

钙离子对紫花苜蓿及苜蓿根瘤菌耐酸能力的影响*

张琴^{1,2} 张磊^{1,*} 魏世清¹ 李艳宾¹ 张超¹(¹ 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; ² 塔里木大学新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆阿拉尔 843300)

摘要 土壤酸性是阻碍苜蓿根瘤菌与其宿主紫花苜蓿之间高效共生固氮的重要环境因子. 本文研究了 Ca^{2+} 对紫花苜蓿及苜蓿根瘤菌耐酸能力的影响. 结果表明: 加入一定浓度的 Ca^{2+} (5 和 10 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 能提高苜蓿根瘤菌的生长速率, 使苜蓿根瘤菌提前进入对数生长期. 中性 pH 条件下, Ca^{2+} 的加入对苜蓿根毛变形率无显著影响; 低 pH 条件下, 加入 2.5 和 10 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Ca^{2+} 均可提高根毛变形率, Ca^{2+} 浓度越高, 其影响越显著, 说明低 pH 下 Ca^{2+} 可能会促进苜蓿根瘤菌与其宿主之间的识别. 低 pH 条件下加入 Ca^{2+} 可以使苜蓿结瘤提前, 结瘤率提高; 结瘤动力学检测结果表明, 加入一定浓度的 Ca^{2+} 可以使同期结瘤数增加, 越是结瘤后期, 环境 pH 越低, 这种表现越明显.

关键词 紫花苜蓿 苜蓿根瘤菌 耐酸 结瘤 根毛变形

文章编号 1001-9332(2007)06-1231-06 **中图分类号** S144.3 **文献标识码** A

Effects of Ca^{2+} on acid tolerance of *Medicago sativa* and *Rhizobium meliloti*. ZHANG Qin^{1,2}, ZHANG Lei¹, WEI Shi-qing¹, LI Yan-bin¹, ZHANG Chao¹ (¹ College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; ² Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin of Xinjiang Production & Construction Corps, Tarim University, Alaer 843300, Xinjiang, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(6): 1231-1236.

Abstract: Soil acidity is an important environmental factor hampering the effective symbiotic nitrogen fixation of *Rhizobium meliloti* and its host plant *Medicago sativa*. The study on the effects of Ca^{2+} on the acid tolerance of *M. sativa* and *R. meliloti* showed that applying 5 and 10 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ of Ca^{2+} could promote the growth of *R. meliloti* and advance its log growth phase. Under neutral pH condition, applying Ca^{2+} didn't have any significant effects on root hair deformation, while under low pH condition, Ca^{2+} demonstrated positive functions. The higher the Ca^{2+} concentration, the more significantly it affected, indicating that Ca^{2+} might play an important role in the recognition between *R. meliloti* and its host plant. Applying Ca^{2+} under low pH made the nodulation ahead of time and the nodulation rate enhanced. Definite concentration of Ca^{2+} could increase the number of nodules in the same period, which was more obvious at anaphase stage or under lower pH condition.

Key words: *Medicago sativa*; *Rhizobium meliloti*; acid tolerance; nodulation; root hair deformation.

1 引言

土壤酸性严重影响了紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 的产量和共生固氮效率, 酸性条件下, 多数苜蓿根瘤菌的生长受阻甚至难以存活, 这大大限制了苜蓿生产的高产和优质. 偏酸和偏碱的环境条件对根

瘤菌的生长和结瘤均有明显的抑制作用^[18], 但根瘤菌在适度的酸性条件下会表现出对酸的适应性耐受反应, 低 pH 条件下根瘤菌的生长与存活对农业生产中豆科植物成功接种十分重要^[6]. 接种根瘤菌是影响苜蓿在酸性条件下的产量、结瘤数和高效固氮的重要因素, 可提高酸性条件下苜蓿的产量和品质^[19]. 施 Ca 可以提高植物的抗酸能力^[8,10], Ca 在根瘤菌对酸的耐受反应中也起着重要的作用, 研究表明, Ca^{2+} 能够维持根瘤菌株细胞膜尤其是脂多糖

* 国家重点基础研究发展规划资助项目(001CB108905).

* * 通讯作者. E-mail: echozhanglei@yahoo.com.cn

2006-04-07 收稿, 2007-03-15 接受.

(LPS)的稳定性,有助于外膜蛋白的表达^[1],随着pH的降低,Ca²⁺浓度的增加有利于紫花苜蓿共生结瘤^[11-12].Reeve等^[13]认为,一定浓度的Ca²⁺对苜蓿根瘤菌株WSM419在碱性和中性条件下的生长影响很小,但对其在酸性条件下的生长有显著影响. Ca²⁺浓度的增加可提高根瘤菌在酸性条件下的生长速率,使其能在酸性更强的环境中生长.目前,对苜蓿根瘤菌的研究主要集中在中等耐酸(pH 5.5以上)范围内^[2-3,7,13-15].为探讨Ca²⁺对紫花苜蓿及苜蓿根瘤菌耐酸能力的影响,本文研究了Ca²⁺对苜蓿根瘤菌在不同酸性条件下的生长、紫花苜蓿在不同酸度下的根毛变形率、苜蓿在酸性溶液中的现瘤天数、结瘤率和结瘤动力学的影响,旨在为紫花苜蓿的优质高效生产提供科学依据.

2 材料与方 法

2.1 供试材料

紫花苜蓿为连云港地方品种,购自江苏省连云港草业中心.3株苜蓿根瘤菌91512、91522、91532为本研究室分离获得,均能在pH 4.8的YMA固体培养基上正常生长并能使紫花苜蓿植株结瘤.根瘤菌培养基采用改进的YMA培养基:甘露醇10 g,酵母浸粉5 g,NaCl 0.1 g,MgSO₄·7H₂O 0.2 g,K₂HPO₄ 0.5 g.供试Ca²⁺为分析纯CaCl₂.

2.2 紫花苜蓿无菌幼苗的培养

紫花苜蓿种子先用95%乙醇浸泡5 min,再用0.1% HgCl₂溶液灭菌6~10 min,无菌水冲洗5~6次,播种于灭菌的滤纸上^[9],于(28±1)℃下暗培养1 d,再于(28±1)℃、16 h的光照下萌发1~2 d(用于根毛变形率检测)或5~7 d(用于结瘤检测).

2.3 根瘤菌株的培养

取生长于pH 4.8斜面的供试菌株各1支,用5 ml无菌水洗下菌体,取1 ml接种于100 ml中性YMA培养液中,置于28℃恒温振荡器中培养约24~26 h,调节其OD₆₀₀值约为1.0.

2.4 苜蓿根瘤菌生长试验

酸处理设pH 5.5、5.2、5.0、4.8共4个水平,每个酸水平又设0、5、10 mmol·L⁻¹3个Ca²⁺处理.pH 7.0 YMA液体培养基作为对照,重复3次.取新培养的苜蓿根瘤菌液(菌株91512,OD₆₀₀ = 1.0,1 ml)以1:100体积比接入YMA液体培养基中,于28℃恒温振荡器中培养,每2 h测定1次菌液OD值^[17].

2.5 紫花苜蓿根毛变形率试验

酸处理设pH 7.0、6.0、5.5、5.2、5.0、4.8共6

个水平,每个酸水平又设0、2、5、10 mmol·L⁻¹4个Ca²⁺处理,重复3次.以Fahraeus无氮植物营养液^[5]为基本营养液,取正常生长2 d的苜蓿幼苗培养于各处理营养液中,接种新培养的苜蓿根瘤菌液(菌株91512,OD₆₀₀ = 1.0,1 ml),培养24 h或48 h后于0.5 mmol·L⁻¹ CaCl₂中洗根,滤纸吸干后用倒置显微镜镜检根毛变形率,每处理16棵幼苗.

2.6 紫花苜蓿结瘤试验

酸处理设pH 5.5、5.2、5.0、4.8共4个水平,每个酸水平又设0、5 mmol·L⁻¹2个Ca²⁺处理,重复3次.Fahraeus无氮植物营养液为基本营养液,HAc-NaAc缓冲液调节溶液pH.取正常生长5~7 d的苜蓿幼苗培养于各处理营养液中,接种新培养的苜蓿根瘤菌液(菌株91512、91522、91532,OD₆₀₀ = 1),1 000 ml营养液中接种10 ml根瘤菌液,观察并记录现瘤日期,记录各阶段结瘤数,培养40 d后收获,统计最终结瘤率.

2.7 数据统计分析

用EXCEL和DPS软件进行数据处理和统计分析.

3 结果与分析

3.1 不同酸度下Ca²⁺对苜蓿根瘤菌生长的影响

从图1可以看出,低pH(5.5、5.2、5.0、4.8)条件下,根瘤菌株的生长速率降低,对数生长期滞后,稳定期到达延迟,尤其是在pH 4.8条件下,YMA液体培养基中几乎检测不到菌株的生长.加入一定浓度的Ca²⁺(5、10 mmol·L⁻¹)可以促进苜蓿根瘤菌的生长,使其生长速率提高,对数生长期提前,稳定期提早到达.随着pH的降低,Ca²⁺促进根瘤菌生长的作用更为明显,pH 4.8条件下,不仅所有处理延滞期大大变长,而且加Ca²⁺的处理菌株能够生长.在pH 5.5条件下,加入5和10 mmol·L⁻¹ Ca²⁺对促进根瘤菌生长的差异并不明显;在pH 5.2、pH 5.0、pH 4.8条件下,加入10 mmol·L⁻¹ Ca²⁺的根瘤菌对数期OD值高于加入5 mmol·L⁻¹ Ca²⁺,说明低pH条件下较高浓度的Ca²⁺更能促进根瘤菌的生长.

3.2 不同酸度下Ca²⁺对紫花苜蓿根毛变形的影响

从表1可以看出,酸度显著降低苜蓿根毛变形率,pH降低,根毛变形率降低,pH从7.0降低到4.5,培养24 h,根毛变形率从37.5%降低到0,培养48 h,根毛变形率从50%降低到0.中性(pH 7.0、pH 6.0)条件下,Ca²⁺浓度从0 mmol·L⁻¹增加到10

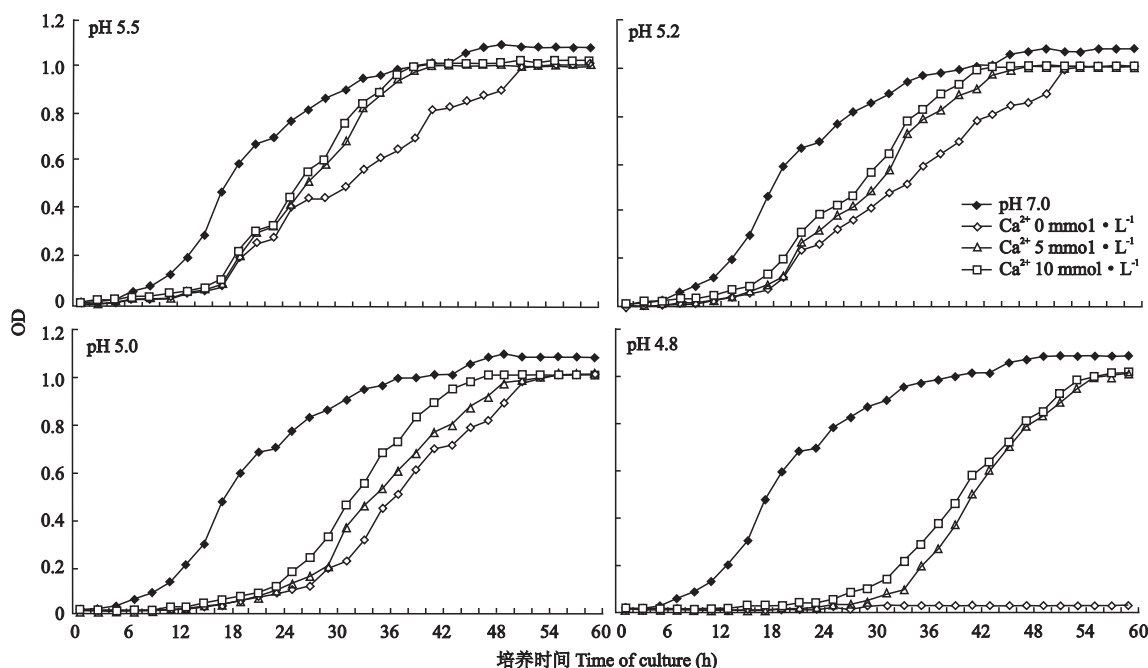


图1 不同酸度下 Ca^{2+} 对苜蓿根瘤菌生长的影响

Fig.1 Effects of Ca^{2+} on growth of *R. meliloti* under different acidity.

$\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 苜蓿根毛变形率几乎无变化. 酸性(pH 5.5、pH 5.2、pH 5.0、pH 4.8、pH 4.5)条件下,加入 $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Ca^{2+} 均可提高根毛变形率, Ca^{2+} 浓度越高,其影响越显著,说明低 pH 条件下, Ca^{2+} 可能会促进苜蓿根瘤菌与其宿主之间的识别.

3.3 不同酸度下 Ca^{2+} 对紫花苜蓿结瘤的影响

3.3.1 不同酸度下 Ca^{2+} 对紫花苜蓿现瘤天数及结瘤

率的影响 酸性条件下,紫花苜蓿会表现出延迟结瘤或不结瘤. 本试验中,接种3种根瘤菌株均能使苜蓿植株结瘤,但表现为结瘤延迟,pH越低,现瘤越晚(表2),pH从5.5降低到4.8,现瘤天数从13 d左右延迟到17~19 d. 加入 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Ca^{2+} 后苜蓿现瘤天数提前,pH 5.5下提前1 d或不提前;pH 5.2下可提前1~2 d;pH 5.0下可提前2~3 d;pH 4.8下可提前3~5 d. 可见,pH越低, Ca^{2+} 作用越明

表1 不同酸度下 Ca^{2+} 对紫花苜蓿根毛变形率的影响

Tab.1 Effects of Ca^{2+} on root hair deformation of *M. sativa* under different acidity (%)

pH	Ca^{2+} ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)							
	0		2		5		10	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
7.0	37.5 ± 2.5a	50.0 ± 3.5a	37.5 ± 2.5a	50.0 ± 2.5a	37.5 ± 2.5a	50.0 ± 3.0a	37.5 ± 2.0a	50.0 ± 3.0a
6.0	37.5 ± 2.5a	43.8 ± 2.5a	37.5 ± 2.5a	43.8 ± 2.5a	37.5 ± 2.5a	43.8 ± 2.5a	37.5 ± 2.5a	50.0 ± 3.0a
5.5	25.0 ± 1.5b	25.0 ± 2.0c	37.5 ± 2.5a	37.5 ± 2.5b	37.5 ± 2.0a	43.8 ± 2.2b	37.5 ± 2.5a	50.0 ± 2.5a
5.2	18.8 ± 1.2b	25.0 ± 1.8c	25.0 ± 2.0ab	37.5 ± 2.0b	25.0 ± 1.5b	43.8 ± 2.0ab	31.3 ± 1.6a	50.0 ± 2.5a
5.0	6.3 ± 1c	6.3 ± 0.8c	12.5 ± 1.2b	18.8 ± 1.5b	18.8 ± 1.5a	25.0 ± 1.8ab	18.8 ± 2.0a	31.3 ± 2.5a
4.8	0c	6.3 ± 0.8c	12.5 ± 1.5b	18.8 ± 1.5bc	12.5 ± 1.5b	18.8 ± 2.0b	18.8 ± 2.0a	25.0 ± 2.5a
4.5	0c	0c	0c	6.3bc	6.3 ± 1.0b	6.3 ± 0.8b	6.3 ± 1.5a	12.5 ± 1.5a

同列不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

表2 不同酸度下 Ca^{2+} 对紫花苜蓿现瘤天数的影响

Tab.2 Effects of Ca^{2+} on nodulation days of *M. sativa* under different acidity (d)

菌株 <i>R. meliloti</i>	pH 5.5		pH 5.2		pH 5.0		pH 4.8	
	0	5	0	5	0	5	0	5
91512	13.0 ± 1.0c	11.7 ± 0.6c	13.7 ± 0.6c	12.3 ± 0.6b	15.3 ± 0.7b	13.3 ± 0.6b	18.7 ± 0.6a	14.3 ± 0.6a
91522	13.0 ± 1.0c	11.3 ± 0.6c	13.3 ± 0.6c	12.0 ± 0c	15.3 ± 0.7b	13.3 ± 0.6b	18.3 ± 0.6a	14.3 ± 0.6a
91532	12.3 ± 0.6d	11.3 ± 0.6c	13.3 ± 0.6c	11.7 ± 0.6c	15.0 ± 1.0b	13.0 ± 0ab	18.0 ± 1.0a	14.3 ± 0.6a

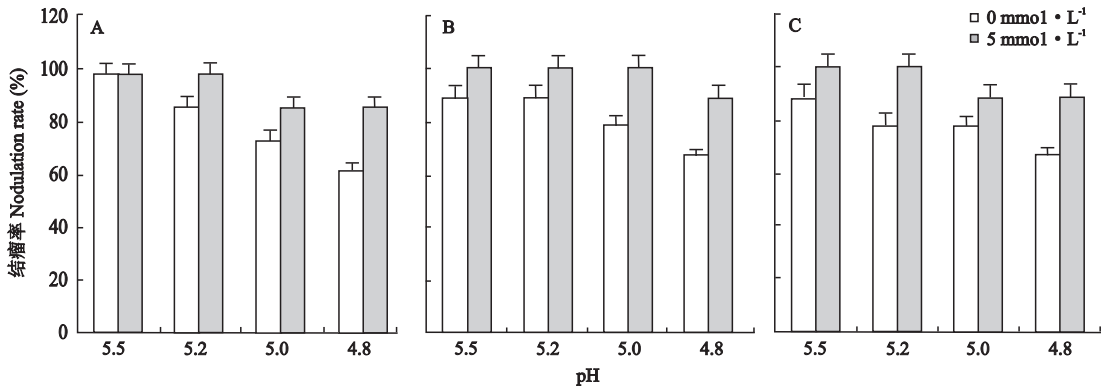


图2 不同酸度下 Ca^{2+} 对紫花苜蓿结瘤率的影响
Fig. 2 Effects of Ca^{2+} on nodulation rate of *M. sativa* under different acidity (%).
 A: 91522; B: 91512; C: 91532. 下同 The same below.

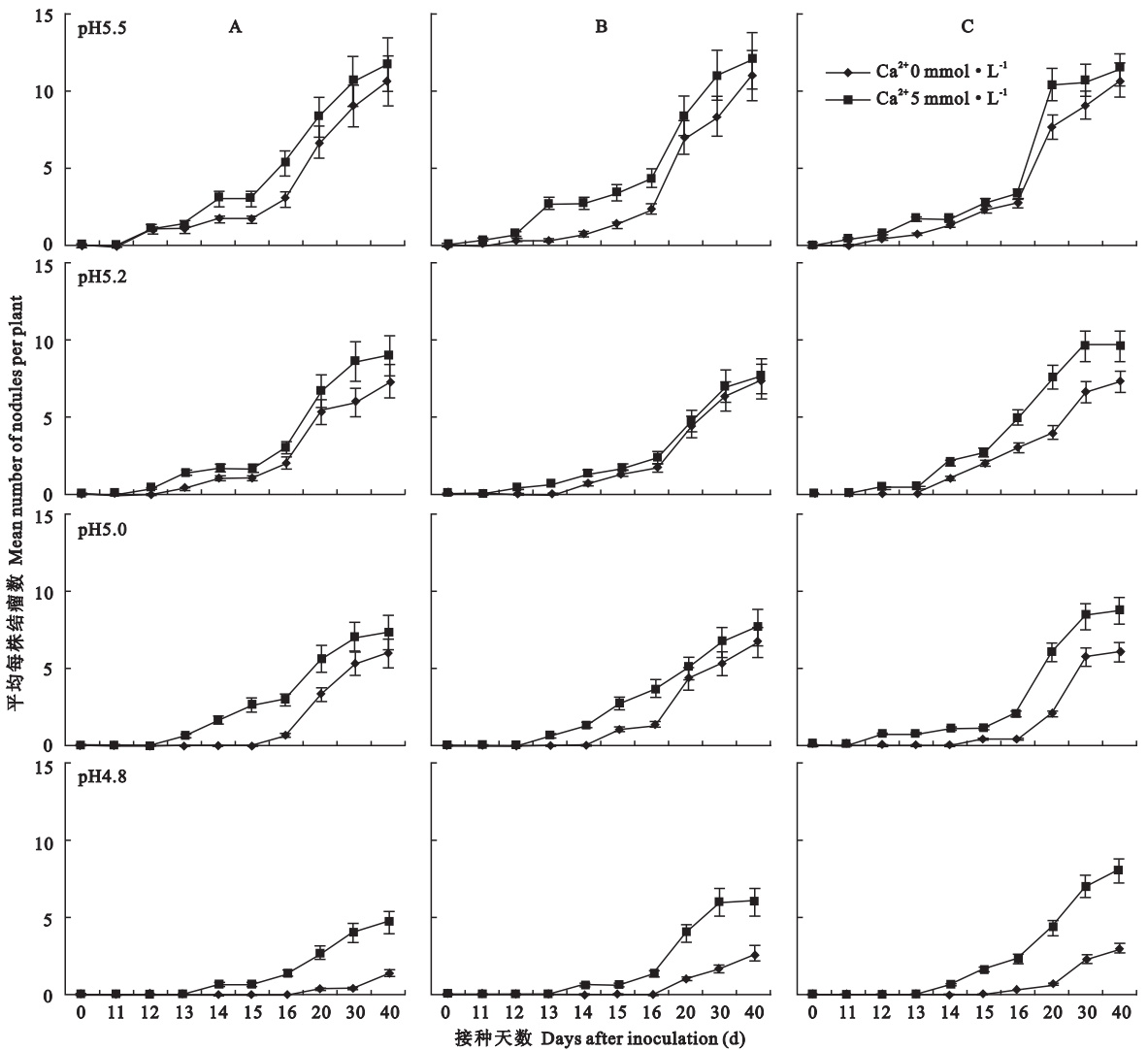


图3 低 pH 加 Ca^{2+} 条件下接种不同菌株的紫花苜蓿结瘤动力学曲线
Fig. 3 Dynamic curves of nodulation of *M. sativa* inoculated with different rhizobium under low pH with Ca^{2+} applied.

显. 从图2可以看出, 低 pH (5.5、5.2、5.0、4.8) 下, 加入 5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Ca^{2+} , 分别接种 3 种根瘤菌株后, 苜蓿植株结瘤率提高 11.1% ~ 22.2%. 不同根瘤菌

株的作用效果不同, 加 Ca^{2+} 条件下, 接种 3 种菌株均可使植株在 pH 5.5、pH 5.2 下的结瘤率达到 100%, 但菌株 91512 还可使植株在 pH 5.0 下的结

瘤率达到 100%,即使 pH 低至 4.8,结瘤率仍可达到 77.8% 以上。

3.3.2 不同酸度下 Ca^{2+} 对紫花苜蓿结瘤动力学的影响 在 pH 5.5、5.2、5.0 和 4.8 的培养液中加入 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}^{2+}$,检测接种根瘤菌株 91512、91522、91532 引起的紫花苜蓿植株的结瘤情况,建立了相应的结瘤动力学曲线(图 3),pH 和 Ca^{2+} 对平均每株结瘤数均有影响,在不同 pH 条件下,加入 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}^{2+}$ 均可提高同期结瘤数,这一作用效果自现瘤起就表现得十分明显。接种菌株 91512 和 91522,在 pH 5.5、5.2、5.0 下加 Ca^{2+} 对前期和后期结瘤数增加程度的影响几乎相同,但在 pH 4.8 下对后期结瘤数增加程度的影响更大,后期的同期结瘤数可增加 4~6 个。接种菌株 91532,在 pH 5.5 下加 Ca^{2+} 对前、后期结瘤数增加程度的影响均很小,在 pH 5.2、5.0 和 4.8 下加 Ca^{2+} 对后期结瘤数增加程度的影响比前期大。可见, Ca^{2+} 对不同根瘤菌株的作用效果不同,pH 越低,越是结瘤后期,加入 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}^{2+}$ 的平均每株结瘤数增加越多。

4 讨 论

低 pH 下根瘤菌的存活生长是成功接种及高效固氮的关键。不同酸度下 Ca^{2+} 对苜蓿根瘤菌生长影响的研究结果表明,低 pH 抑制根瘤菌的生长, Ca^{2+} 的加入可促进根瘤菌在酸性条件下的生长,这与 Reeve 等^[13]的研究结论一致。Watkin 等^[16]对比研究了 pH 对几株根瘤菌增代时间的影响,指出 pH 越低,根瘤菌增代时间越长。本文通过对各 pH 条件下根瘤菌生长曲线的构建,可以清晰地看出 pH 和 Ca^{2+} 对苜蓿根瘤菌生长各时期——延滞期、对数生长期和稳定期的影响,苜蓿根瘤菌在低 pH 下增代时间确有增长,然而低 pH 并不是影响其增代时间的主要限制因子,耐受一定低 pH 的根瘤菌(如菌株 91512)一旦经过了延长的延滞期就能够较快地生长,在添加一定浓度 Ca^{2+} 的情况下,其生长速率更快。

根毛变形是苜蓿结瘤的第一步,根毛变形率下降意味着结瘤数的减少,固氮能力的下降。低 pH 对根瘤菌引起的苜蓿根毛变形有抑制作用,根毛变形率显著下降,一定浓度的 Ca^{2+} 可提高其根毛变形率。Soto 等^[15]推测酸性条件下紫花苜蓿植株自身在限制结瘤中起重要作用,也有可能是根瘤菌限制了苜蓿结瘤。 Ca^{2+} 可能会促进苜蓿根瘤菌与其宿主之间的识别,提高低 pH 下紫花苜蓿的根毛变形率。

结瘤率的高低,结瘤数的多少,是指示苜蓿是否有效结瘤、高效固氮的重要指标。低 pH 显著降低了共生固氮效率,使苜蓿结瘤率降低,结瘤数减少^[4,15,19]。本研究中的 3 种菌株即使在 pH 4.8 下也能促使苜蓿结瘤率达到 55.6% 以上,使其根瘤具有较高的固氮酶活^[19],但这些对低 pH 有一定耐受力的苜蓿根瘤菌株的结瘤状况仍然受低 pH 的限制,而加入一定浓度的 Ca^{2+} 可以使现瘤日期提前,结瘤率提高,平均每株结瘤数增加。Soto 等^[15]对 pH 5.6 条件下 Ca^{2+} 对苜蓿根瘤菌结瘤动力学和结瘤率的影响研究表明,较耐酸根瘤菌的结瘤不受 Ca^{2+} 浓度的影响。本研究中选用的 pH 均低于 5.6,即使是接种比较耐酸的根瘤菌, Ca^{2+} 在低 pH 下对根瘤菌促使苜蓿结瘤仍然起着重要作用。可见, Ca^{2+} 对提高紫花苜蓿及苜蓿根瘤菌耐酸能力的作用是不容忽视的。

参考文献

- [1] Ballen KG, Graham PH, Jones RK, *et al.* 1998. Acidity and calcium interaction affecting cell envelope stability in *Rhizobium*. *Canadian Journal of Microbiology*, **44**: 582-587
- [2] Castro-Sowinski S, Carrera I, Catalan AI, *et al.* 2002. Occurrence, diversity and effectiveness of mid-acid tolerant alfalfa nodulating rhizobia in Uruguay. *Symbiosis*, **32**: 105-118
- [3] Del Papa MF, Balague LJ, Sowinski SC, *et al.* 1999. Isolation and characterization of alfalfa-nodulating rhizobia present in acidic soils of Central Argentina and Uruguay. *Applied & Environmental Microbiology*, **65**: 1420-1427
- [4] Fageria NK, Baligar VC, Wright RJ. 1989. Growth and nutrient concentrations of alfalfa and common bean as influenced by soil acidity. *Plant and Soil*, **119**: 331-333
- [5] Fahraeus G. 1957. The infection of clover root hairs by nodule bacteria studied by a simple glass slide technique. *Journal of General Microbiology*, **16**: 374-381
- [6] Glenn AR, Dilworth MJ. 1994. The life of root nodule bacteria in the acidic underground. *FEMS Microbiology Letters*, **123**: 1-10
- [7] Howieson JG, Robson AD, Abbott LK. 1992. Calcium modifies pH effects on the growth of acid-tolerant and acid-sensitive *Rhizobium meliloti*. *Australian Journal of Agricultural Research*, **43**: 765-772
- [8] Jiang T-H (蒋廷惠), Zhan X-H (占新华), Xu Y-C (徐阳春), *et al.* 2005. Roles of calcium in stress-tolerance of plants and its ecological significance. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **16**(5): 971-976 (in Chinese)
- [9] Li F-L (李阜棣), Yu Z-N (喻子牛), He S-J (何绍江). 1996. Infectious experiments in leguminous plants// *Agricultural Microorganism Experiment Techniques*. Beijing: China Agricultural Press: **96** (in Chinese)
- [10] Liang Y-C (梁永超), Shen Q-R (沈其荣), Zhang A-

- G (张爱国), *et al.* 1999. Effects of calcium and silicon on growth of and nutrient uptake by wheat exposed to simulated acid rain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **10**(5): 589-592 (in Chinese)
- [11] Munns DN. 1968. Nodulation of *Medicago sativa* in solution culture: Acid-sensitive steps. *Plant and Soil*, **28**: 129-146
- [12] Munns DN. 1970. Nodulation of *Medicago sativa* in solution culture: Calcium and pH requirements during infection. *Plant and Soil*, **32**: 90-102
- [13] Reeve WG, Tiwari RP, Dilworth MJ, *et al.* 1993. Calcium affects the growth and survival of *Rhizobium meliloti*. *Soil Biology & Biochemistry*, **25**: 581-586
- [14] Segundo E, Martínez-Abarca F, van Dillewijn P, *et al.* 1999. Characterisation of symbiotically efficient alfalfa-nodulating rhizobia isolated from acid soils of Argentina and Uruguay. *FEMS Microbiology Ecology*, **28**: 169-176
- [15] Soto MJ, van Dillewijn P, Martínez-Abarca F, *et al.* 2004. Attachment to plant roots and nod gene expression are not affected by pH or calcium in the acid-tolerant alfalfa-nodulating bacteria *Rhizobium* sp. LPU83. *FEMS Microbiology Ecology*, **48**: 71-77
- [16] Watkin ELJ, O'Hara GW, Glenn AR. 1997. Calcium and acid stress interact to affect the growth of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*. *Soil Biology & Biochemistry*, **29**: 1427-1432
- [17] Xie F-L (谢福莉). 2000. Selection of fine strain of *Sinorhizobium fredii* and study on its biodiversity. Master's Thesis of Huazhong Agricultural University. (in Chinese)
- [18] Yang J-K (杨江科), Zhou Q (周琴), Zhou J-C (周俊初). 2001. Effect of pH on nodulation of soybean rhizobia from Weifang and Huayuankou soils. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **12**(4): 639-640 (in Chinese)
- [19] Zhang Q (张琴), Long J (龙娟), Zhang L (张磊), *et al.* 2006. Effects on yield and quality of *Medicago sativa* by inoculation under different pH value. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), **15**(5): 59-62 (in Chinese)

作者简介 张琴,女,1980年生,硕士,讲师,主要从事紫花苜蓿高效耐酸根瘤菌的筛选和耐酸机理研究,发表论文2篇. E-mail: jhtabszq@sina.com

责任编辑 肖红

欢迎订阅 2007 年《应用生态学报》

《应用生态学报》(1990年创刊)是由中国科学院主管、中国生态学会和中国科学院沈阳应用生态研究所联合主办,科学出版社出版的国内外发行的综合性学术刊物.本刊宗旨是坚持理论联系实际、结合科研、教学、生产实际,报道生态科学诸领域在应用基础研究方面具有创新的研究成果,交流基础研究和应用研究的最新信息,促进生态学研究为国民经济建设服务.

本刊专门登载有关应用生态学(主要包括森林生态学、农业生态学、草地生态学、渔业生态学、自然资源生态学、景观生态学、全球变化生态学、城市生态学、产业生态学、生态规划与生态设计、污染生态学、化学生态学、生态工程学、恢复生态学、生物入侵与生物多样性保护生态学、流行病生态学、旅游生态学和生态系统管理等)的综合性论文、创造性研究报告和研究简报等.

本刊读者对象主要是从事生态学、地学、林学、农学和环境科学研究、教学、生产的科技工作者,有关专业的研究生及经济管理和决策部门的工作人员.

《中国科学引文数据库》、《中国科技论文与引文数据库》、《中国生物学文摘》、美国《生物学文摘》(BA)、美国《Medline》、美国《BIOSIS Previews》、美国《BIOTECHNO》、美国《化学文摘》(CA)、英国《生态学文摘》(EA)、日本《科学技术文献速报》(CBST)和俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)等十几种权威检索刊物均收录本刊的论文摘要(中英文),并被认定为《中国核心期刊(遴选)数据库》和《中国科学引文数据库》来源期刊.本刊的整体质量与水平已达到新的高度,1992年荣获全国优秀科技期刊三等奖和中国科学院优秀期刊二等奖,1996年荣获中国科学院优秀期刊三等奖,2000年荣获中国科学院优秀期刊二等奖,2001年入选中国期刊方阵双效期刊,2004和2005年入选“百种中国杰出学术期刊”.

本刊为月刊,A4开本,224页,每月18日出版,期定价45.00元,全国各地邮政局(所)均可订阅,邮发代号8-98.错过订期也可直接向本刊编辑部邮购,个人订阅优惠30%.地址:110016辽宁省沈阳市文化路72号《应用生态学报》编辑部.电话:(024)83970393,E-mail:cjae@iae.ac.cn