在 500 ~ 25 000 mg·$L^{-1}$之间各处理的固氮酶活性差异不显著,在 5 000 mg·$L^{-1}$最高为 93.09 μmol

$C_2H_4 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$,0,45 000 mg·$L^{-1}$处理的固氮酶活性最低,显著低于其他处理。

**2.3　不同钼水平对热研 2 号柱花草-菌株 YM11-1 共生体系的影响**　热研 2 号柱花草接种菌株 YM11-1 在不同钼水平下的植株鲜质量、含氮量、根瘤数和固氮酶活性见表 2。从表 2 可见,在钼浓度为 5 000 mg·$L^{-1}$时柱花草鲜质量最大,为 14.54 g,显著高于 10 000 mg·$L^{-1}$外的其他浓度处理,浓度为 45 000 mg·$L^{-1}$时鲜质最低,为 4.84 g,显著低于其他钼处理; 在浓度为 5 000 mg·$L^{-1}$时柱花草含氮量最高,为 4.98%,显著高于其他浓度处理,钼浓度为 0,45 000 mg·$L^{-1}$时,植株氮含量最低,显著低于其他处理; 钼处理对柱花草结瘤量的影响不大,各处理间差异不显著,根瘤数在 10.33 ~ 29.67 个之间; 钼浓度在 500 ~ 25 000 mg·$L^{-1}$之间,各处理的固氮酶活性差异不显著,在 5 000 mg·$L^{-1}$最高为 75.88 μmol $C_2H_4 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$, 0,45 000 mg·$L^{-1}$处理的固氮酶活性最低,显著低于其他处理。

**表 2　供钼水平对热研 2 号柱花草-根瘤菌共生体系各指标的影响**

Tab. 2　Effects of different concentrations of molybdenum on symbiotic system of *Stylosanthes guianensis* 'Reyan No. 2' inoculated with rhizobium

| 菌株 Strain | 钼水平/(mg·$L^{-1}$) Concentration of molybdenum | 茎叶干质量/g Stems and leaves fresh weight/g | 茎叶氮含量/(mg·$g^{-1}$) N content | 根瘤数/(个·株$^{-1}$) The number of rhizobia | 固氮酶活性/(μmol·$h^{-1}$·$g^{-1}$) Nitrogenase activity |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0.00 | 9.14 ± 0.59c | 1.08 ± 0.03e | 16 ± 5.22abc | 0.62 ± 0.26c |
| | 500 | 16.7 ± 0.55a | 3.97 ± 0.08cd | 46.33 ± 10.75a | 58.34 ± 10.29abc |
| | 1 000 | 13.51 ± 0.53b | 5.05 ± 0.05a | 42.67 ± 9.57ab | 96.78 ± 23.58a |
| | 1 500 | 12.35 ± 0.82b | 4.46 ± 0.12b | 48 ± 6.14a | 60.68 ± 13.78abc |
| | 2 000 | 13.23 ± 0.38b | 4.28 ± 0.1bc | 12.33 ± 2.08bc | 68.16 ± 15.54ab |
| | 2 500 | 12.17 ± 0.3c | 3.8 ± 0.11d | 28.33 ± 9.65abc | 47.94 ± 17.79abc |
| PN13-3 | 4 500 | 5.5 ± 0.67d | 1 ± 0.08e | 7.33 ± 2.52c | 8.01 ± 3.72bc |
| | 0.00 | 8.39 ± 0.93ab | 0.83 ± 0.02e | 5.33 ± 3.75a | 1.16 ± 0.84c |
| | 500 | 12.38 ± 0.55a | 4.9 ± 0.14a | 18 ± 5.41a | 93.09 ± 17.4a |
| | 1 000 | 12.73 ± 0.29a | 4.56 ± 0.09ab | 20.33 ± 2.84a | 71.67 ± 6.62ab |
| | 1 500 | 12.86 ± 0.59a | 4.01 ± 0.06bc | 4.67 ± 1.53a | 56.41 ± 14.53abc |
| | 2 000 | 11.06 ± 0.67a | 3.68 ± 0.19cd | 4 ± 0.5a | 55.48 ± 14.57abc |
| | 2 500 | 11.62 ± 1.83a | 3.26 ± 0.08d | 3.33 ± 1.61a | 56.33 ± 9.9abc |
| RJS9-2 | 4 500 | 5.25 ± 0.89b | 1.1 ± 0.12e | 9.33 ± 4.19a | 5.66 ± 2.55c |
| | 0.00 | 8.33 ± 1.17b | 0.83 ± 0.02g | 29.67 ± 5.11a | 2.64 ± 1.58c |
| | 500 | 14.54 ± 0.64a | 4.98 ± 0.03a | 19 ± 2.29a | 75.88 ± 17.22a |
| | 1 000 | 11.48 ± 0.6ab | 4.47 ± 0.06b | 17.33 ± 3.75a | 71.96 ± 5.03a |
| | 1 500 | 11.02 ± 0.48b | 3.81 ± 0.02c | 15.67 ± 1.61a | 57.11 ± 11.62a |
| | 2 000 | 11 ± 0.55b | 3.38 ± 0.11d | 10.33 ± 3.40a | 56.12 ± 10.11a |
| | 2 500 | 8.94 ± 0.39b | 3.07 ± 0.05e | 11.67 ± 3.79a | 49.14 ± 11.75ab |
| YM11-1 | 4 500 | 4.84 ± 0.72c | 1.35 ± 0.04f | 17 ± 3.04a | 6.54 ± 3.23bc |

**2.4　热研 2 号柱花草接种不同根瘤菌最适钼浓度的确定**　通过对不同钼处理下热研 2 号柱花草接种菌株 PN13-3,YM11-1,RJS9-2 的鲜质量、植株含氮量、根瘤数和固氮酶活性等指标进行主成分分析,前 2 个因子的累积贡献率分别达到 76.14%,76.79%,81.91%(一般情况下,累积贡献率超过 75% 即可),因此,可提炼 2 个公因子。通过最大方差旋转法得到旋转因子载荷矩阵(表 3)。在第 1 公因子($F_1$)中,株高增加、鲜质量 2 个指标上具有大的载荷(根据数据分布,选定 0.60 为载荷分界),$F_1$ 代表了产量性状,可以称为产量因子,$F_1$ 的方差贡献率分别为 44.07%,44.26%,48.62%; 在 $F_2$ 中,含氮量、固氮酶活性、根瘤数

(RJS9-2)有较高的正载荷,$F_2$ 可称为固氮因子,该因子的方差贡献率分别为 32.06%,32.35%,33.29%。

表 3 旋转后的因子载荷矩阵

Tab. 3 Rotated component matrix

| 菌株 指标 | PN13-3 | | YM11-1 | | RJS9-2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 因子载荷 Factor loading | | 因子载荷 Factor loading | | 因子载荷 Factor loading | |
| | $F_1$ | $F_2$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_1$ | $F_2$ |
| 株高增加 Height increment | 0.93 | 0.32 | 0.91 | 0.29 | 0.95 | 0.20 |
| 鲜质量 Fresh weight | 0.96 | 0.25 | 0.89 | 0.36 | 0.94 | 0.20 |
| 含氮量 N content | 0.24 | 0.90 | 0.30 | 0.82 | 0.46 | 0.74 |
| 根瘤数 Number of root nodules | 0.10 | 0.20 | 0.38 | 0.45 | 0.11 | 0.98 |
| 固氮酶活性 Nitrogenase activity | 0.59 | 0.77 | 0.60 | 0.74 | 0.66 | 0.30 |
| 所解释的样本总方差的累积比例 | 44.07 | 76.14 | 44.26 | 76.79 | 48.62 | 81.91 |

**注:表中数据为不同钼水平下热研 2 号柱花草接种不同根瘤菌后各指标通过方差正交旋转后得到的前 2 个主因子载荷矩阵及所解释的样本总方差的累计比例**

Note: The results are the first two main factors rotated component matrix and its total variance explained by the cumulative percentage of the samples of *S. guianensis* 'Reyan No. 2' inoculated with different Rhizobium leguminosarum strains and applied with molybdenum fertilizer at different rates

根据各个观测值在第 1,2 主因子上的标准得分,绘制关于第 1,2 公因子的二维平面图(图 1)。由图 1 可见,热研 2 号柱花草接种菌株 YM11-1 在钼浓度为 1 000,1 500,2 000 mg·$L^{-1}$在 F1 及 F2 上都是正值,接种菌株 RJS9-2 在钼浓度为 1 000,1 500 mg·$L^{-1}$,接种菌株 PN13-3 在钼浓度为 2 000,2 500 mg·$L^{-1}$在 F1 及 F2 上都是正值,说明热研 2 号柱花草接种菌株 YM11-1 的最适钼浓度为:1 000~2 000 mg·$L^{-1}$,接种菌株 PN13-3 的最适钼浓度为 2 000~2 500 mg·$L^{-1}$,接种菌株 RJS9-2 的最适钼浓度为 1 000~1 500 mg·$L^{-1}$。

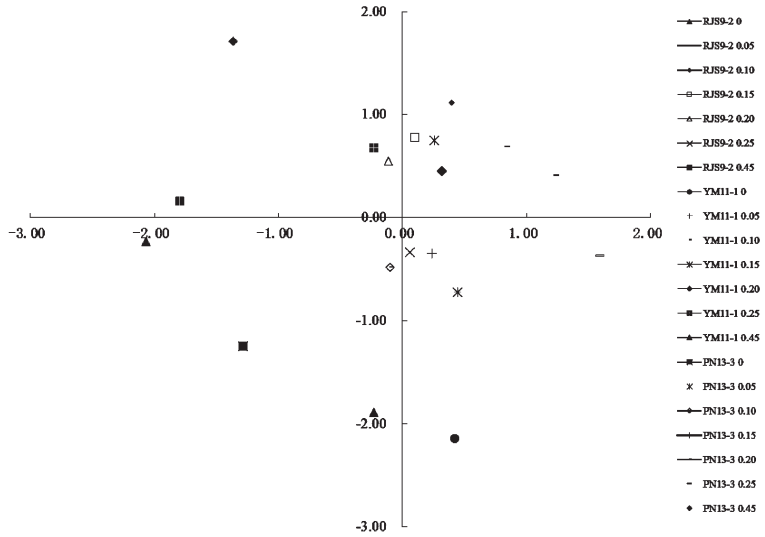


图 1 第 1,2 公因子的二维平面图

Fig. 1 Two-dimensional plan view by factor 1 and factor 2

**注:图为根据各个观测值在第 1,2 因子上的标准得分,绘制关于第 1,2 公因子的二维平面图,图中显示了柱花草接种不同菌株后的分布情况**

Note: The two-dimensional plan view by factor 1 and factor 2 on the basis of each observation in the first and second factors on a standard score. The drawing showed the distribution of *S. guianensis* Reyan No. 5 inoculated with different Rhizobium leguminosarum strains

## 3　讨　论

钼不仅是植物生长的必要元素,同时也是固氮酶和硝酸还原酶的关键组分,参与豆科根瘤形成和固氮过程[8]。Jongruaysup 认为缺钼影响根瘤形成,造成根瘤数减少[9]。笔者对接种 3 株根瘤菌菌株的热研 2 号柱花草进行不同钼浓度的处理,发现除接种菌株 PN13-3 在钼浓度为 4 500 mg·$L^{-1}$根瘤数显著减少外,其他处理根瘤数都差异不显著,说明钼处理对柱花草接种根瘤菌结瘤数影响不大。这与陈俊[21]对大豆接种根瘤菌进行不同钼处理后大豆结瘤差异不显著的结果一致。余爱等[19]对柱花草进行喷施钼肥的研究则表明能显著增加柱花草根瘤数。二者结果不一致可能有以下 2 个原因: (1) 处理方式的不一致: 本研究中柱花草先进行接种后进行根部钼处理,钼直接影响根系和根瘤的形成,余爱等则是对大田生长中的柱花草进行叶面喷施钼肥,钼通过对植物的影响间接影响根瘤的形成; (2) 根瘤菌的类型不同: 本研究所用的根瘤菌为从柱花草分离出来的高效根瘤菌[20],而余爱所统计的根瘤菌则是由田间土著根瘤菌形成,不清楚分类地位,不同的根瘤菌对寄主环境的适应能力存在显著差异。钼是根瘤菌固氮酶关键蛋白钼-铁蛋白的核心成分[7],本研究中热研 2 号柱花草接种 3 株根瘤菌菌株在不同钼处理下都表现出较高和较低的钼不利于根瘤菌的固氮酶活性,适量的钼可以显著提高根瘤的固氮酶活性,与 Jongruaysup[9]、陈俊[21]等的研究结果一致。钼对柱花草—根瘤菌共生体系的结瘤量影响不大,对固氮酶活性有显著影响。

不同钼浓度对柱花草—根瘤菌共生体系的影响直观的表现为产量和含氮量,本研究中柱花草分别接种 3 个菌株,在钼处理下,其产量和含氮量都表现出在一定的范围内钼能促进植株鲜质量和含氮量的增加,但接种同一菌株的不同指标间最适浓度范围存在差异,故需通过进一步的分析来确定钼对共生体系的影响。主成分分析是研究如何通过少数几个主成分来解释多变量的方差、协方差结构的分析方法,也就是将多个变量进行降维成少数几个变量,使它们尽可能多地保留原始变量的信息,且彼此不相关。为使因子载荷矩阵中因子载荷的平方值向 0 和 1 两个方向分化,使大的载荷更大,小的载荷更小,在主成分分析中需要进行最大方差正交旋转,使个指标在公因子上能分开[22-23]。经主成分分析确定: 在热研 2 号柱花草栽培中接种菌株 RJS9-2 时应调节土壤钼浓度为 1 000 ~ 1 500 mg·$L^{-1}$,接种菌株 YM11-1 时,最适钼浓度为 1 000 ~ 2 000 mg·$L^{-1}$,接种菌株 PN13-3 时则应调节土壤钼浓度为 2 000 ~ 2 500 mg·$L^{-1}$。同时,在施用根瘤菌时也需根据土壤钼浓度来选择相应的菌株。

## 参考文献:


[1] 蒋侯明,何华玄. 热研 2 号柱花草栽培及利用[J]. 草业科学. 1993(1): 51-52.

[2] 黄兰珍,陈祥林,黄艳娜. 184 柱花草作家兔饲料的营养价值评定[J]. 中国养兔,2006(3): 5-6.

[3] 赵钢,陈嘉辉,余晓华,等. 不同品种柱花草营养价值的动态变化[J]. 仲恺农业工程学院学报,2012, 25(3): 15-18.

[4] 董荣书,张洁,黄艳霞,等. 热研 2 号柱花草高效固氮根瘤菌的筛选[J]. 热带作物学报,2013(7): 1247-1251.

[5] 董荣书. 柱花草高效固氮根瘤菌株系的筛选[D]. 海口: 海南大学, 2010.

[6] 唐军,何华玄,白昌军,等. 柱花草林地间作技术及综合利用研究[J]. 热带农业科学,2008, 28(4): 67-70.

[7] Hageman R V, Burris R H. Nitrogenase and nitrogenase reductase associate and dissociate with each catalytic cycle[J]. Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A, 1978, 75: 2699-2702.

[8] Brkic S, Milakovic Z, Kristek A, et al. Pea yield and its quality depending on inoculation, nitrogen and molybdenum fertilization[J]. Plant Soil Environ, 2004, 50(1): 39-45.

[9] Jongruaysup S, Ohara G W, Dell B, et al. Effects of low molybdenum seed on nodule initiation, development and $N_2$ fixation in black gran (*Vigna mungo* I)[J]. Plant Soil, 1993, 156: 345-348.

[10] Chahal V P S, Chahal P P K. Interaction studies between *Rhizobium leguminosarum* and *Meloidogyne incognita* on pea (*Pisum sativum* L.) growth under different concentrations of molybdenum[J]. Dev. Plant Soil Sci., 1991, 45: 673-676.

[12] Albuquerque H C, Pegoraro R F, Vieira N M B, et al. Capacidade nodulatória e características agronômicas de feijoeiros comuns submetidos àaduba cäo molíbdica parceladae nitrogenada[J]. Revista Ciência Agronômica, 2012,43(2), 214-221.

[13] Vieira S M, Ronzelli Júnior P, Daros E, et al. Nitrogênio, molibdênio e inoculante para a cultura do feijoeiro [J]. Scientia Agraria, 2000, 1(1):63 - 66.

[14] Marislaine Alves de Figueiredo, Dâmiany Pádua Oliveira, Bruno Lima Soares. Nitrogen and molybdenum fertilization and inoculation of common bean with *Rhizobium spp.* in two oxisols [J]. Acta Scientiarum. Agronomy. 2016,38(1):85 - 92.

[15] Asei Rechiatu, Ewusi-Mensah Nana, Abaidoo Robert Clement. Response of Soybean (*Glycine max* L.) to Rhizobia Inoculation and Molybdenum Application in the Northern Savannah Zones of Ghana [J]. Journal of Plant Sciences. 2015; 3(2): 64 - 70.

[16] 孙建华,童依平,刘全友,等. 钼肥对农牧交错带豆科作物增产的重要意义 [J]. 中国生态农业学报, 2001(4): 77 - 79.

[17] Muhammad T, Asghar A, Noor-ul-Aabidin. Effect of molybdenum and seed inoculation on growth, yield and quality of mungbean [J]. Crop & Environment, 2011, 2(2): 37 - 40.

[18] 李科,朱进忠. 硼、钼元素对苜蓿种子的增产效果 [J]. 草业科学,2009(1): 61 - 63.

[19] 余爱,董兆佳,杨帆,等. 柱花草硼、钼微肥施用效果的研究 [J]. 草业科学,2011(4): 611 - 613.

[20] 董荣书,黄艳霞,刘国道,等. 柱花草根际土著根瘤菌的丰度及其遗传多样性 [J]. 热带作物学报,2010,31(6):908 - 913.

[21] 陈俊. 钼对大豆、根瘤菌生长及其共生性状的影响 [D]. 广州: 华南农业大学,2010.

[22] 王芳. 主成分分析与因子分析的异同比较及应用 [J]. 统计教育. 2003(5): 14 - 17.

[23] 李新蕊. 主成分分析、因子分析、聚类分析的比较与应用 [J]. 山东教育学院学报,2007(06): 23 - 26.

# Analysis of Optimum Molybdenum Concentrations in a Symbiotic System of *Stylosanthes guianensis* 'Reyan No. 2' Inoculated with Different *Rhizobium* Strains

DONG Rongshu , ZHANG Jie, CHEN Zhijian, BAI Changjun, DING Xipeng, WANG Wenqiang, LIU Guodao

(Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement in Southern China, Ministry of Agriculture, Danzhou, Hainan 571737, China)

**Abstract:** To understand the effect of different molybdenum concentrations on interaction of *Stylosanthes guianensis* 'Reyan No. 2' with different rhizobium symbiotic system, two-factor randomized block design were arranged in this experiment, and the *Stylosanthes* seedlings inoculated with three rhizobium strains were planted in pots filled with sand containing seven different molybdenum concentrations. They were determined in terms of dry weight, plant height, plant nitrogen content, nodule numbers and nitrogenase activity to evaluate the effect of molybdenum on the syntaxial system by principal components analysis. The results showed that molybdenum had little effect on nodule numbers of S. guianensis 'Reyan No. 2' inoculated with different rhizobium strains, but on the plant height and fresh weight mainly due to the effect of molybdenum on nitrogenase activity. The optimal molybdenum concentrations for different rhizobium strains were different. The optimal molybdenum concentrations for RJS9-2, YM11-1 and PN13-3 were 1 000 - 1 500 mg · $L^{-1}$, 1 000 - 2 000 mg · $L^{-1}$ and 2 000 - 2 500 mg · $L^{-1}$, respectively.

**Keywords:** *Stylosanthes guianensis*; rhizobium; molybdenum treatment; nitrogen fixation