

离子交换树脂作为花卉矿质营养载体的研究

韦三立 韩碧文

(中国农业大学生物学院,北京 100094)

摘要: 离子交换树脂具有稳定的结构、固定的组成及很高的阴阳离子交换量。离子交换树脂具有良好的气、固、液三相,因此具有持水佳、载肥高、透气好等优点。当离子交换树脂中的矿质元素被植物大量吸收后,可以对其进行再生处理从而保证它能够反复使用。离子交换树脂是一个内存很大的化学库,它所吸附的营养元素不会被水淋洗而有所减少,植物在持有高水平矿质营养的离子交换树脂中亦不会受到反渗透伤害。此点经吸附有 $5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 钾的离子交换树脂对大丽花(*Dahlia pinnata* Cav.)的栽培及吸附有 $5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 磷的离子交换树脂对蟹爪(*Zygocactus truncatus* Schum)的栽培中得到证实。

关键词: 花卉; 蟹爪; 大丽花; 磷; 钾; 离子交换树脂

中图分类号: S682; TQ425

离子交换树脂又称合成树脂离子交换剂,是本世纪五十年代末出现的以二乙苯做交联的聚苯乙烯为骨架的高分子共聚物。它是由固体的树脂本体和交换基团所组成,而交换基团又是由本体固定联结部分与游离交换离子部分所组成。离子交换反应就是这种可游离交换离子和水中同性离子间的交换过程。它与溶液中的化学反应基本相似,亦为可逆反应,所不同的是前者在非均相介质中进行,而后者则是在均相介质中进行。

土壤的阳离子交换量是土壤保肥力的重要指标。在进行耕作时,往土地中多施腐殖质能够增加土壤肥力,这是由于腐殖质具有较高的阳离子交换量所致,与一些土壤相比较,腐殖质 $2\ \text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土的阳离子交换量是相当高的^[5]。然而,与离子交换树脂相比,腐殖质的阳离子交换量却显得很低,最重要的是其并不具备离子交换树脂所具有的良好物理性能及固定化学结构^[4]。此外,阴、阳离子交换树脂还可以分别交换阴离子和阳离子。由于离子交换树脂的优良性能,它的高交换量及可再生性使其有条件成为一种营养元素的载体。离子交换树脂主要应用于工业,例如纯水制造、湿法冶金、医药生产等,应用于农业作为植物营养载体的研究尚未见报道。本试验之目的,就是探讨采用离子交换树脂作为花卉营养载体之可行性,从而为离子交换树脂在农业上的应用开创一条新路。

1 材料与方 法

1.1 离子交换树脂 自北京化工原料商店购入,为聚胺型阴离子交换树脂与磺酸型阳离子交换树脂(图1)。所用的离子交换树脂首先要导入磷、钾元素,当其所吸附的磷、钾元素被所栽培的植物吸收到一定程度后,再分别用与磷酸、氢氧化钾进行再生处理,处理过的离子交换树脂分别载有 $50, 500, 5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的磷、钾元素^[3]。

1.2 试验材料 本试验所用的花卉材料取自北京市月坛公园。供试花卉为大丽花、蟹爪,大

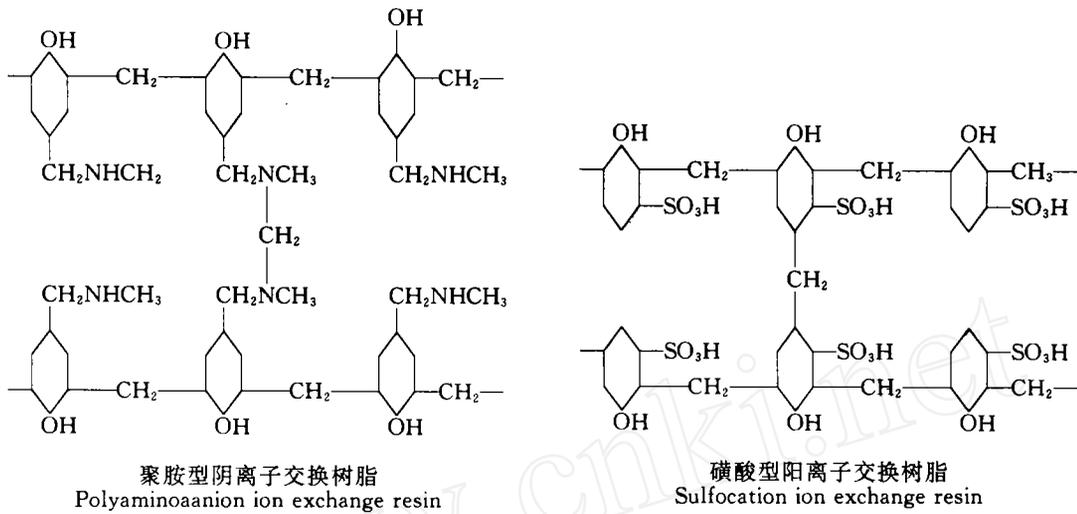


图1 所用离子交换树脂结构式

Fig. 1 Structural formula of ion exchange resin used

丽花所选品种为‘红旗’、‘蓝天’、‘嘉贺’。将它们分别栽种于盛有装载植物必需矿质元素的离子交换树脂中,所用容器为塑料花盆。

1.3 分析方法 离子交换树脂技术指标分析

1.3.1 阴离子交换树脂重量交换容量的测定 称取基准型试样两份,每份1g左右(准确至1mg),用洗瓶将树脂全部移到交换柱内,使水面没过树脂层顶端,除去其中的气泡。然后在分液漏斗中加入70 mL 1 mol·L⁻¹的硫酸钠溶液以1~2 mL·min⁻¹的流量通过树脂层,流出液用250 mL的锥形烧瓶接收,加5%铬酸钾溶液1 mL,在剧烈摇动下用0.1 mol·L⁻¹的硝酸银标准溶液滴定至呈浅砖红色15 s不褪色为终点,记录消耗硝酸银标准溶液的毫升数。

重量交换容量 Q_v ,毫克当量/克氯型干树脂按下式计算:

$$Q_v = \frac{c \cdot V_1}{W_e (1 - X_1)}$$

式中: c ——硝酸银标准溶液的量浓度, mol·L⁻¹;

V_1 ——所用硝酸银标准溶液的量, mL;

W_e ——试样重, g;

X_1 ——含水量, %

两个平行试样的测定结果之差不得大于0.1 mg·g⁻¹氯型干树脂,取两个平行试样的算术平均值为测定结果。

1.3.2 阳离子交换树脂重量交换容量的测定 称取基准型试样两份,每份1g左右(准确至1mg),用洗瓶将树脂全部移到交换柱内,使水面没过树脂层顶端,除去其中的气泡,用80 mL 1 mol·L⁻¹的盐酸溶液以5~7 mL·min⁻¹的流量淋洗树脂层,淋洗至流出液不使甲基橙变色为止。然后在分液漏斗中加入70 mL 1 mol·L⁻¹的氯化钠溶液以3~5 mL·min⁻¹的流量通过树脂层,流出液用250 mL的锥形烧瓶接收,加入酚酞指示剂两滴,在不断摇动下用0.1 mol·L⁻¹的氢氧化钠溶液滴定至呈淡粉色,以15 s不褪色为终点,记录消耗氢氧化钠标

准溶液的毫升数。

重量交换容量 Q_v , 毫克当量/克钠型干树脂按下式计算:

$$Q_v = \frac{c \cdot V_1}{W_c(1 - X_1)}$$

式中: c ——氢氧化钠标准溶液的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

V_1 ——所用氢氧化钠标准溶液的量, mL;

W_c ——试样重, g;

X_1 ——含水量, %

两个平行试样的测定结果之差不得大于 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 钠型干树脂, 取两个平行试样的算术平均值为测定结果。

1.3.3 所吸附的磷、钾元素分析方法 磷酸根采用 EDTA 镁盐滴定法进行测定, 钾离子采用四苯硼钠容量法进行测定。

2 结果与分析

2.1 钾的供应 将大丽花‘红旗’、‘蓝天’、‘嘉贺’3个品种的扦插苗分别栽种于盛有 2 000 g 分别附着着 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $5\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 钾的离子交换树脂中。从生长状况上来看, 吸附有 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 钾的处理中大丽花品种生长效果不好, 其基部叶片易枯萎死亡, 并显示出其他缺钾的症状, 而吸附着 $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $5\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 钾的处理则没有此种现象。秋

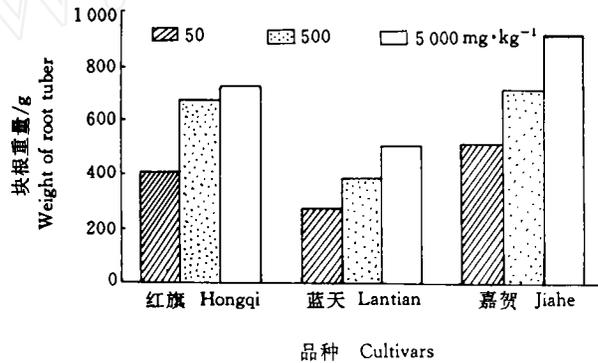


图2 不同水平钾处理对大丽花块根重量的影响

Fig. 2 Effect of different level potassium treatment on weight of dahlia root tuber

季 10 月底, 将大丽花块根小心从土中取出; 发现其块根重量在不同处理中亦有差异, 经差异显著性检验表明, 其差异达到极显著水平。

再对上述 3 种不同处理所获大丽花块根进行贮藏, 先将块根小心从花盆中磕出, 在操作时避免块根折断。把它们分别埋于微潮的细砂中, 放到没有日光直射, 温度为 $5 \sim 10 \text{ C}$ 的环境里贮藏。当贮藏了 4 个月时检查块根存活率, 发现吸附着不同水平钾之离子交换树脂中所栽培的大丽花块死亡率差异明显, 以吸附有 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 钾的处理的块根死亡率最高, 而以吸附有 $5\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 钾的处理的块根死亡率最低。钾对于象大丽花这样的球根花卉生长发育来说十分重要, 根据试验结果, 可以看出基质中的钾丰欠与否决定着大丽花块根的死亡率(图 3)。大丽花在吸附有 $5\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 钾的离子交换树脂中与其他两组处理相比生长势最强, 并没有那种通常因基质中肥分过高时植物所出现的生理障碍而影响其正常的生长发育。

2.2 磷的供应 将用的嫁接法繁殖的一年生蟹爪分别栽种于盛有 2 000 g, 分别附着着 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $5\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 磷的离子交换树脂中。在此 3 组处理中, 蟹爪的开

花情况差异很大(图4)。栽种在吸附有 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 磷的离子交换树脂中的蟹爪现蕾晚且花蕾数量少,而栽种在吸附有 $5000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 磷的离子交换树脂中的蟹爪现蕾早且花蕾数量多,花蕾生长速度快,开花时间也相应提前。

这3组处理的蟹爪落蕾率也有明显不同(表2)。值得注意的是,在含有如此高水平磷的离子交换树脂中之蟹爪,并没有出现组织因反渗透所造成的伤害,植株看起来生长正常,花朵颜色鲜艳。这说明蟹爪能够在含有高水平磷的离子交换树脂中正常生长发育。

试验表明,蟹爪的落蕾率也与其所使用离子交换树脂中的磷含量有着密切联系,在3组处理中,在含磷量较低的离子交换树脂中栽种的蟹爪花蕾严重脱落,而在含磷量较高的树脂中栽种的蟹爪落蕾现象明显减轻。

从对3组处理的蟹爪肉质茎及盛开花朵的磷元素分析结果来看(表3),栽种在吸附有 $5000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 磷的离子交换树脂中的蟹爪肉质茎和花朵中的磷含量高于栽种在吸附有 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 磷的

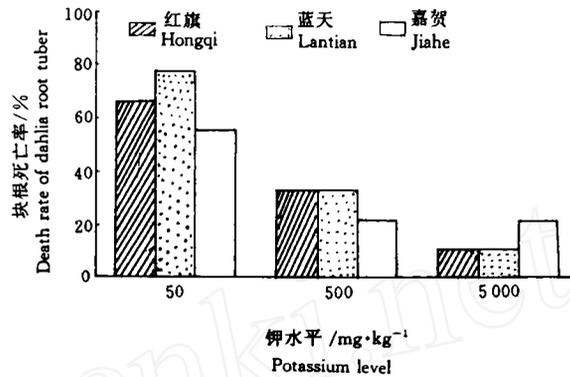


图3 不同水平钾处理对大丽花块根死亡率的影响
Fig. 3 Effect of different level potassium treatment on death rate of dahlia root tuber

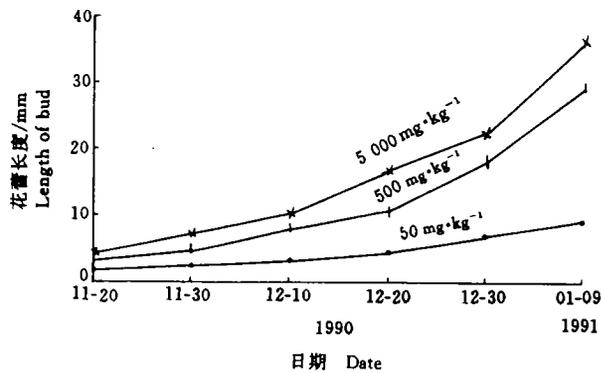


图4 不同水平磷处理对蟹爪花蕾生长的影响
Fig. 4 Effect of different phosphorus level treatment on growth of crab cactus flower bud.

表2 不同水平磷处理对蟹爪开花数目的影响

Table 2 Effect of different level phosphorus treatment on bloom number of crab cactus

| 离子交换树脂中的磷水平/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Phosphorus level in ion exchange resin | 蟹爪现蕾日期 Flower bud appeared date of crab cactus | 蟹爪花蕾数目 Bud numbers of crab cactus |
|---|---|--------------------------------------|
| 50 | 12-08 | $24.2^c \pm 1.093$ |
| 500 | 11-20 | $41.3^b \pm 1.323$ |
| 5000 | 11-14 | $49.3^a \pm 1.581$ |

注:每个处理3株,3次重复。Each treatment with 3 plants, replicated 3 times.

表3 不同水平磷处理对蟹爪器官磷含量的影响

Table 3 Effect of different level phosphorus treatment on phosphorus content in crab cactus organs

| 离子交换树脂中的磷水平/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Phosphorus level in ion exchange resin | 器官 Organs | 器官中的磷含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Phosphorus content in organs |
|---|---------------------------|---|
| 50 | 肉质茎 Succulent stem | 1 578 |
| | 盛开花朵 Full blooming flower | 1 889 |
| 500 | 肉质茎 Succulent stem | 2 417 |
| | 盛开花朵 Full blooming flower | 2 546 |
| 5 000 | 肉质茎 Succulent stem | 2 519 |
| | 盛开花朵 Full blooming flower | 2 670 |

注:肉质茎取自植株顶端。Succulent stem was taken from shoot apex.

处理,从而减轻了蟹爪落蕾的现象。否则在开花时,植株整体磷水平不高,蟹爪就会通过落蕾来保证一部分花蕾正常开放以满足繁衍种群的需要。

3 讨论

土壤除了锚定植物之外,兼有植物营养源的作用。它的离子交换性能,保证了土壤本身的持肥力及缓冲性。由于离子交换当量较低,土壤很难象离子交换树脂那样可以在较长时间内给栽培于其中的植物供应所需营养元素。从此点而言,离子交换树脂就相当于一种人造土壤,它不仅能很好地固定植物,亦能成为所栽培植物的矿质营养载体。不能把离子交换树脂视为一种肥料,因为离子交换树脂的重要特征是能够通过再生处理重新获得原有肥力,而肥料被植物吸收的过程是不可逆的。因此,可以把离子交换树脂看做是一种土壤替代物,从本质上说,给植物施肥很大程度上是在为土壤中的离子交换物质进行再生处理。

自从矿质学说建立以来,人们对于植物生长发育与营养元素关系的认识有了长足的发展。研究者凭借无土栽培技术与示踪元素的应用,可以更深入地研究植物对矿质元素的吸收、运输和利用。虽然如此,以往的无土栽培技术,由于所用基质缺少那种能够根据植物的需要,持续供应矿质营养的能力,加之无法兼备气、固、液三相。因此,很难反映出栽种于其间的植物吸收矿质营养的全貌。相比之下,离子交换树脂则更接近土壤,同时又具备着土壤所不具备的许多优点,例如,结构稳定、组成固定、其中所吸附的养分易于进行分析等,从而大大简化了经典的土壤研究与分析方法^[3,4],这些都为离子交换树脂的实验室应用奠定了良好的基础。

植物生理学已经为以往的植物生产业做出了巨大贡献,即将到来的 21 世纪将是植物生产业高度发展的时代。那时蔬菜、水果,特别是花卉的生产,将向工厂化生产的方面发展。在植物工厂中,人们将采用无土栽培技术来代替有土耕作技术,离子交换树脂的应用,不仅丰富了无土栽培的内容,更为将来的植物工厂运转提供了良好的物质基础。

目前,人类已经进入了征服太空的时代,载人宇航器的出现也为生命科学的研究提出了新的课题。例如,植物在失重状态下是怎样生长繁殖的,失重对植物的遗传性有何影响等。为了研究这些问题,用经典的水培技术栽培植物,营养液弥散于空间的问题难以克服,用土培技术栽培植物会因增加宇航器的绝对重量而使试验难于进行。离子交换树脂就能克服上述缺陷,在宇宙生物学的研究中将起着重要的作用。美国已建立了一个密闭的试验生态系统,以解决在外层空间粮食、蔬菜等的生产,并研究人与植物、动物在宇宙间的物质交换,能量利用等问题^[1]。从材料性能上看,离子交换树脂无疑在宇宙生物学的研究中有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- 1 金善宝. 现代农艺师手册. 北京: 北京出版社, 1989
- 2 马太和. 无土栽培. 北京: 北京出版社, 1980
- 3 韦三立. 离子交换基质在园艺作物上的应用及机理研究. [博士学位论文]. 北京农业大学, 1991
- 4 Kunin R, Myers R J. Ion exchange resins. Wiley New York. 1980
- 5 Lyon T L, Buckman H O, Brady N C. The nature and properties of soils. Macmillan New York, 1952

Studies on Ion Exchange Resin as Mineral Nutrition Carrier of Flowers

Wei Sanli Han Biwen

(College of Biology Sciences, CAU, Beijing 100094)

Abstract: Ion exchange resin has the stable structure, fixed composition and high anion and cation exchange capacity. It has good gas, solid and liquid phases, and has the advantages of good water retention ability, high fertilizer carrier and strong air exchange power ability, etc. When the mineral elements in the ion exchange resin are greatly absorbed by the plants, it can be regenerated for repeated application. Ion exchange resin is a chemical store with large storage capacity. Its adsorbed nutrient elements are not reduced by water leaching. The plants that are planted in the ion exchange resin with high level of mineral nutrients can not be harmed by the reversion osmosis. This has been demonstrated by the performance of cultivation of dahlia (*Dahlia pinnata* Cav.) and crab cactus (*Zygocactus truncatus* Schum) in the ion exchange resin adsorbing $5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ potassium and $5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ phosphorus, respectively.

Key words: flowers; crab cactus; dahlia; phosphorus; potassium; ion exchange resin