

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 8 月 29 日 (29.08.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/174288 A1

- (51) 国际专利分类号:
A01G 31/00 (2018.01) *B09C 1/08* (2006.01)
A01G 13/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/079938
- (22) 国际申请日: 2023 年 3 月 6 日 (06.03.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310142969.1 2023年2月21日 (21.02.2023) CN
- (71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。
- (72) 发明人: 庞志豪 (PANG, Zhihao); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 梁永超 (LIANG, Yongchao); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

- (74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD); 中国浙江省杭州市西湖区古墩路 701 号紫金广场 C 座 1506 室, Zhejiang 310058 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,

(54) Title: METHOD FOR ENHANCING PLANT RESISTANCE TO HEAVY METAL CHROMIUM BY SILICON LAYER-BY-LAYER SELF-ASSEMBLY

(54) 发明名称: 一种利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法

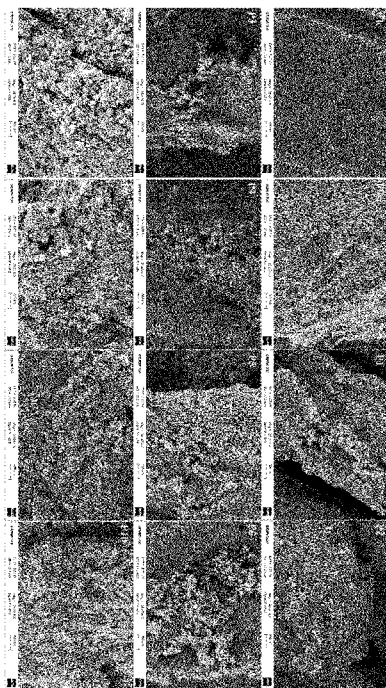


图 1

(57) Abstract: Disclosed in the present invention is a method for enhancing plant resistance to heavy metal chromium by silicon layer-by-layer self-assembly. The method specifically comprises: before transplanting a plant, alternately soaking a root system of the plant in a cationic silicon polymerization inducer solution and a silicic acid solution; forming one or more layers of silicon on the surface of the root system of the plant by means of layer-by-layer self-assembly; and transplanting the plant into a chromium-containing environment thereafter. By using the method of the present invention, a silicon layer can be formed on the surface of the root system of the plant, so that the silicon content of the root system can be increased to 1733 $\mu\text{g/g}$ at most in a short time, and compared with common culture, the present invention reduces the chromium content of an overground part by 68-75.2%. In addition, in terms of rice growth condition, increase of the silicon content of the root system, and limitation of the chromium content of the aboveground part, the present invention is superior to directly adding silicon in a nutrient solution.

(57) 摘要: 本发明公开了一种利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法。该方法具体为: 在植物移栽之前, 将植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中交替浸泡, 通过层层自组装的方法在植物根系表面形成一层或多层硅, 然后再将植物移栽至含铬环境中。使用本发明的方法可在植物根系表面形成硅层, 使根系硅含量在短时间内可最高增加至 1733 $\mu\text{g/g}$, 与普通培养相比地上部铬含量降低 68% -75.2%。此外, 本发明在水稻生长状况、增加根系硅含量、限制地上部铬含量等方面都优于营养液直接加硅。

HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法

技术领域

本发明属于农业环保技术领域，更具体地，本发明涉及一种利用硅层层自组装增强植物抗重金属铬胁迫能力的方法。

背景技术

随着工业活动的进行，造成部分农田的重金属污染，这会损害植物生长发育，造成粮食大量减产。此外，重金属在植物中积累并在食物链中富集，还将威胁动物和人类健康。铬(Cr)是重要的矿产资源，也是环境中毒性较大的致畸、致突变重金属污染元素，被国际癌症研究机构列为首要致癌物之一。以中国土壤环境质量标准(GB15618-2018)作为参考，中国约 4.31%的农田采样点铬超过筛查值，0.12%的超过控制值。应对农田重金属污染最简单的策略是避免其从土壤中被植物吸收，以防止金属进入地上部。如何在污染土壤中维持农业安全生产，是亟待解决的问题。

硅是一种植物有益元素。由于硅其在细胞壁沉积后可以阻滞金属离子进入细胞，抑制金属从根向地上部的转运，其在帮助植物抵抗金属胁迫中的作用已经被广泛报道。但硅在根部聚合速度较慢。此外，由于可能缺乏转运蛋白或细胞壁某些特定组分，大部分双子叶植物硅含量较单子叶植物大幅降低，因此即使外源施硅，其植株硅含量提高幅度有限，抗逆境胁迫效果也并不明显。如何调控植物硅聚合速度，如何让非喜硅植物也可以利用硅增加抗逆境胁迫能力，这两大问题成为植物硅营养的瓶颈。

发明内容

本发明的目的在于快速提高植物根部硅含量，增强其抗重金属胁迫能力，并提供一种安全、经济、实用的操作方案。

为实现上述目的，本发明所采用的具体技术方案如下：

一种利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其做法为：在植物移栽之前，将植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中交替浸泡，通过

层层自组装的方法在植物根系表面形成一层或多层硅,然后再将植物移栽至含铬环境中。

作为优选,所述植物为单子叶植物或双子叶植物;所述单子叶植物优选为水稻;所述双子叶植物优选为小白菜。

作为优选,所述阳离子硅聚合诱导剂溶液中的阳离子硅聚合诱导剂为聚季铵盐-10、阳离子瓜尔胶、明胶、壳聚糖、多聚左旋赖氨酸、水性聚氨酯、聚丙烯胺盐酸盐、阳离子型聚丙烯酰胺、聚二甲基二烯丙基氯化铵、聚乙烯亚胺中的一种或多种。

作为优选,所述阳离子硅聚合诱导剂溶液中的阳离子硅聚合诱导剂为阳离子瓜尔胶。

作为优选,所述植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中交替浸泡两轮,在植物根系表面形成两层硅层。

作为优选,所述植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中各自的浸泡时长为 10min~1h。

作为优选,所述植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中各自的浸泡时长均为 20min。

作为优选,所述阳离子硅聚合诱导剂溶液的浓度为质量分数 0.5%。

作为优选,所述硅酸溶液的浓度为 100mM。

作为优选,所述含铬环境为含铬的土壤或营养液。

本发明与现有技术相比具有如下有益效果:在重度铬污染环境中(营养液铬浓度为 500 μ M),普通培养条件下,胁迫 3 天水稻地上部铬含量大幅增加,生长受到显著抑制,大量死亡。而将根系短时间浸泡在硅酸中,根系表面硅聚合缓慢,硅沉积较少,缓解铬胁迫能力较弱。使用本发明的层层自组装方法可在植物根系表面形成硅层,根系硅含量在短时间内可最高增加至 1733 μ g/g,与普通培养相比地上部铬含量降低 68%-75.2%。此外,本发明在水稻生长状况、增加根系硅含量、限制地上部铬含量等方面都优于营养液直接加硅。

附图说明

图 1 不同材料预处理后水稻根表形貌。Ck 表示只在水中浸泡 40min, P0si 表示在水中浸泡 20min 后在硅酸溶液中浸泡 20min, P1-P10 代表在十种高分子材

料溶液中浸泡 20min 后在硅酸中浸泡 20min。在 500nm 比例尺下, Ck 根表光滑, P0si 处理有细小颗粒, 而 P1-P10 处理有多种形态的沉积;

图 2 十种材料对铬胁迫下水稻硅含量和铬含量的影响。A 代表硅含量, B 中柱状图代表铬含量, 点线图表示铬转运系数。P1-P10 代表在十种高分子材料溶液中浸泡 20min 后在硅酸中浸泡 20min, 而后置于含 500 μ M 铬的 1/4 霍格兰营养液中, P0si 表示在水中浸泡 20min 后在硅酸溶液中浸泡 20min, 而后置于含铬营养液中, Cr 表示在水中浸泡 40min, 而后置于含铬营养液中, Ck 表示只在水中浸泡 40min, 而后置于无铬胁迫的营养液中。数据代表三个重复的平均值和标准误, 不同字母的数据在 $p<0.05$ 时显著不同;

图 3 不同处理方法对铬胁迫下水稻硅含量和铬含量的影响。设有设置 10min、20min、30min、40min、1h 五个浸泡时间, 1、2、3、4、5 五个自组装层数。A 代表硅含量, B 中柱状图代表铬含量, 点线图表示铬转运系数。数据代表三个重复的平均值和标准误, 不同字母的数据在 $p<0.05$ 时显著不同;

图 4 方法优化实验中根系硅含量与根系和地上部铬含量的相关性分析。A 代表根系硅与根系铬含量的关系, B 代表根系硅与地上部铬含量的关系。同时显示 95%置信区间;

图 5 最优材料和方法对铬胁迫下小白菜硅含量和铬含量的影响。A 代表硅含量, B 中柱状图代表铬含量, 点线图表示铬转运系数。G 代表 500 μ M 铬胁迫下使用本发明的方法, Si 表示铬营养液直接加硅, Ck 表示 500 μ M 铬胁迫。数据代表三个重复的平均值和标准误, 不同字母的数据在 $p<0.05$ 时显著不同。本方法显著增加根部硅含量, 降低地上部铬含量, 降低转运系数, 其效果优于营养液直接加硅。

具体实施方式

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂, 下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明。但是本发明能够以很多不同于在此描述的其它方式来实施, 本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似改进, 因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。本发明各个实施例中的技术特征在没有相互冲突的前提下, 均可进行相应组合。

因此本发明提供了一种利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，该方法可快速增加植物根部硅含量并提高其抗重金属铬胁迫能力的方法，其具体做法是在植物移栽之前，将植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中交替浸泡，通过层层自组装的方法在植物根系表面形成一层或多层硅，然后再将植物移栽至含铬环境中。

本发明可应用于单子叶植物（如水稻）或双子叶植物（如小白菜）中。以水稻为例，由于水稻根系细胞壁表面呈负电性，在上述层层自组装方法中，在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中交替浸泡一轮，可以在水稻根系表面形成一层硅。阳离子硅聚合诱导剂溶液是由阳离子高分子配制而成的溶液。在这个交替浸泡的过程中，水稻根系浸泡在阳离子硅聚合诱导剂溶液中可以在根系表面形成阳离子高分子层，而后将根系置于硅酸溶液中，由于阳离子高分子的正电性可以促进硅酸聚合，因此可以在根表形成一层硅层。如果需要继续形成第二层硅，则需再将根系置于阳离子高分子溶液中浸泡后，转移至硅酸中，进而在第一层硅表面继续形成第二层硅。由此，通过控制水稻根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中交替浸泡的轮数，可以调节根系表面硅的层数。该方法能够快速增加水稻根部硅含量，降低地上部铬含量，降低铬转运系数，并改善铬胁迫下水稻生长状况。同样的，本发明的层层自组装方法也可以应用于以小白菜为代表的双子叶植物上，增加小白菜根部硅含量，显著降低其地上部铬含量。

本发明中阳离子硅聚合诱导剂溶液中的阳离子硅聚合诱导剂，可以采用阳离子高分子材料，阳离子高分子材料可以是天然阳离子高分子，也可以是合成有机高分子，可采用的天然阳离子高分子包括：1.聚季铵盐-10（阳离子纤维素）、2.阳离子瓜尔胶、3.明胶、4.壳聚糖、5.多聚左旋赖氨酸，可采用的合成有机高分子包括：6.水性聚氨酯、7.聚丙烯胺盐酸盐、8.阳离子型聚丙烯酰胺、9.聚二甲基二烯丙基氯化铵、10.聚乙烯亚胺。综合考量安全性、产品价格和作用效果，诱导硅快速聚合的阳离子高分子推荐使用阳离子型瓜尔胶，其无毒害，来源广泛，且价格低廉，能够有效促进硅聚合，提高水稻抗铬能力的效果十分明显。

另外，对不同浸泡时间和硅自组装层数的抗铬胁迫效果进行筛选，推荐浸泡时间 20min，浸泡两轮为最佳方案，水稻根系硅含量迅速增加，地上部铬含量明显降低，生长状况良好。

另外，由于植物以单硅酸形式吸硅，推荐使用 100mM 硅酸，可由硅酸钠酸化制备或通过氢型阳离子交换树脂制备。阳离子高分子推荐在使用前溶于去离子水，配置成质量分数 0.5% 的溶液。

本发明经过层层自组装处理后的植物，可移栽至含铬的土壤或营养液等含铬环境中，缓解铬胁迫。

下面通过若干实施例对本发明的具体实现以及技术效果进行详细描述。

实施例 1

本实施例中，利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，包括如下步骤：

(1) 配制阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液

本实施例中，选择十种阳离子高分子材料作为阳离子硅聚合诱导剂，分别为：1.聚季铵盐-10（阳离子纤维素）、2.阳离子瓜尔胶、3.明胶、4.壳聚糖、5.多聚左旋赖氨酸、6.水性聚氨酯、7.聚丙烯胺盐酸盐、8.阳离子型聚丙烯酰胺、9.聚二甲基二烯丙基氯化铵、10.聚乙烯亚胺。将上述十种阳离子高分子材料溶于去离子水，分别配制成质量分数 0.5% 的溶液待用。

另外，配制 100mM 硅酸溶液待用。

(2) 不同处理组实验

选择发芽后 21d，生长状况一致的水稻幼苗（品种为日本晴）进行实验。具体做法为：将根系浸泡在阳离子硅聚合诱导剂溶液中 20min，使其表面形成高分子层，期间不断摇晃。而后将根系浸泡于 100mM 硅酸溶液中 20min，由于阳离子高分子的正电性可以促进硅酸聚合，可以形成一层硅层。十种阳离子硅聚合诱导剂溶液分别设置一个处理组，记为 P1-P10。将不同处理的水稻幼苗置于含有 500 μ M Cr(III)（由氯化铬配置）的 1/4 霍格兰营养液中，培养 3d。

另外，设置四个对比处理组 CK、P0si、Si 和 Cr。其中 CK 组的做法为将水稻幼苗在纯水中浸泡 40min 后，置于无铬的 1/4 霍格兰营养液中，培养 3d。P0si 组的做法为将水稻幼苗浸泡在纯水中 20min 后再在硅酸溶液中浸泡 20min，再将水稻幼苗置于含有 500 μ M Cr(III)（由氯化铬配置）的 1/4 霍格兰营养液中，培养 3d。Si 组的做法为将水稻幼苗浸泡在加入 1mM 硅酸的 1/4 霍格兰营养液中 40min，再将水稻幼苗置于含有 500 μ M Cr(III)（由氯化铬配置）的 1/4 霍格兰营养液中，

培养 3d。Cr 组的做法为将水稻幼苗浸泡在纯水中 40min，再将水稻幼苗置于含有 500 μ M Cr(III)（由氯化铬配置）的 1/4 霍格兰营养液中。

本实施例中，不同处理组的营养液 pH 均调至 5.6，以保持处理间一致。

对于上述 P1-P10 以及 CK、P0si 这 12 个处理组，水稻幼苗完成浸泡但尚未转移至营养液的水稻根系表面硅沉积情况如图 1 所示。从图中可见，Ck 组根表光滑，P0si 组处理有细小颗粒，而 P1-P10 处理组有多种形态的沉积。

培养 3d 后测定的地上部（Shoots）和地下部（Roots）硅、铬含量如图 2。从图中可见，P2（阳离子型瓜尔胶）处理组效果最好，根部硅含量是硅酸浸泡处理组的 2.49 倍，地上部铬含量较 Cr 处理组降低 75.2%，铬转运系数降至 0.06。

实施例 2

本实施例中，通过调节不同参数进行实验，来确定利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法的最佳浸泡时间和最佳层数。根系细胞壁硅层的厚度可以通过调节浸泡时间和交替吸附阳离子高分子和硅酸的次数进行控制。

以阳离子瓜尔胶配制质量分数 0.5%的阳离子硅聚合诱导剂溶液，将水稻幼苗（发芽后 21d，品种为日本晴）在阳离子硅聚合诱导剂溶液和 100mM 硅酸溶液中交替浸泡 1 次，为了对比不同浸泡时间对最终结果的影响，本实施例设置了 10min、20min、30min、40min、1h 五个浸泡时间，分别记为 T10 组、T20 组、T30 组、T40 组、T60 组。此处的浸泡时间是指在两种溶液中各自浸泡的时间，例如浸泡时间 10min 是指在阳离子硅聚合诱导剂溶液中浸泡 10min，再在 100mM 硅酸溶液中浸泡 10min。另外，为了对比层层自组装过程中硅层的层数对最终结果的影响，本实施例中保持浸泡时间 20min 不变，设置在阳离子硅聚合诱导剂溶液和 100mM 硅酸溶液中交替浸泡次数分别为 1、2、3、4、5 次，分别记为 1 组、2 组、3 组、4 组、5 组。然后再将上述不同处理的水稻幼苗置于含有 500 μ M Cr(III)（由氯化铬配置）的 1/4 霍格兰营养液中，培养 3d，再取出测定地上部（Shoots）和地下部（Roots）的硅、铬含量。另外，本实施例中设置了与实施例 1 相同的 CK 组和 Cr 组。

本实施例的结果如图 3，最终确定浸泡 20min、交替 2 次为本发明层层自组装过程的最佳参数。另外，对本实施例实验中根部硅含量与地上部铬含量进行线性拟合分析，图 4 显示了本实施例实验中根部硅含量与地上部铬含量的显著负相

关关系。

实施例 3

本实施例中，将利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法应用于双子叶植物（小白菜）上。利用上述实施例实验确定的最佳材料、浸泡时间和层数（阳离子瓜尔胶、20min、2 轮），处理小白菜根系。处理过程中，以阳离子瓜尔胶配制质量分数 0.5% 的阳离子硅聚合诱导剂溶液，将小白菜根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和 100mM 硅酸溶液中交替浸泡 2 次，每种溶液中浸泡时间为 20min。然后将小白菜根系置于含有 500 μ M Cr(III)（由氯化铬配置）的 1/4 霍格兰营养液中，培养 3d。

同时，本实施例还设置了相同时间的去离子水浸泡组 CK，以及营养液添加 1mM 硅酸的处理组 Si。其中 CK 组的做法为将小白菜根系在纯水中浸泡 40min 后，置于含有 500 μ M Cr(III)（由氯化铬配置）的 1/4 霍格兰营养液中，培养 3d。Si 组的具体做法将小白菜根系浸泡在加入 1mM 硅酸的 1/4 霍格兰营养液中 40min，再将小白菜根系置于含有 500 μ M Cr(III)（由氯化铬配置）的 1/4 霍格兰营养液中，培养 3d。

上述三个处理组培养 3d 后测定的地上部（Shoots）和地下部（Roots）硅、铬含量结果如图 5，结果表明使用本发明方法后白菜根部硅含量显著提高，高于营养液加硅，达 1502 μ g/g，与在水稻上使用该方法后的硅含量接近。而地上部硅含量增加不如营养液加硅组。使用本发明方法后，地上部铬含量显著降低，从 75.8 μ g/g 降至 19.0 μ g/g，转移系数从 0.027 降低至 0.009。

通过上述的说明内容相关工作人员完全可以在不偏离本项发明技术思想的范围内，进行多样的变更以及修改。本项发明的技术性范围并不局限于说明书上的内容，必须要根据权利要求范围来确定其技术性范围。以上所述的实施例只是本发明的一种较优的方案，然其并非用以限制本发明。有关技术领域的普通技术人员，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，还可以做出各种变化和变型。因此凡采取等同替换或等效变换的方式所获得的技术方案，均落在本发明的保护范围内。

权 利 要 求 书

1. 一种利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，在植物移栽之前，将植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中交替浸泡，通过层层自组装的方法在植物根系表面形成一层或多层硅，然后再将植物移栽至含铬环境中。

2. 如权利要求 1 所述的利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，所述植物为单子叶植物或双子叶植物；所述单子叶植物优选为水稻；所述双子叶植物优选为小白菜。

3. 如权利要求 1 所述的利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，所述阳离子硅聚合诱导剂溶液中的阳离子硅聚合诱导剂为聚季铵盐-10、阳离子瓜尔胶、明胶、壳聚糖、多聚左旋赖氨酸、水性聚氨酯、聚丙烯胺盐酸盐、阳离子型聚丙烯酰胺、聚二甲基二烯丙基氯化铵、聚乙烯亚胺中的一种或多种。

4. 如权利要求 1 所述的利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，所述阳离子硅聚合诱导剂溶液中的阳离子硅聚合诱导剂为阳离子瓜尔胶。

5. 如权利要求 1 所述的利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，所述植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中交替浸泡两轮，在植物根系表面形成两层硅层。

6. 如权利要求 1 所述的利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，所述植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中各自的浸泡时长为 10min~1h。

7. 如权利要求 1 所述的利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，所述植物的根系在阳离子硅聚合诱导剂溶液和硅酸溶液中各自的浸泡时长均为 20min。

8. 如权利要求 1 所述的利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，所述阳离子硅聚合诱导剂溶液的浓度为质量分数 0.5%。

9. 如权利要求 1 所述的利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，所述硅酸溶液的浓度为 100mM。

10. 如权利要求 1 所述的利用硅层层自组装增强植物重金属铬抗性的方法，其特征在于，所述含铬环境为含铬的土壤或营养液。

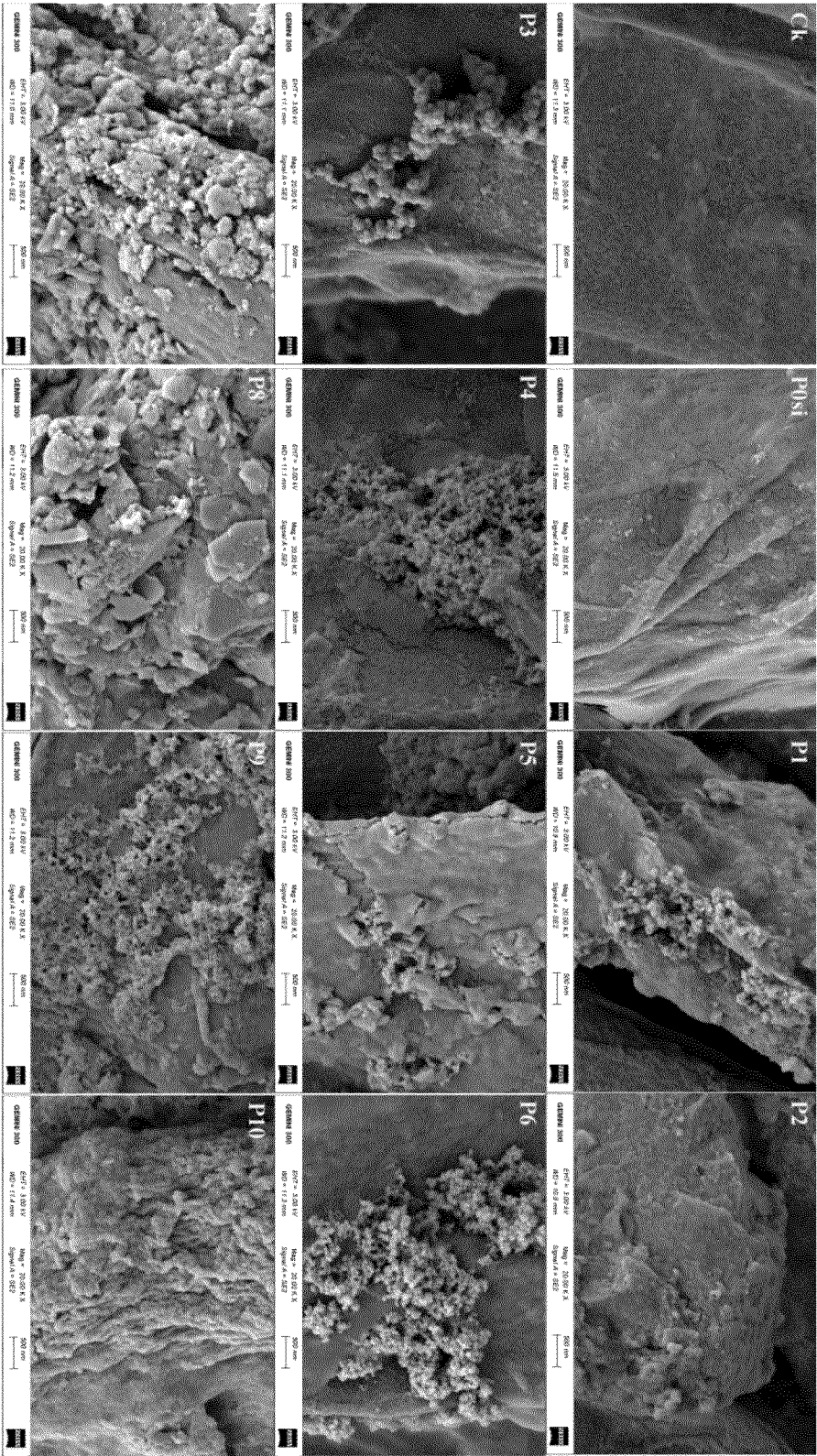


图 1

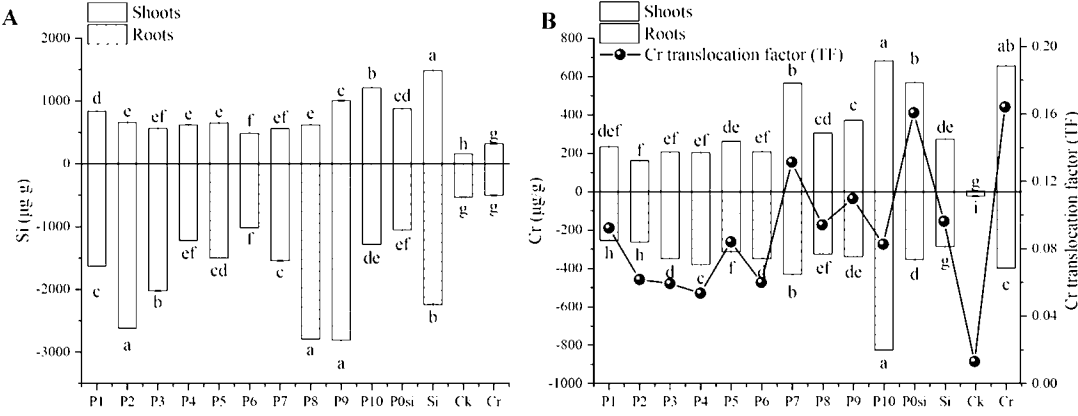


图 2

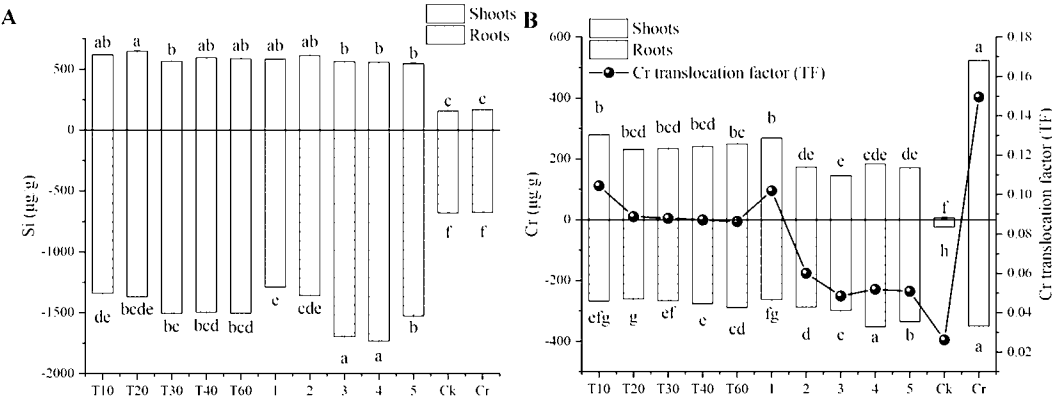


图 3

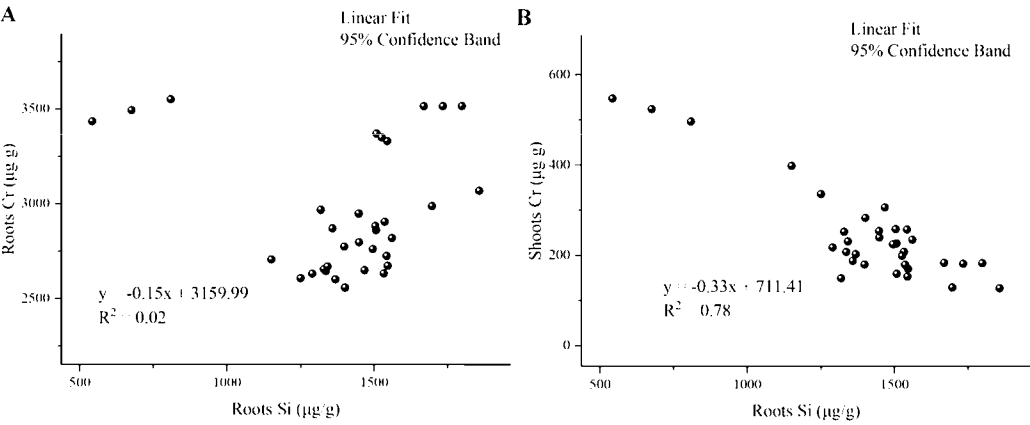


图 4

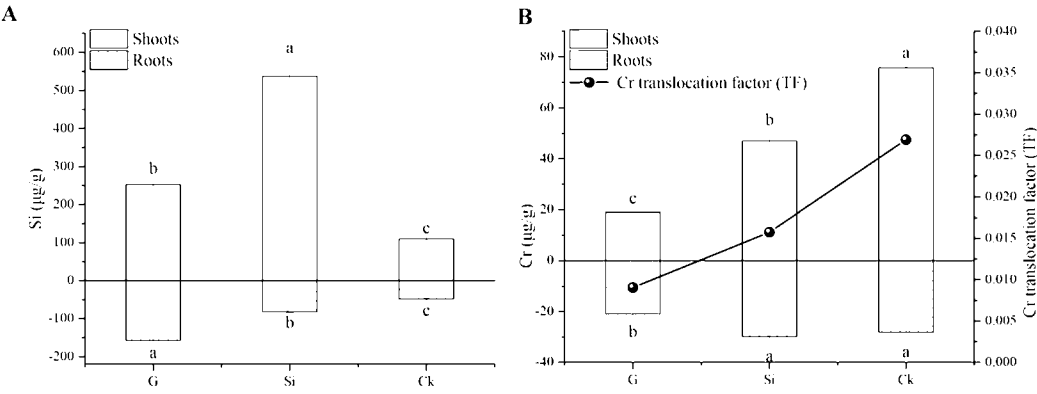


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/079938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A01G31/00(2018.01)i; A01G13/00(2006.01)i; B09C1/08(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: A01G,B09C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNXTX, ENTXTX, VEN, BAIDU, 读秀, DUXIU, CNKI, ISI, Web of Science, Elsevier Science: 浙江大学, 庞志豪, 梁永超, 硅, 硅层, 重金属, 铬, 胁迫, 抗性, 拮抗, 抵抗, 阻滞, 阻止, 根, 浸泡, 聚合, 沉积, 缓解, 阳离子硅聚合诱导剂, 聚季铵盐, 阳离子瓜尔胶, 明胶, 壳聚糖, 多聚左旋赖氨酸, 水性聚氨酯, 聚丙烯酰胺盐酸盐, 阳离子型聚丙烯酰胺, 聚二甲基二烯丙基氯化铵, 聚乙烯亚胺, sodium metasilicate, silicon, silicate, silicic acid, heavy metal, chromium, soak+, root, solution, inhibit+, stress, resistance, deposition, cationic silicon polymerization inducer, cationic guar, polyquaternium, gelatin, chitosan, poly-L-lysine, aqueous polyurethane, polypropylamine hydrochloride, cationic polyacrylamide, polydimethyldiallylammonium chloride, polyethyleneimine

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 109729963 A (FOSHAN UNIVERSITY) 10 May 2019 (2019-05-10) description, paragraphs 3-17	1-10
A	CN 103789114 A (GUANGDONG INSTITUTE OF ECO-ENVIRONMENTAL AND SOIL) 14 May 2014 (2014-05-14) entire document	1-10
A	CN 108040844 A (FOSHAN UNIVERSITY) 18 May 2018 (2018-05-18) entire document	1-10
A	CN 110679255 A (CHANGZHOU UNIVERSITY) 14 January 2020 (2020-01-14) entire document	1-10
A	CN 115024173 A (ZHEJIANG SCI-TECH UNIVERSITY) 09 September 2022 (2022-09-09) entire document	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “D” document cited by the applicant in the international application
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 October 2023

Date of mailing of the international search report

19 October 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/079938

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2022246880 A1 (INSTITUTE OF SOIL SCIENCE, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES et al.) 01 December 2022 (2022-12-01) entire document	1-10
<hr/>		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/079938

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109729963	A	10 May 2019	None			
CN	103789114	A	14 May 2014	US	2016289129	A1	06 October 2016
				US	9919978	B2	20 March 2018
				WO	2015096533	A1	02 July 2015
				JP	2016511232	A	14 April 2016
				JP	6068679	B2	25 January 2017
CN	108040844	A	18 May 2018	None			
CN	110679255	A	14 January 2020	None			
CN	115024173	A	09 September 2022	None			
WO	2022246880	A1	01 December 2022	None			

A. 主题的分类 A01G31/00(2018.01)i; A01G13/00(2006.01)i; B09C1/08(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) IPC: A01G,B09C 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNTXT, ENTXTC, VEN, BAIDU, 读秀, CNKI, ISI, Web of Science, Elsevier Science: 浙江大学, 庞志豪, 梁永超, 硅, 硅层, 重金属, 铬, 胁迫, 抗性, 拮抗, 抵抗, 阻滞, 阻止, 根, 浸泡, 聚合, 沉积, 缓解, 阳离子硅聚合诱导剂, 聚季铵盐, 阳离子瓜尔胶, 明胶, 壳聚糖, 多聚左旋赖氨酸, 水性聚氨酯, 聚丙烯胺盐酸盐, 阳离子型聚丙烯酰胺, 聚二甲基二烯丙基氯化铵, 聚乙烯亚胺, sodium metasilicate, silicon, silicate, silicic acid, heavy metal, chromium, soak+, root, solution, inhibit+, stress, resistance, deposition, cationic silicon polymerization inducer, cationic guar, polyquaternium, gelatin, chitosan, poly-L-lysine, aqueous polyurethane, polypropylamine hydrochloride, cationic polyacrylamide, polydimethyldiallylammonium chloride, polyethyleneimine		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 109729963 A (佛山科学技术学院) 2019年5月10日 (2019 - 05 - 10) 说明书第3-17段	1-10
A	CN 103789114 A (广东省生态环境与土壤研究所) 2014年5月14日 (2014 - 05 - 14) 全文	1-10
A	CN 108040844 A (佛山科学技术学院) 2018年5月18日 (2018 - 05 - 18) 全文	1-10
A	CN 110679255 A (常州大学) 2020年1月14日 (2020 - 01 - 14) 全文	1-10
A	CN 115024173 A (浙江理工大学) 2022年9月9日 (2022 - 09 - 09) 全文	1-10
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
<p>★ 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“D” 申请人在国际申请中引证的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p> <p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&” 同族专利的文件</p>		
国际检索实际完成的日期 2023年10月11日	国际检索报告邮寄日期 2023年10月19日	
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	授权官员 梁林琳 电话号码 (+86) 010-53960988	

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	WO 2022246880 A1 (INST. SOIL SCIENCE C.A.S.等) 2022年12月1日 (2022 - 12 - 01) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/079938

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109729963	A	2019年5月10日	无	
CN	103789114	A	2014年5月14日	US	2016289129 A1 2016年10月6日
				US	9919978 B2 2018年3月20日
				WO	2015096533 A1 2015年7月2日
				JP	2016511232 A 2016年4月14日
				JP	6068679 B2 2017年1月25日
CN	108040844	A	2018年5月18日	无	
CN	110679255	A	2020年1月14日	无	
CN	115024173	A	2022年9月9日	无	
WO	2022246880	A1	2022年12月1日	无	