

氮素形态对茶树根系释放质子的影响*

万青^{1,2} 徐仁扣^{1†} 黎星辉²

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 南京农业大学茶叶科学研究所, 南京 210095)

摘要 为探讨茶树根系酸化土壤的机制, 利用水培实验和自动电位滴定方法研究了恒定 pH 条件下铵态氮、硝态氮及其混合液对茶树根系释放质子的影响。结果表明, 在氮供应量相同情况下, 纯铵态氮处理茶树根系释放质子的量最多, 其次为铵/硝比为 1:1 处理, 在纯硝态氮处理中, 茶树根系释放羟基。随着铵初始浓度的增加, 茶树根系释放质子数量增加, 且茶树根系的质子释放量与其对铵态氮的吸收量呈显著正相关。在 pH4.5 至 5.5 范围内, 茶树根系在初始 pH5.0 时质子释放量最大, 其次是初始 pH4.5 的处理, 在 pH5.5 时茶树根系的质子释放量最少。用硝酸铵培养验证了茶树的喜铵特性, 发现随着培养时间的延长, 茶树对铵态氮和硝态氮的吸收量均增加, 且质子释放量也有相同趋势, 但在整个培养期内茶树对铵态氮的吸收量均高于对硝态氮的吸收量。因此, 茶树对铵态氮的偏好吸收导致其根系释放质子, 从而引起根际土壤酸化。

关键词 茶树; 铵态氮; 硝态氮; 质子释放; 酸化

中图分类号 S153 **文献标识码** A

氮素是影响植物生长的重要元素之一, 并且硝态氮和铵态氮是植物吸收利用的主要无机氮形态。研究表明植物在 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 混合状态下生长较好, 但不同植物对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 或者 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 仍表现出一定的选择性吸收。如小麦^[1]和玉米^[2]等偏好 $\text{NO}_3^- - \text{N}$, 而水稻^[3]、番茄^[4]则偏好吸收 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 。茶树为叶用植物, 氮素营养对茶树生长和产量尤为重要, 且叶片中的氮含量与茶叶品质密切相关^[5]。研究表明, 茶树对 NH_4^+ 吸收量大大高于 NO_3^- , 茶树在 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 源下生长良好^[6-7]。对于多数植物, 吸收铵态氮后根系会分泌 H^+ , 使生长介质 pH 下降; 吸收硝态氮后会分泌 OH^- , 使生长介质 pH 上升^[8-10]。Taylor 和 Bloom^[11]用离子选择性微电极测定了沿玉米主根不同距离 NH_4^+ 、 NO_3^- 的浓度和 H^+ 释放量, 结果表明当单独提供铵态氮时, 根系质子释放量显著增加; 相反, 当单独提供硝态氮时, 质子释放量则减少。Garnett 等^[12]测定了茶树根系对铵态氮、硝态氮的吸收及其与质子释放的关系, 发现茶树根系

对铵态氮的吸收与质子释放量之间存在显著相关性, 而与硝态氮不相关。Tang 等^[13]研究发现尿素会诱导大豆根系释放较多的质子, 而硝态氮则会引起羟基释放。国内外学者对茶树氮素营养的研究主要集中于茶树在不同生长期和不同条件下对氮素的吸收利用以及氮素在植物体内的分布、氮肥对茶叶品质和产量的影响等方面。阮建云等^[14]研究发现: 不同品种茶树在氮素吸收效率和运输能力方面存在显著差异, 并认为茶树根系吸氮能力的差异是茶树品种间氮素利用效率存在差异的重要原因; 杨耀松^[15]认为不同形态氮素对茶树的生长、发育以及品质和产量均产生显著影响, 铵态氮肥有利于提高茶叶的产量和叶绿素、氨基酸、咖啡碱的含量。然而, 对于茶树利用不同形态氮素导致其根系质子释放及其对土壤酸化的影响则少有研究报道。本文研究了恒定 pH 条件下铵态氮、硝态氮及其混合溶液中茶树根系质子的释放特征并与非恒定 pH 条件下的结果进行比较, 为探讨茶树种植加速土壤酸化的机制提供依据。

* 国家自然科学基金项目(30872009, 40971135)资助

† 通讯作者: E-mail: rkxu@issas.ac.cn

作者简介: 万青(1984—), 女, 博士研究生, 主要从事茶园土壤酸化与调控研究。E-mail: oneqq_17@163.com

收稿日期: 2012-08-15; 收到修改稿日期: 2012-11-30

1 材料与方法

1.1 供试材料

茶苗采自南京中山陵茶厂,为两年生扦插苗,品种为龙井长叶。

1.2 培养方法

茶苗取回后先用自来水将其根部、茎秆及叶片洗涤干净,再用去离子水清洗根部三次。挑选长势均一的苗,每一株为一盆,先放入装有 1/3 全营养液的 1 L 塑料桶中培养,根部避光,3 天后移入 1/2 全营养液中培养 3 天,再将茶苗移入 3/4 全营养液中培养 3 天,最后将茶苗放入缺氮的营养液中培养,定期补充去离子水,每周更换一次营养液。营养液基本组成为: N 1 mmol L⁻¹, P 0.05 mmol L⁻¹, Mg 0.21 mmol L⁻¹, Ca 0.395 mmol L⁻¹, K 0.35 mmol L⁻¹, Al 0.25 mmol L⁻¹, B 3.33 μmol L⁻¹, Mn 0.5 μmol L⁻¹, Zn 0.51 μmol L⁻¹, Cu 0.13 μmol L⁻¹, Mo 0.17 μmol L⁻¹, Fe 2.10 μmol L⁻¹。当茶苗根部长出大量的新的小白根时,移入如下所述不同处理的溶液中培养进行水培试验。试验前,先将茶苗移入 2 mmol L⁻¹ 的 CaSO₄ 溶液中培养 24 h,然后用去离子水将根部冲洗干净并用吸水纸将其拭干,再放到处理营养液中。

1.3 水培试验设计

硝酸铵培养试验:配制浓度为 1 mmol L⁻¹ 的 NH₄NO₃ 溶液,用 pH 电极测得该溶液的初始 pH 为 5.8。将茶苗置于该溶液中培养,在培养后的第 12、24、48 小时分别采样测定茶树根系的质子释放量以及溶液中铵态氮和硝态氮的剩余量。质子释放量用酸碱滴定法测定,溶液中铵态氮和硝态氮分别用铵根和硝酸根离子选择性电极测定。

氮素形态影响试验:试验设置 3 种铵/硝比,分别为单一铵态氮(NH₄⁺ - N)、铵/硝比为 1:1 和单一硝态氮(NO₃⁻ - N),总氮量均为 3 mmol L⁻¹,每处理设 3 次重复。为了排除其他离子的干扰,研究不同 NH₄⁺/NO₃⁻ 比对茶树根系质子释放的影响时,对营养液作了调整:NO₃⁻ - N 采用 NaNO₃,NH₄⁺ - N 采用 (NH₄)₂SO₄,用 NaOH 或 H₂SO₄ 调节营养液初始 pH 5.0。不向培养液中添加其他离子。试验在恒 pH 和非恒 pH 条件下持续进行 10 h,结束后测定营养液中剩余 NO₃⁻ - N 和 NH₄⁺ - N 的含量。

培养液初始 pH 影响试验:试验设置 3 个初始 pH,即 5.5、5.0 和 4.5,铵/硝比为 1:1,总氮含量为 3 mmol L⁻¹,每处理设 3 次重复。试验在恒 pH 和非

恒 pH 条件下持续进行 10 h,试验结束后测定营养液中剩余 NO₃⁻ - N 和 NH₄⁺ - N 的含量。

氮素浓度影响试验:先将茶苗移置于盛有 1 L 浓度为 2 mmol L⁻¹ 的 CaSO₄ 溶液的容器内饥饿培养 24 h,然后移入 NH₄⁺ 溶液(以 (NH₄)₂SO₄ 为氮源),浓度分别为 0.1、0.2、0.5、1.0、2.0 和 3.0 mmol L⁻¹,初始 pH 为 5.0,每处理设 3 次重复,在室温下培养 24 h,培养结束后保留营养液待测。再将茶苗放入 CaSO₄ 溶液中饥饿培养 48 h,而后再移入 NO₃⁻ 溶液(以 NaNO₃ 为氮源),浓度分别为 0.1、0.2、0.5、1.0、2.0 和 3.0 mmol L⁻¹,初始 pH 为 5.0,室温下培养 24 h。测定保留营养液的 pH、质子或羟基释放量以及铵态氮和硝态氮含量。

1.4 测定方法

非恒 pH 条件下的羟基或质子释放量用自动电位滴定仪测定,取 100 ml 溶液用 0.01 mmol L⁻¹ 的 NaOH 将溶液 pH 滴定到培养实验开始时的初始值,消耗的 OH⁻ 数量即质子释放量。恒 pH 条件下质子释放量采用恒 pH 自动电位滴定法测定,将 pH 设置为目标值,在培养试验过程中通过自动电位滴定仪向培养液中添加 0.01 mmol L⁻¹ NaOH 或 H₂SO₄ 中和茶树释放的质子或羟基,使培养液 pH 保持恒定^[13]。试验中消耗的 NaOH 量为质子释放量。溶液中 NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 用流动分析仪测定,根据培养试验前后溶液中两种形态无机氮的差值计算茶树根系对 NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 的吸收量。

1.5 统计分析

统计软件 SPSS17.0 用于显著性差异分析。

2 结果与讨论

2.1 茶树喜铵特性的实验验证

为验证茶树的喜铵特性,在纯硝酸铵溶液中比较了茶树对铵态氮和硝态氮的吸收量,结果如表 1 所示。表中结果表明,培养 12 h 茶树对硝态氮没有吸收,但对铵态氮已有明显的吸收量。随着培养时间的延长,茶树对铵态氮和硝态氮的吸收量也随之增加,但培养 24 h 和 48 h 时,茶树对铵态氮的吸收量均显著高于对硝态氮的吸收量,24 h 时茶树对铵态氮的吸收量为其对硝态氮吸收量的 1.6 倍,48 h 时茶树对铵态氮的吸收量为其对硝态氮吸收量的 3.2 倍。由于溶液中仅含 NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 两种离子,且浓度比为 1:1,因此本文的试验结果印证了茶树对铵态氮有偏好吸收这一特性。

表 1 茶树在硝酸铵溶液中对铵态氮和硝态氮的吸收量及根系质子释放量

Table 1 Uptake of ammonium and nitrate by tea plants cultivated in ammonium nitrate solution

培养时间 Incubation time (h)	质子释放量 Proton release (mmol L ⁻¹)	氮素吸收量 Uptake of N (mmol L ⁻¹)	
		铵态氮 NH ₄ ⁺ - N	硝态氮 NO ₃ ⁻ - N
12	0.094 ± 0.014b	0.113 ± 0.031b	0.000 ± 0.000b
24	0.222 ± 0.072ab	0.221 ± 0.036b	0.137 ± 0.009a
48	0.321 ± 0.049a	0.497 ± 0.090a	0.154 ± 0.032a

2.2 氮素形态对茶树根系质子释放的影响

利用恒 pH 自动电位滴定装置控制茶树生长过程中介质的 pH 使其保持恒定,研究了恒 pH 条件下茶树根系质子或羟基释放量,结果列于图 1 中。结果表明,在 10 小时的培养期内,在单一铵态氮和铵/硝比 1:1 处理中茶树根系释放质子,且质子释放量随时间延长呈直线增加,单一铵态氮处理质子释放量高于铵/硝比 1:1 处理。在单一硝态氮处理中茶树根系没有释放质子,相反释放一定量的羟基。由于土壤对外源酸有较强的缓冲能力,当外源酸加入时土壤可以通过自身的缓冲能力使土壤 pH 在短期内保持基本恒定。因此,在恒 pH 条件下获得的质子释放量更接近于茶树在自然生长状态下的质子释放量。表 2 比较在恒 pH 和非恒 pH 条件下各处理茶树根系质子或羟基释放量。结果表明,恒 pH 条件下茶树根系释放的质子或羟基数量明显高于非恒 pH 条件下的,并且无论在恒 pH 还是在非恒 pH 条件下,各处理质子释放量均依次为 NH₄⁺ - N > NH₄⁺/NO₃⁻ = 1:1 > NO₃⁻ - N。

植物根系释放质子或羟基主要决定于其对阳离子或阴离子的吸收量,当根系吸收的阳离子数量多于阴离子时,为保持植物体内电荷平衡,根系向介质中释放质子;相反当根系吸收的阴离子数量多于阳离子时,根系向介质中释放羟基。茶树为喜铵植物,当供应铵态氮或铵态氮与硝态氮的混合物时,茶树优先吸收铵态氮,导致其根系对阳离子的吸收量多于阴离子,这是茶树根系释放质子的主要

原因。表 3 中茶树对铵态氮和硝态氮吸收量的结果证明了这一点,结果表明,无论是在恒 pH 或是非恒 pH 条件下,在铵/硝比为 1:1 的体系中茶树对铵态氮的吸收量高于硝态氮。在单一硝态氮体系中,茶树吸收较多阴离子,导致根系释放羟基。表 3 结果还表明,恒 pH 条件下,茶树对铵态氮的吸收量显著高于非恒 pH 条件下的,这是恒 pH 条件下茶树根系释放的质子量高于非恒 pH 的主要原因。因此,氮素形态对茶树根系释放质子或羟基的相对数量及其对介质 pH 的影响,单一铵态氮处理下释放的质子量最多,相同浓度的铵态氮和硝态氮混合液处理次之,在单一硝态氮处理中,根系则释放羟基,这些结果与乔云发等^[16]、陈永亮^[17]研究其他植物对铵态氮和硝态氮吸收时观察到的结果一致。

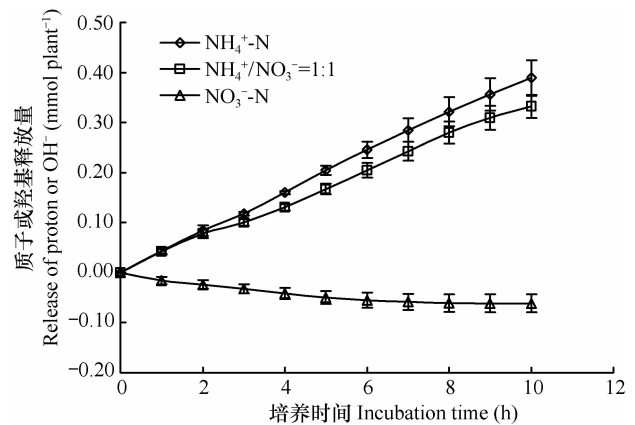


图 1 茶树在恒 pH 5.0 和不同形态无机氮条件下根系质子或羟基释放动态

Fig. 1 Dynamics of proton or hydroxyl release from tea plant roots under constant pH of 5.0 in solutions different in ammonium/nitrate molar ratio

表 2 恒 pH 和非恒 pH 条件下茶树根系质子释放量的比较

Table 2 Proton release from tea plant roots as affected by pH, constant or non-constant (mmol L⁻¹)

处理 Treatment	恒 pH Constant pH	非恒 pH Non-constant pH
单一铵态氮 NH ₄ ⁺ - N	0.389 ± 0.035	0.153 ± 0.026
NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ = 1:1	0.332 ± 0.023	0.117 ± 0.010
单一硝态氮 NO ₃ ⁻ - N	-0.062 ± 0.018	-0.031 ± 0.005

表 3 恒 pH 与非恒 pH 条件下茶树对铵态氮和硝态氮的吸收量

Table 3 Uptake of ammonium and nitrate by tea plants as affected by pH, constant or non-constant (mmol L⁻¹)

处理 Treatment	恒 pH Constant pH		非恒 pH Non-constant pH	
	NH ₄ ⁺ - N	NO ₃ ⁻ - N	NH ₄ ⁺ - N	NO ₃ ⁻ - N
单一铵态氮 NH ₄ ⁺ - N	0.524 ± 0.094a	0.000 ± 0.000c	0.246 ± 0.033a	0.000 ± 0.000c
NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ = 1:1	0.488 ± 0.032a	0.226 ± 0.023b	0.216 ± 0.021a	0.073 ± 0.006b
单一硝态氮 NO ₃ ⁻ - N	0.000 ± 0.000b	0.366 ± 0.015a	0.000 ± 0.000b	0.141 ± 0.028a

根据表 2 和表 3 中的结果可以计算出单一铵态氮体系中茶树对铵态氮的吸收量与根系质子释放量的比值,恒 pH 条件下为 1.35,非恒 pH 条件下为 1.60,进一步说明恒 pH 条件更能促进茶树根系释放质子。计算了单一硝态氮体系中茶树根系对硝态氮的吸收量与羟基释放量的比值,恒 pH 条件下为 5.9,非恒 pH 条件下为 4.56,其数值远高于铵态氮吸收与质子释放量的比值。因此,茶树根系吸收铵态氮与质子释放量之间不是 1:1 的关系,铵态氮的吸收量高于质子释放量,非恒 pH 条件下茶树根系对铵态氮的吸收量与质子释放量之间差值更大。

2.3 铵态氮和硝态氮初始浓度对茶树根系质子或羟基释放量的影响

研究了铵态氮和硝态氮初始浓度对茶树根系质子或羟基释放量及介质 pH 的影响,图 2 结果表明,随着铵初始浓度的增加,茶树根系释放的质子数量也随之增加,培养介质的 pH 的下降幅度增加。特别当铵的初始浓度由 0.1 增加至 0.5 再增加至 3 mmol L⁻¹时,介质 pH 的下降幅度显著增加 ($p < 0.05$)。进一步研究发现,茶树根系释放的质子数量与其对铵态氮的吸收量之间呈显著性直线相关(图 3), R^2 达到 0.943 8。这些结果进一步说明茶树对铵态氮的偏好吸收特性会促使其根系释放更多的质子,是茶树种植导致土壤酸化的一个重要原因。

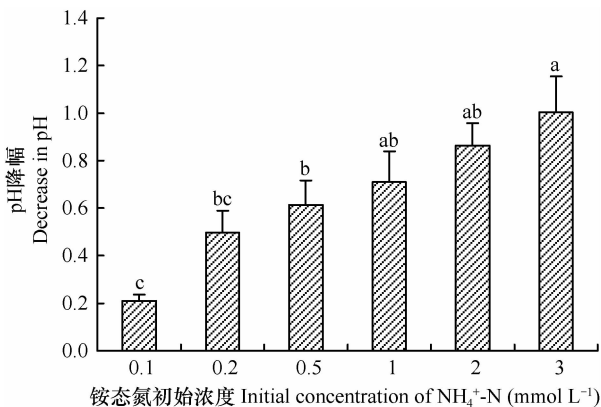


图 2 铵态氮初始浓度对茶树生长介质 pH 下降幅度的影响(培养时间为 24 h)

Fig. 2 Effect of initial concentration of NH₄⁺ of the solution on decrease in its pH after 24h of tea plant cultivation

与茶树在铵态氮溶液中培养实验结果不同,当茶树在硝态氮中培养时,培养介质 pH 有所升高(图 4),说明茶树吸收硝态氮后根系释放羟基。但相关分析显示茶树根系释放的羟基数量与其对硝态氮

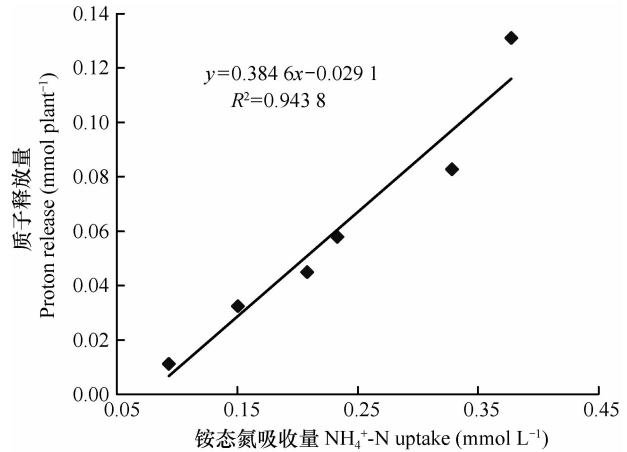


图 3 茶树在不同浓度铵态氮中培养 24 h 后根系质子释放量与铵态氮吸收量之间的相关关系

Fig. 3 Relationship between ammonium uptake and proton release by tea plants cultivated for 24h in solutions different in NH₄⁺ concentration

的吸收量之间没有相关性(数据未列出),这一结果与 Garnett 等^[12]研究桉树根系对铵态氮和硝态氮吸收与质子或羟基释放之间关系时观察到的结果一致。植物在正常的生长和发育过程中,一方面通过根系的呼吸作用释放 CO₂,另一方面在对阴、阳离子的主动吸收和根尖细胞伸长过程中分泌质子和有机酸,从而引起根际 pH 的变化。当植物以 NH₄⁺ 为主要氮源时,由于阳离子的吸收优势,为维持植物体内电荷平衡,根系溢出的 H⁺ 多于 HCO₃⁻ 或 OH⁻,致使根际土壤呈酸性^[18]。

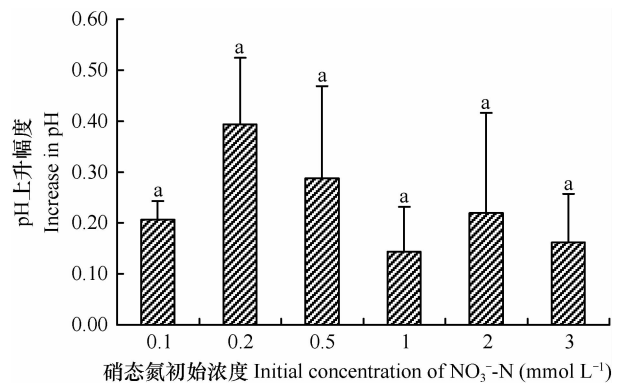


图 4 硝态氮初始浓度对茶树生长介质 pH 升高幅度的影响(培养时间为 24 h)

Fig. 4 Effect of initial nitrate concentration of the solution on increase in its pH after 24 h of tea plant cultivation

2.4 溶液初始 pH 对茶树根系质子释放量的影响

将茶树在铵/硝比为 1:1、pH 分别恒定在 4.5、5.0 和 5.5 的溶液中进行培养,10h 培养过程中茶树根系质子释放量的动态如图 5 所示。结果表明,茶

树在 pH 不同的介质中生长时其根系释放的质子数量均随着培养时间的延长而逐渐增多,但在 pH5.0 介质中茶树根系释放的质子数量最多,其次为 pH5.5 的处理,茶树在 pH4.5 的介质中其根系释放的质子数量最少。同时用铵/硝比为 1:1、初始 pH 分别为 4.5、5.0 和 5.5 的溶液进行不控制 pH 的培养试验,将培养 10 h 后恒 pH 和非恒 pH 条件下茶树根系质子释放量结果列于图 6 中,结果表明,与上文数据一致,茶树在恒 pH 条件下根系释放质子的数量显著高于非恒 pH 条件下的。在非恒 pH 条件下,茶树根系在初始 pH5.0 溶液中释放的质子数量最多,其次为 pH5.5 处理,茶树在 pH4.5 介质中释放的质子数量最小,这一顺序与恒 pH 条件下的结果一致。茶树生长的最佳 pH 条件为 4.5 ~ 5.5^[19],本文结果表明,茶树在这样 pH 范围,其根系释放的质子数量也较多。Ruan 等^[7]研究结果表明,茶树在 pH5.0 条件下氮素的吸收利用率和生物量均达到最大。这也与本研究观察到的质子释放量结果一致。这些结果说明,茶树生长最旺盛时,其对氮素养分的吸收利用达最大,其根系释放的质子数量也最多,对土壤的酸化作用也最强。

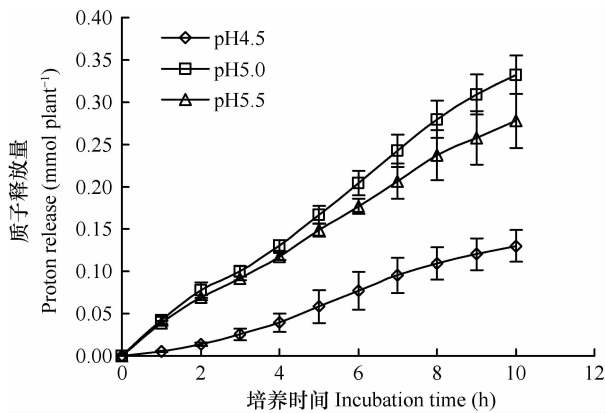


图 5 茶树在铵硝比为 1:1、恒 pH4.5、5.0 和 5.5 条件下培养时根系质子释放动态

Fig. 5 Dynamics of protons release from tea plant roots cultivated in solutions with molar ratio of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ being 1:1 and pH kept constant at 4.5, 5.0 and 5.5, separately

3 结论

本文研究可得到如下结论:茶树为喜铵植物,它对铵态氮的偏好吸收导致其根系向介质中释放质子,茶树根系质子释放量与其对铵态氮的吸收量呈显著直线相关;中等酸度条件(pH5.0)最适合茶

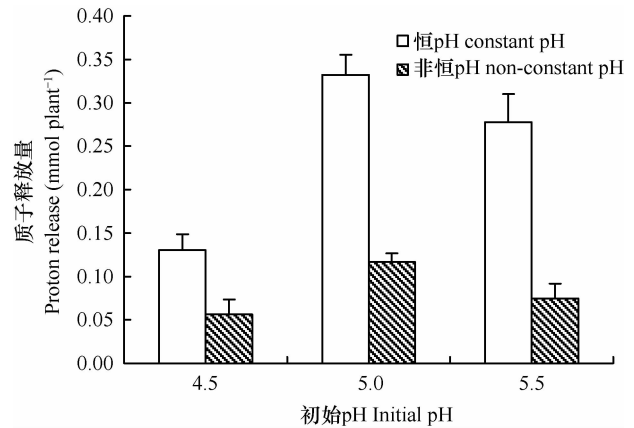


图 6 茶树在不同初始 pH 处理的恒 pH 与非恒 pH 条件下质子释放量的比较

Fig. 6 Protons release from tea plant roots as affected by pH, constant or non-constant and different in initial pH

树生长,该条件下茶树根系释放的质子数量也最多;茶树根系对铵态氮吸收导致大量质子释放是茶树酸化土壤的内部机制之一。

参考文献

- [1] Angeles B M, Cerda A, Lips S H. Kinetics of NO_3^- and NH_4^+ uptake by wheat seedlings: Effect of salinity and nitrogen source. *Journal of Plant Physiology*, 1994, 144: 53—57
- [2] Vale F R, Volk R J, Jackson W A. Simultaneous influx of ammonium and potassium into maize roots: Kinetics and interactions. *Planta*, 1988, 173: 424—431
- [3] Wang M Y, Siddiqi M Y, Ruth T J, et al. Ammonium uptake by rice roots: II. Kinetics of $^{13}\text{NH}_4^+$ influx across the plasmalemma. *Plant Physiology*, 1993, 103: 1259—1267
- [4] Kosola K R, Bloom A J. Methylammonium as a transport analog for ammonium in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Plant Physiology*, 1994, 105: 435—442
- [5] Okano K, Chutani K, Matsuo K. Suitable level of nitrogen fertilizer for tea (*Camellia sinensis* L.) plants in relation to growth, photosynthesis, nitrogen uptake and accumulation of free amino acids. *Japanese Journal of Crop Science*, 1997, 66: 279—287
- [6] Ishigaki K. Comparison between ammonium-nitrogen and nitrate-nitrogen on the effect of tea plant growth. *Japanese Agricultural Research Quarterly*, 1974, 8: 101—105
- [7] Ruan J Y, Jóska G, Rolf H, et al. Effect of nitrogen form and root-zone pH on growth and nitrogen uptake of tea (*Camellia sinensis*) plants. *Annals of Botany*, 2007, 99: 301—310
- [8] 孙亚卿, 邵金旺, 王莹, 等. 氮素形态对燕麦生长和根际 pH 值的影响. *华北农学报*, 2004, 19(3): 59—61. Sun Y Q, Shao J W, Wang Y, et al. Influence of nitrogen forms on oat growth and rhizosphere pH (In Chinese). *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2004, 19(3): 59—61
- [9] Hinsinger P, Plassard C, Tang C, et al. Origins of root-mediated

- pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. *Plant and Soil*, 2003, 248: 43—59
- [10] Bar-Yosef B, Mattson N S, Lieth H J. Effects of $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ urea ratio on cut roses yield, leaf nutrients content and proton efflux by roots in closed hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 2009, 122: 610—619
- [11] Taylor A R, Bloom A J. Ammonium, nitrate, and proton fluxes along the maize root. *Plant, Cell and Environment*, 1998, 21: 1255—1263
- [12] Garnett T P, Shabala S N, Smethurst P J, et al. Simultaneous measurement of ammonium, nitrate and proton fluxes along the length of eucalypt roots. *Plant and Soil*, 2001, 236: 55—62
- [13] Tang C, Drevon J J, Jaillard B, et al. Proton release of two genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by N nutrition and P deficiency. *Plant and Soil*, 2004, 260: 59—68
- [14] 阮建云, 王晓萍, 崔思真, 等. 茶树品种间氮素营养的差异及其机制的研究. *中国茶叶*, 1993, 15(3): 35—37. Ruan J Y, Wang X P, Cui S Z, et al. Study on the difference of nitrogen nutrient and its mechanism in different varieties of tea plant (*Camellia sinensis*) (In Chinese). *China Tea*, 1993, 15(3): 35—37
- [15] 杨耀松. 茶树氮素营养研究. *茶叶通讯*, 1996(1): 16—18. Yang Y S. Study on nitrogen nutrient in tea plant (*Camellia sinensis*) (In Chinese). *Tea Communication*, 1996(1): 16—18
- [16] 乔云发, 苗淑杰, 韩晓增. 氮素形态对大豆根系形态性状及释放 H^+ 的影响. *大豆科学*, 2006(3): 265—269. Qiao Y F, Miao S J, Han X Z. Effects of nitrogen forms on the root morphology and proton extrusion in soybean (In Chinese). *Soybean Science*, 2006(3): 265—269
- [17] 陈永亮. 不同氮源处理对红松苗木根际 pH 及养分有效性的影响. *南京林业大学学报*, 2004, 28(1): 42—46. Chen Y L. The effects of different nitrogen sources on pH and the nutrient availability in the rhizosphere of Korean Pine (In Chinese). *Journal of Nanjing Forestry University*, 2004, 28(1): 42—46
- [18] 吴文彬, 刘芷宇. 不同作物根际土壤的 pH 状况及其与氮肥形态的关系. *土壤*, 1985, 17(3): 150. Wu W B, Liu Z Y. The relationship between rhizosphere pH and nitrogen forms among different crops (In Chinese). *Soils*, 1985, 17(3): 150
- [19] Hamid F S, Ahmad T, Khan B M, et al. Effect of soil pH in rooting and growth of tea cuttings (*Camellia sinensis* L.) at nursery level. *Pakistan Journal of Botany*, 2006, 38: 293—300

EFFECT OF FORMS OF NITROGEN ON PROTON RELEASE FROM TEA PLANT ROOTS UNDER HYDROPONIC CONDITION

Wan Qing^{1,2} Xu Renkou^{1*} Li Xinghui²

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Tea Science Institute of Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract In order to explore mechanisms of tea plant roots acidifying soils, a hydroponic experiment was carried out using the method of automatic potentiometric titration to investigate effects of different forms of nitrogen, i. e. $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and ammonium nitrate, on proton release from tea plant roots in the solution of constant pH. Results show that tea plant roots released protons in the presence of ammonium at a higher rate than they did in the solution containing ammonium and nitrate with mole ratio of $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^- = 1:1$; but they released hydroxyl in the presence of nitrate. The release of proton release was positively related the initial concentration of ammonium in the solution and with the uptake of ammonium by tea plant roots, too. Within the range of pH from 4.5 to 5.5, the maximum proton release occurred in the treatment with initial pH being 5.0, and then in the treatment with initial pH being 4.5, and the least in the treatment with initial pH being 5.5. To culture tea plants with ammonium nitrate solution validated the plant's ammoniophilic feature. It was found that longer duration of incubation in ammonium nitrate solution increased the plant's uptake of both ammonium and nitrate and its release of proton as well. However, at the end of the incubation, the plants were found to have absorbed more ammonium than nitrate. The findings suggest that tea plants preferred to absorb ammonium, which leads to release of more protons from their roots, thus causing acidification of the soil in tea gardens.

Key words Tea plant; Ammonium; Nitrate; Proton release; Acidification

(责任编辑:陈德明)