

Na⁺对两株土壤微生物溶硅溶磷的影响

高海宁^{1,2}, 焦扬^{1,2}, 李彩霞, 张勇, 杨彬^{1*}

(1. 河西学院农业与生物技术学院, 甘肃张掖 734000;

2. 甘肃省高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室, 甘肃张掖 734000)

摘要: 考察了Na⁺对Rs-2和Rs-4两株土壤微生物溶硅溶磷的影响。结果表明:Na⁺可促进Rs-2、Rs-4菌株溶硅能力的增加。在1.5% NaCl条件下, Rs-4菌的最大溶硅量为106.92 μg/mL; 在3% NaCl条件下, Rs-2菌株的最大溶硅量为148.9 μg/mL。而且Na⁺能够促进Rs-4菌株溶磷能力的增加, 在3% NaCl条件下, Rs-4菌株的最大溶磷量为115.68 μg/mL, 但Na⁺降低了Rs-2菌株的溶磷能力。Rs-2菌株溶硅量随时间的变化符合Logistic曲线类型, 回归分析表明溶硅量与时间呈正相关且回归关系显著。Rs-4菌株溶磷量随时间的变化符合二项式类型, 回归关系极显著且模型有很高的可信度。

关键词: 菌株; Na⁺; 溶硅; 溶磷

中图分类号: S154.38⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)06-0162-06

盐胁迫会抑制植物对磷元素的吸收^[1], 加速植物衰老。土壤中存在大量的解磷或溶磷微生物, 能够将植物难以吸收利用的磷转化为可吸收利用的形态^[2-4]。利用有益微生物缓解盐胁迫, 促进作物生长发育是近年来国内外研究的新方向^[5-7]。Difuzza等认为盐胁迫下促生菌可以提高植物对磷的吸收, 增加磷营养等^[8]。莫文萍等筛选得到的解盐促生菌在处理棉花种子后, 植株的磷含量有明显提高^[9]。

国内外有大量文献报道了硅可以提高植物对生物和非生物胁迫的抵抗能力。硅有利于提高植物的光合效率, 能促进根系生长发育, 提高抗倒伏、抗病虫害、抗旱、抗寒和养分吸收的能力, 并能够改善作物品质^[10-12]。

微生物对土壤磷、硅的转化影响很大, 目前利用微生物提高土壤肥力的研究比较多, 但针对西北地区干旱中性盐土壤环境的研究甚少。本研究考察了Na⁺对两株土壤微生物溶硅溶磷的影响, 以期改善西北地区中性盐土壤肥力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌株 从张掖市周边盐碱土壤中筛选到11株细菌, 经分离纯化得到两株溶磷溶硅特性较理想的菌株命名为Rs-2、Rs-4。

1.1.2 培养基

(1) 液体LB培养基: 用于种子菌液的制备。

(2) 解硅培养基(g/L): 由亚力山大罗夫培养基改修得到。蔗糖5, Na₂HPO₄ 2, MgSO₄·7H₂O 0.5, FeCl₃ 0.005, CaCO₃ 0.5, 高岭土3。

(3) 解磷培养基(g/L)^[13]: 蔗糖10, CaSO₄ 0.1, K₂HPO₄ 0.2, MgSO₄·7H₂O 0.2, NaCl 0.2, CaCO₃ 5, 酵母膏0.5, Ca₃(PO₄)₂ 3, pH自然。

(4) PKO培养基(g/L)^[14]: 蔗糖10, (NH₄)₂SO₄ 0.5, NaCl 0.1, KCl 0.2, MgSO₄·7H₂O 0.1, MnSO₄ 0.004, FeSO₄ 0.002, 酵母膏0.5, Ca₃(PO₄)₂ 3, pH自然。

(5) 培养方法: 将斜面保存菌接入液体LB培养基中, 30℃、180 r/min摇床培养9~12 h得种子菌液, 然后以90/150 mL装液量的解硅(解磷)培养基中, 以5%的接种量接入种子菌液, 30℃、150 r/min摇床培养。

1.2 方法

1.2.1 可溶硅的测定 灭菌或未灭菌的发酵液经10 000 r/min离心20 min后, 取上清液用硅钼兰比色法测定溶硅的含量。

1.2.2 可溶磷的测定 灭菌发酵液经10 000 r/min离心20 min后, 取上清液用钼锑抗比色法测定可溶磷的含量。

1.2.3 可溶硅(磷)量的计算

$$\text{溶硅(磷)浓度} = A - B$$

式中, A为加菌后发酵上清液中含硅(磷)量(μg/mL); B为空白未加菌上清液中含硅(磷)量(μg/mL)。

1.2.4 数据统计分析 每个处理做3次重复, 采用

收稿日期: 2012-06-11

基金项目: 甘肃省高校省级重点实验室项目(XZ1015)

作者简介: 高海宁(1973—), 男, 甘肃秦安人, 讲师, 硕士, 主要从事环境生物学方面的研究。

* 通信作者: 杨彬, 男, 讲师, 主要从事蔬菜植物生理与栽培技术研究。

Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行方差分析,SSR 法检验差异显著性,以平均值 ± 标准偏差反应每个处理各指标的大小。origin Lab 7.5 软件进行数据作图和拟合分析。

2 结果与讨论

2.1 Rs-2、Rs-4 菌株的溶硅能力

2.1.1 NaCl 浓度下菌株的溶硅量 在解硅培养基中加入 3% NaCl,于 48 h、72 h、96 h 在无菌条件下各取发酵液 5 mL,按方法 1.2.1 测发酵液中可溶硅含量。考察 NaCl 对 Rs-2、Rs-4 菌株的溶硅能力的影响,结果如图 1。

由图 1 可见, Rs-2、Rs-4 菌株在 48 h 内发酵液中溶硅量均较少,而 72 h 内有明显增加,分别为 125 μg/mL 和 97.42 μg/mL,96 h 内在未加 NaCl 条件下的溶硅量有所增加,而加 NaCl 的溶硅量均有不同

程度的降低。从 pH 值变化图可见,两株菌在溶硅过程中发酵液 pH 没有较明显的变化。S.N 格荣德夫等^[15]认为分泌粘液的细菌胶囊能包围高岭土微粒达到硅溶解的作用。连宾^[16]认为微生物溶解矿石中的钾、硅是多种作用的共同效果。由此可以推断,NaCl 可使 Rs-2、Rs-4 菌株的溶硅能力提高,而且对高岭土中不溶态硅的溶解不是酸溶解过程,可能为多种过程共同作用。加 NaCl 长时间培养后发酵液中可溶性硅量降低的原因有待进一步研究。

2.1.2 NaCl 条件下菌体对硅的吸持量 菌体培养过程与 2.1.1 相同,考虑到 48 h 内发酵液中可溶性硅量整体较低,考察了 3% NaCl,72、96 h 条件下 Rs-2、Rs-4 菌株发酵液灭菌与未灭菌后可溶性硅量的差值,以此表征菌体溶硅后对硅的吸持量,以吸持量占灭菌后可溶性硅的百分比表征吸持百分率,结果如图 2 所示。

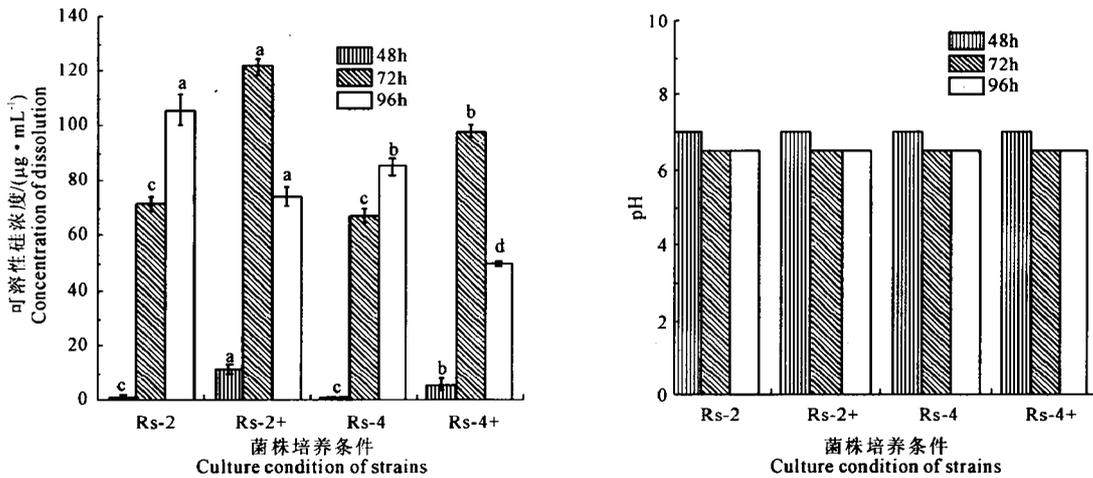


图 1 3% NaCl 条件下菌株的溶硅量及发酵液 pH 值 (+ 表示加 NaCl)

Fig.1 Dissolution silicon concentration and pH of fermentation broth under 3% NaCl concentration (+ was added NaCl)

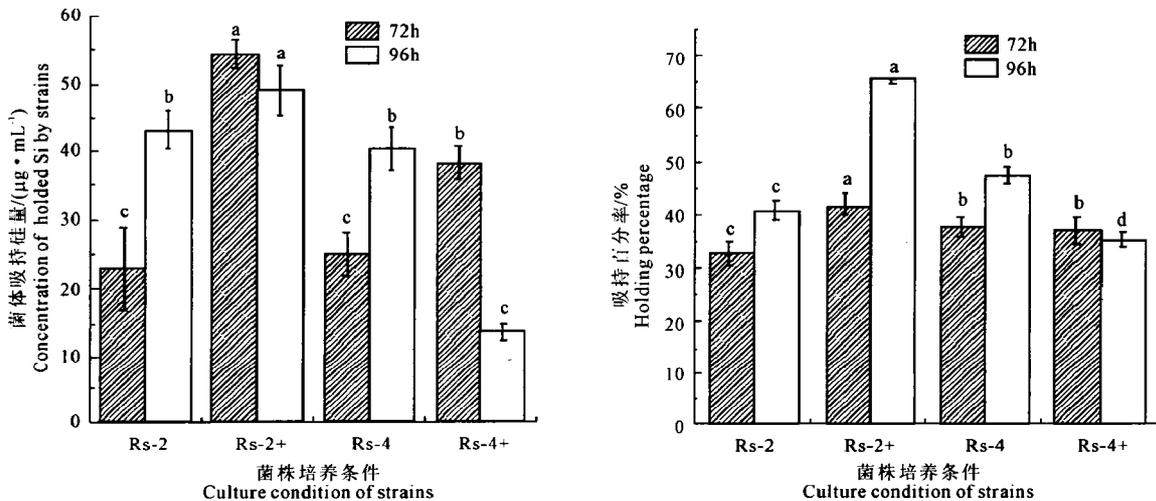


图 2 3% NaCl 条件下菌体对硅的吸持量和吸持百分率 (+ 表示加 NaCl)

Fig.2 The absorbed concentration and percentage of dissolution silicone under 3% NaCl concentration (+ was added NaCl)

由图 2 可见,加 NaCl 较未加 NaCl 条件下, Rs - 2 菌株对硅的吸持量在增加,加 NaCl 后 72 h、96 h 对硅的吸持量分别为 52.9 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和 48.7 $\mu\text{g}/\text{mL}$,吸持百分率分别为 42% 和 66%;而 Rs - 4 菌株仅在 72 h 条件下对硅的吸持量在增加。孙德四等人认为细菌浸出高岭石中的硅、铝后,由于细菌 - 矿物包裹体的形成以及大量细胞的生长,大部分的可溶性硅、铝,特别是硅被细菌牢牢吸附,或成为细菌细胞的组成物质,导致灭菌后清液中的硅含量不高^[17]。结合图 1 可得,菌株对硅的吸持能力与发酵液中硅浓度的关系密切相关,随着培养时间延长 NaCl 条件会使菌体吸持硅量降低,有可能部分溶解硅转变成了细菌适应逆境条件的物质,而且菌株自身的差异也会影响对硅的吸持量。

2.1.3 NaCl 浓度对菌体溶硅的影响 在解硅培养基中分别添加 0%、1.5%、3%、4.5%、6% 的 NaCl,考察 NaCl 浓度对 Rs - 2、Rs - 4 菌株溶硅的影响,实验过程与 2.1.1 相同,结果如图 3。

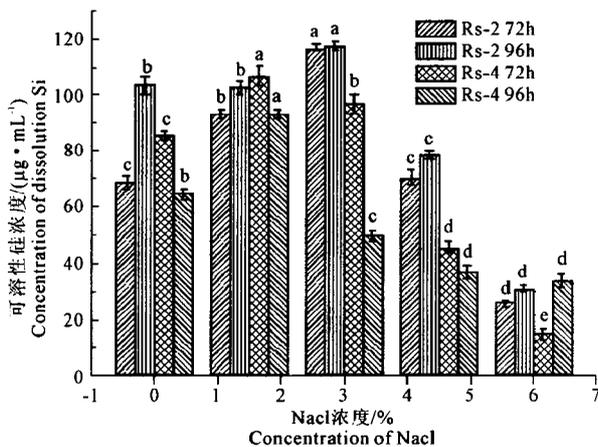


图 3 NaCl 浓度对 Rs - 2、Rs - 4 菌株溶硅的影响

Fig.3 The effect of different NaCl concentration on dissolution silicon of Rs - 2 and Rs - 4 strains

由图 3 可见,随着 NaCl 浓度的增加, Rs - 2、Rs - 4 菌株的溶硅量均表现为先增加后减少的趋势。Rs - 2 菌株在 3% NaCl 条件下,72 h 达到最大溶硅量 126.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$;Rs - 4 菌株在 1.5% NaCl 条件下,72 h 达到最大溶硅量 106.92 $\mu\text{g}/\text{mL}$,可以推断一定的 NaCl 浓度条件,可促进 Rs - 2、Rs - 4 菌株对硅的溶解。近年来国内外有大量文献报道了硅可以提高植物对生物和非生物胁迫的抵抗能力。由此,NaCl 条件下 Rs - 2、Rs - 4 菌株的溶硅能力提高可能是生物体对环境的适应性特征,但随着 NaCl 含量的增

加,高盐使溶硅总量表现为降低。

2.1.4 硅类型对溶硅的影响 鉴于 Rs - 2 菌株较 Rs - 4 菌株能耐受较大的盐浓度,以 Rs - 2 作为实验菌,进一步考察了菌体溶硅过程中对硅类型的要求,在解硅培养基中分别加入高岭土和石英砂作为不溶硅的来源,实验过程与 2.1.3 相同,结果如图 4 所示。

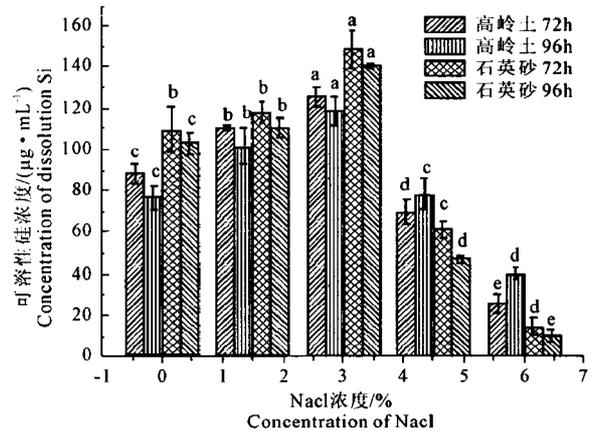


图 4 硅的类型对不同 NaCl 浓度下 Rs - 2 菌株溶硅的影响

Fig.4 The influence of types of silicon on dissolution silicon of Rs - 2 strains under different NaCl concentration

由图 4 可见, Rs - 2 菌株在 NaCl 浓度小于 3% 的条件下对石英砂的溶硅量较大,72 h 溶硅量为 148.9 $\mu\text{g}/\text{mL}$;而当 NaCl 浓度大于 3% 后则对高岭土的溶硅量相对较大。出现上述现象可能是因为:高岭土的组成中除含有二氧化硅外还含有 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 等成分,孙德四等人通过对浸渣主要物相分析,表明层状结构的硅酸盐矿物如高岭石、伊利石等较易被细菌作用而释放出其中的硅、铝、钾等元素^[17]。在 NaCl 浓度增大的情况下高岭土中的复杂成分也可能缓解了盐对菌体的影响,进而有利于菌体溶硅。Karavaik 认为在 Ashby 培养基中进行实验,细菌能分解石英砂中的 Si - O - Si 键而使硅得以溶解^[18],而且硅酸盐细菌分解硅酸盐矿物的能力与矿物质的晶格结构密切相关^[19],由此利用 Rs - 2 菌株以石英砂为不溶态硅源溶硅时应在小于或等于 3% NaCl 的环境中。

2.2 Rs - 2、Rs - 4 菌株的溶磷能力

2.2.1 NaCl 浓度下菌体的溶磷量 在解磷培养基中加入 3% NaCl,于 48 h、72 h、96 h 在无菌条件下取 Rs - 2、Rs - 4 菌株发酵液 5 mL,取上清液按 1.2.2 方法测可溶性磷含量。考察 NaCl 对 Rs - 2、Rs - 4 菌株溶磷能力的影响,结果如图 5。

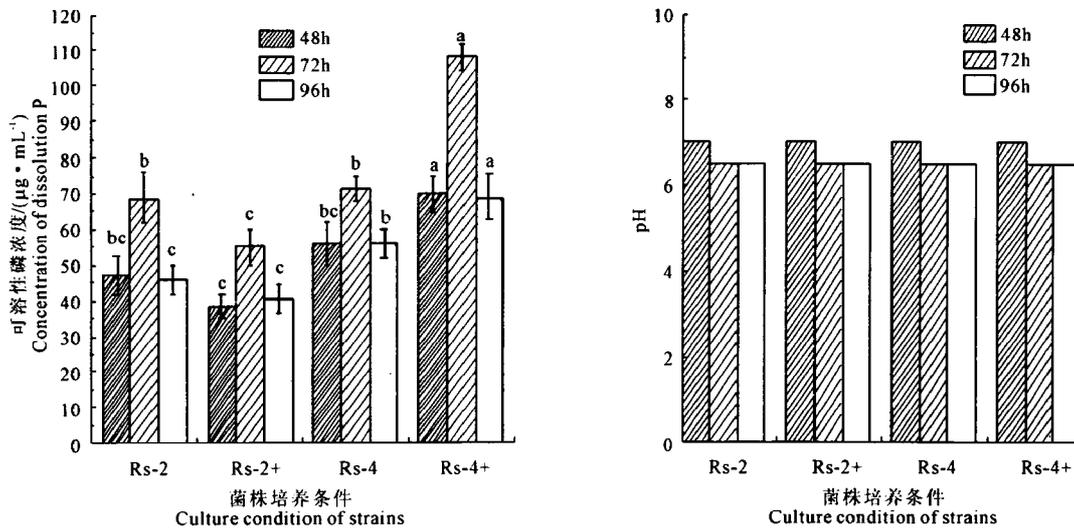


图 5 3% NaCl 条件下菌体的溶磷量和发酵液 pH 值 (+ 表示加 NaCl)

Fig.5 The dissolution phosphorus concentration and pH of fermentation broth under 3% NaCl concentration (+ was added NaCl)

由图 5 可见,不加 NaCl 时菌株 Rs-2, Rs-4 的溶磷趋势和溶磷量基本一致。加 NaCl 后 Rs-2 菌株溶磷量明显降低,而 Rs-4 菌株溶磷量为增加, Rs-4 菌株 72 小时溶磷量达到最大值 109.8 µg/mL, 之后溶磷量又有所降低。目前关于微生物溶磷研究机理主要有两方面,其一,通过微生物分泌的有机酸、CO₂ 或分泌质子等物质使含磷化合物溶解;其二,微生物产生酸性或碱性溶磷酶使含磷化合物溶解^[20]。结合实验过程中培养液 pH 并没有明显变化,因此 Rs-2, Rs-4 菌株的溶磷过程可能为生物性溶磷,而且 NaCl 条件可提高 Rs-4 菌株的溶磷能力。

2.2.2 NaCl 浓度对菌株溶磷的影响 鉴于 Rs-2, Rs-4 菌株在培养 96 h 后溶磷量有所降低,由此考察了 48 h 与 72 h 内 NaCl 浓度对 Rs-2、Rs-4 菌株溶磷的影响,在解磷培养基中依次添加 1.5%、3%、4.5%、6% 的 NaCl,实验过程与 2.2.1 相同,结果如图 6。

由图 6 可知,随着 NaCl 浓度的增加, Rs-2、Rs-4 菌株的溶磷量均为先增加后减少的趋势。不同 NaCl 浓度下 Rs-2 菌株溶磷量均小于 Rs-4 菌株的溶磷量。结合图 5 可见,NaCl 条件降低了 Rs-2 菌株的溶磷能力,但能促进 Rs-4 菌株溶磷能力的提高。由此, Rs-4 菌株在 NaCl 浓度低于 3% 的条件下溶磷量表现为增加趋势,当 NaCl 浓度高于 3% 时可能是高盐环境不利于菌体生长进而使溶磷总量表现为降低。

2.2.3 培养基对菌体溶磷的影响 鉴于 Rs-4 菌株在 NaCl 条件下的溶磷效果较好, Hafeez. F. Y 等

认为在 PKO 培养基中解磷菌的溶磷效果最好^[14], 由此考察了 3% NaCl 条件下 Rs-4 菌在解磷和 PKO 培养基中的溶磷情况。实验方法见 2.2.1, 结果如图 7。

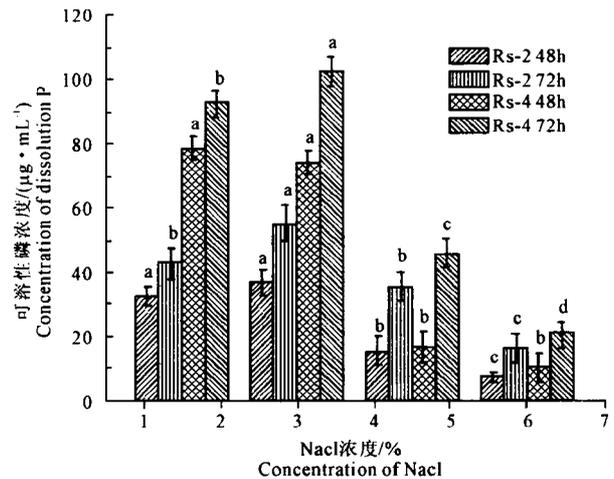


图 6 NaCl 浓度对 Rs-2 和 Rs-4 菌株溶磷的影响

Fig.6 The effect of NaCl concentration on dissolution phosphorus of Rs-2 and Rs-4 strains

由图 7 可知,3% NaCl 条件下 Rs-4 菌株在解磷和 PKO 培养基中的溶磷效果均优于未加 NaCl 的条件,而且在加 NaCl 的 PKO 培养基中溶磷量大于在解磷培养基中的溶磷量。Rs-4 菌株在 3% NaCl 条件下的 PKO 培养基中,72 h 时的溶磷量可达最大值 115.68 µg/mL。出现上述现象可能的原因:其一,在 PKO 培养基中有微量的 MnSO₄ 和 FeSO₄ 以及无机氮源硫酸铵,丰富的无机氮源可能促进了菌体较快的繁殖,适量的无机盐成分有利于菌株在 NaCl 条件下的溶磷;其二,在解磷培养基中含有少量

K_2HPO_4 , 初始的溶解磷可能影响了菌体在 NaCl 条件下的进一步溶磷。因此, Rs - 4 菌株在 NaCl 条件下的溶磷过程中, 培养基中初始磷酸根存在可能会减弱溶磷能力, 而适量的 $MnSO_4$ 、 $FeSO_4$ 以及硫酸铵可能会提高溶磷量。

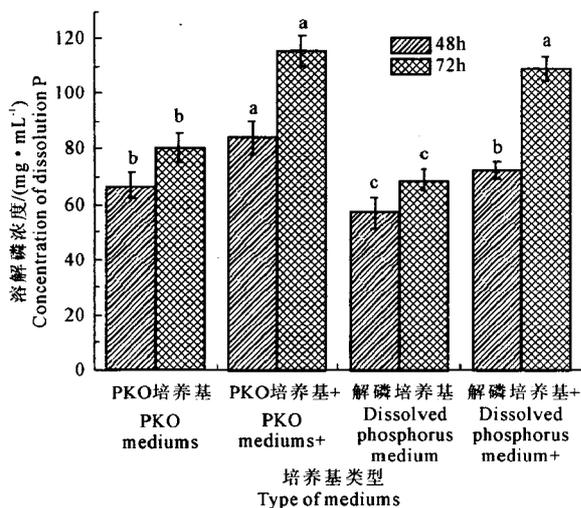


图 7 培养基对 Rs - 4 菌解磷的影响 (+ 表示加 3% NaCl)

Fig. 7 The effect of medium on dissolution phosphorus of Rs - 4 strains (+ was added 3% NaCl)

2.3 Rs - 2、Rs - 4 菌株的溶硅、溶磷过程的回归分析

菌株 Rs - 2 在含 3% NaCl 的石英砂解硅培养基中连续培养 96 h, 以未接菌的培养基为空白, 考察可溶性硅含量变化。菌株 Rs - 4 在含 3% NaCl 的 PKO 培养基中连续培养 86 h, 以未接菌的培养基为空白, 考察可溶性磷含量变化。结果如图 8、图 9 所示。

由图 8 时间与 Rs - 2 菌株溶硅量实测值的散点图可见, 分布趋势接近 Logistic 生长曲线, 对 Rs - 2 菌株溶硅量和时间关系做 Logistic 曲线回归分析。由表 1 回归各项的方差分析结果, 查 R 显著数值表, 得到 $R_{0.05(6)} = 0.707$, $R = 0.876 > R_{0.05(6)} =$

0.707 , $P < 0.05$, 表明 Rs - 2 菌株溶硅量与时间的相关系数显著, 且时间与溶硅量正相关。查 F 值表, 得到 $F_{0.05(1,7)} = 5.59$, $F = 19.755 > F_{0.05(1,7)} = 5.59$, $P < 0.05$, 表明 Rs - 2 菌株溶硅量与时间的回归关系显著。决定系数 R^2 为 0.767, 表示方程模型与实验数据有 76.7% 的符合程度, 调整后的 R^2_{adj} 为 0.728, 表明模型预测有一定的可信度。

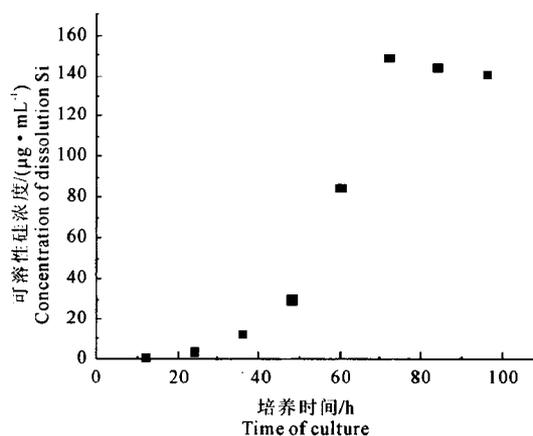


图 8 时间对 Rs - 2 菌株发酵液中溶硅量的影响

Fig. 8 The effect of time on dissolution silicon by Rs - 2 strains

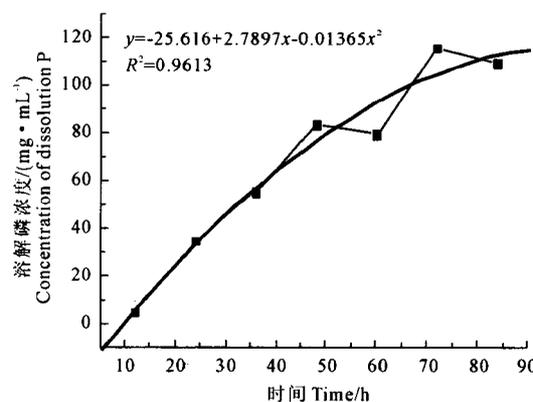


图 9 时间对 Rs - 4 菌株发酵液中溶磷量的影响

Fig. 9 The effect of time on dissolution phosphorus by Rs - 4 strains

表 1 Rs - 2 菌株溶硅模型回归及方差分析

Table 1 Dissolution silicon model regression and ANOV of Rs - 2 strains

变异来源 Source	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	F	Sig.
回归 Regression	40.768	1	40.768	19.755	0.004
残差 Residual error	12.382	6	2.064		
总计 Total	53.150	7			
回归模型 Regression model	$R = 0.876$; $R^2 = 0.767$; $R^2_{adj} = 0.728$; 估计值的标准误 Standard error of estimate = 1.437				

对时间与 Rs - 4 菌株溶磷量的实测值进行回归分析如图 9, 其拟合的二次回归方程为: $y = 2.7898x - 0.01395x^2 - 25.616$ 。由表 2 回归各项的方差分析

结果, 查 F 值表, 得到 $F_{0.01(2,6)} = 10.92$, $F = 49.623 > F_{0.01(2,6)} = 10.92$, $P < 0.01$, 表明 Rs - 4 菌株溶磷量与时间的回归关系极显著。决定系数 R^2 为 0.961,

表示方程模型与实验数据有 96.1% 的符合程度,调整后的 R^2_{adj} 为 0.942,表明模型有很高的可信度。

表 2 Rs-4 菌株溶磷模型回归及方差分析
Table 2 Dissolution phosphorus model regression and ANOV of Rs-4 strains

变异来源 Source	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	F	Sig.
回归 Regression	9152.484	2	4576.242	49.623	0.002
残差 Residual error	368.882	4	92.220		
总计 Total	9521.366	6			
回归模型 Rregression model	$R^2 = 0.961$; $R^2_{adj} = 0.942$; 估计值的标准误 Standard error of estimate = 9.603				

注:自变量为时间,时间与溶磷量在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Note: The independent variable for time, time and dissolved phosphorus concentration at 0.01 level(double side) significant correlation.

3 结 论

1) NaCl 条件有利于 Rs-2、Rs-4 菌株溶硅,培养 72 h 后,在 1.5% NaCl 条件下,Rs-4 菌的最大溶硅量为 106.92 $\mu\text{g}/\text{mL}$;在 3% NaCl 条件下,Rs-2 菌株的最大溶硅量为 148.9 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。菌株对可溶硅的吸持能力受发酵液中可溶性硅浓度的影响较显著,而且随着培养时间延长 NaCl 条件会使菌体吸持硅量降低,菌株自身的差异也会影响对硅的吸持量。

2) NaCl 条件能够促进 Rs-4 菌株溶磷,微量的 MnSO_4 和 FeSO_4 以及无机氮源硫酸铵可促进溶磷,磷酸根的存在不利于溶磷,在 3% NaCl 条件下,72 h 时的最大溶磷量为 115.68 $\mu\text{g}/\text{mL}$,Rs-4 菌株在 NaCl 浓度低于 3% 的条件下溶磷量表现为增加。NaCl 条件会降低 Rs-2 菌株的溶磷能力。

3) 基于时间的 Rs-2 菌株溶硅量符合 Logistic 曲线类型,回归分析表明溶硅量与时间呈正相关且回归关系显著。Rs-4 菌株溶磷量与时间的回归关系极显著,其拟合方程为 $y = 25.616 + 2.7898x - 0.01395x^2$,且模型有很高的可信度。

参 考 文 献:

- [1] Martinez V, Lauchp A. Salt induced inhibition of phosphate uptake in plants of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Newphytology, 1994, 125:609-614.
- [2] 金术超,杜春梅,平文祥,等.解磷微生物的研究进展[J].土壤肥料,2006,26(20):73-77.
- [3] 钟传青,黄为一.不同种类解磷微生物的溶磷效果及其磷酸酶活性的变化[J].土壤学报,2005,42(2):286-294.
- [4] 林郑和,陈荣冰,郭少平.植物对缺磷的生理适应机制研究进展[J].作物杂志,2010,8(5):5-10.
- [5] Mayak S, Tirosh T, Glick B R. Plant growth - promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2004, 42: 565-57.

- [6] Bacilio M, Rodriguez H, Moreno M, et al. Mitigation of salt stress in wheat seedling by a *gfp* - tagged *Azospirillum lipoferum* [J]. Biology Fertilize Soil, 2004, 40:188-193.
- [7] 贺学礼,赵丽莉,李英鹏.NaCl 胁迫下 AM 真菌对棉花生长和叶片保护酶系统的影响[J].生态学报,2005,25(1):188-193.
- [8] Dilfuza Egamberdiyeva, Gisela Hoflich. Effect of plant growth-promoting bacteria on growth and nutrient uptake of cotton and pea in a semi-arid region of Uzbekistan[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 56: 293-301.
- [9] 英文萍,郑元元,岳海涛,等.棉花解盐促生菌的筛选及其作用机理的初步研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2006,24(1):79-82.
- [10] 侯彦林,郭伟,朱永.非生物胁迫下硅素营养对植物的作用及其机理[J].土壤通报,2005,36(3):426-429.
- [11] Liang Y C. Effect of silicon on leaf ultrastructure, chlorophyll content and photosynthetic activity of barley under salt stress [J]. Pedosphere, 1998, 8(4):289-296.
- [12] Savant N K, Korndirfer G H, Datnoff L E, et al. Silicon nutrition and sugarcane production: a review [J]. J Plant Nutr, 1999, 22(12): 1853-1903.
- [13] 李玉梅,王根林,孙彬.不同磷钾水平对硅酸盐细菌解钾溶磷能力的影响[J].土壤肥力科学,2007,23(5):258-260.
- [14] Hafeez F Y, Malik K A. Manual on Biofertilizer Technology [M]. Pakistan: National Institute for Biotechnology and Genetic Engineering, 2000:50-51.
- [15] Grondeva S N. 铝土矿的微生物选矿[J].国外金属矿山,1989,(11):9-12.
- [16] 连宾,傅平秋,莫德明,等.硅酸盐细菌解钾作用机理的综合效应[J].矿物学报,2002,22(2):179-183.
- [17] 孙德四,陈福山,张强.硅酸盐细菌特性及对硅铝的活化与吸持研究[J].苏州科技学院学报,2005,18(4):28-31.
- [18] Karavaiko G I. Role of microorganisms and some physico-chemical factors of the medium in quartz destruction [J]. Mikrobiologiya, 1984, 53(6):976-981.
- [19] 孙德四,张强.硅酸盐细菌生长及对硅酸盐矿物中硅铝的浸溶[J].金属矿山,2005,39(9):39-41.
- [20] 盛荣,肖和艾,谭周进,等.土壤解磷微生物及其磷素有效性转化机理研究进展[J].土壤通报,2010,41(6):1505-1510.

(英文摘要下转第 185 页)

Emergy analysis of agricultural models of straw returning in the central Shaanxi plain

JIANG Bi, LI Ming, WU Xi-hui, TONG Xiao-gang, WU Fa-qi*

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Crop straws burning or idling not only caused serious air pollution, but also caused a tremendous waste of resources. Therefore the straw recycling research gets more and more attention. Based on the theory and method of emergy analysis of eco-economic system, the emergy flow of 9 different straw returning models was investigated quantitatively through a series of indexes. The results showed that, input of nonrenewable industrial emergy in all models was the largest contributor to the total emergy inputs, and input of chemical fertilizer emergy had the biggest proportion. Emergy output of wheat straw and maize crushing and returning (WH-MC) was the highest of 7.60×10^{15} sej/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$). The emergy utilization efficiency of the high stubble wheat straw and maize crushing and returning (WH-MC) was the highest while the environmental loading ratio was the lowest, and the feedback and value to cost ratio were the highest, reaching 2.52%, 1.13%, 75.90% and 1.39 respectively. Therefore, the mode of the high stubble mulch of wheat and corn straw chopping is the optimal model in planting production in this area and should be widely popularized.

Keywords: straw returning; model; emergy analysis; central Shaanxi plain

(上接第 167 页)

Effect of Na^+ on silicon and phosphorus dissolved by two strains microorganisms

GAO Hai-ning^{1,2}, JIAO Yang^{1,2}, LI Cai-xia, ZHANG Yong, YANG Bin^{1,*}

(1. Agriculture and Biotechnology Institute, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. Key Laboratory Hexi Corridor Resources Utilization of Gansu Universities, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: Research was conducted to observe the impact of Na^+ ion on silicon(Si) and phosphorus(P) dissolved by Rs-2 and Rs-4 strains. The results indicated that NaCl condition could improve Si dissolved by Rs-2 strains and Rs-4 strains. When Rs-4 strains were cultivated 72 hours, concentration of dissolution Si reached $106.92 \mu\text{g}/\text{mL}$ under 1.5% NaCl, and $148.9 \mu\text{g}/\text{mL}$ by Rs-2 strains under 3% NaCl. Then, NaCl condition could facilitate dissolution P capacity of Rs-4 strains, after 72 h, concentration of dissolution P reached $115.68 \mu\text{g}/\text{mL}$ under 3% NaCl. Furthermore, based on the changing with time, dissolution Si character of Rs-2 strains accorded with Logistic curve type, and regression analysis showed that dissolved silicon and time was in positive correlation and had significant relationship. Followed dissolution P character of Rs-4 strains accorded with binomial type, and had very significant relationship and high reliability.

Keywords: bacterial strain; Na^+ ; dissolved silicon; dissolved phosphorus