

不同形态 N 素对水曲柳幼苗生长的影响*

张彦东** (中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

范志强 王庆成 王政权 (东北林业大学森林资源与环境学院, 哈尔滨 150040)

【摘要】 在温室内用砂培的方法研究了 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N 及其不同配比对水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*) 幼苗生长的影响。结果表明, 水曲柳幼苗在营养液 NO_3^- -N \square NH_4^+ -N 为 75 \square 25 时生长最好, 营养液中 NH_4^+ -N 比例继续增加则生长下降。过量的 NH_4^+ -N 可抑制水曲柳幼苗根系生长, 降低幼苗的地下/地上比。营养液中 NH_4^+ -N 比例增加, 水曲柳幼苗的净光合速率下降, 体内 P 浓度增高, 而 Zn 和 Fe 浓度下降。N 素形态明显影响基质的 pH 值, NO_3^- -N 比例增加使基质 pH 值升高, NH_4^+ -N 比例增加则基质 pH 值下降。完全供给 NO_3^- -N 时基质 pH 值升至 7.22, 而完全供给 NH_4^+ -N 时基质的 pH 值降至 4.20。

关键词 水曲柳 硝态 N 铵态 N pH 值

Effect of different nitrogen forms on growth of *Fraxinus mandshurica* seedlings. ZHANG Yandong (Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223), FAN Zhiqiang, WANG Qingcheng, WANG Zhenquan (School of Forest Resource and Environment, Northeast Forestry University, Harbin 150040). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2000, 11(5): 665~ 667.

The effect of NO_3^- -N and NH_4^+ -N and their different supply ratios on the growth of *Fraxinus mandshurica* seedlings was studied by sand culture in greenhouse. The highest seedling growth was obtained at a NH_3^- -N/ NH_4^+ -N ratio of 75/25 in nutrient solution. The growth of seedlings declined with the increasing ratio of NH_4^+ -N to NO_3^- -N. Excessive NH_4^+ -N inhibited root growth, and the root/shoot ratio of the seedlings significantly decreased as the NH_4^+ -N/ NO_3^- -N ratio was over 50%. Increasing NH_4^+ -N in nutrient solution led to the decrease of net photosynthetic rate, the increase of phosphorus content in plant tissues, and the decrease of Zn and Fe contents. The pH value of cultural medium was affected markedly by nitrogen form, which was increased with increasing NO_3^- -N and decreased with increasing NH_4^+ -N in nutrient solution. The pH value was up to 7.22 in the medium contained NO_3^- -N alone, while decreased to 4.20 only with NH_4^+ -N.

Key words *Fraxinus mandshurica*, Nitrate nitrogen, Ammonium nitrogen, pH value.

1 引 言

植物在生长过程中可以利用的无机 N 素形态主要是 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N, 但因 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 形态的差异, 二者对植物生长发育的影响是不同的。一些试验表明, 植物在长期进化过程中形成了对不同形态 N 素的利用特性。有些种类表现出喜硝性, 另一些种类表现出喜铵性, 而多数种类在混合 N 源中比单一 N 源生长好^[5,8]。近些年来, 关于农作物对 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 的需求特性以及生理反应已进行了大量研究^[2,7,8,10], 但在林业上关于树木对 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 需求特性的研究还较少^[4,6]。一些工作者发现森林树种中, 源于酸性土壤环境的通常喜铵, 而那些来自于 pH 值和土壤肥力较高的树种则有喜硝的倾向^[9]。水曲柳是我国东北地区重要的珍贵用材树种, 由于长期的过度采伐其资源已近濒危。关于水曲柳对土壤养分和水分的适宜性已有人进行过研究, 但其对不同形态 N 素的要求特性到目前为止却很少有人探讨。本研究

目的是弄清 N 素形态对水曲柳生长的影响规律, 为水曲柳育苗和人工林培育提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 供试材料及试验设计

试验于 1999 年 5 月至 9 月在温室内进行。供试苗木为同一批 1 年生水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*) 幼苗, 试验前将苗木根系洗净。苗木栽培基质为石英砂, 先将石英砂洗去泥土, 经 0.5% 盐酸浸泡 24h, 用自来水洗至中性, 然后将石英砂装入容积为 0.13m³ 的塑料盆中, 每盆装砂 13kg。将上述经过处理的苗木栽植在盆中, 每盆植苗 4 株。试验共设 5 个处理, 每个处理 6 盆。5 个处理的营养液组成见表 1。各处理营养液中各种营养元素浓度完全相同, 只是 N 素形态不同。各处理的 NO_3^- -N \square NH_4^+ -N 分别为 100 \square 0、75 \square 25、50 \square 50、25 \square 75 和 0 \square 100。营养液用蒸馏水配制, pH 值调到 6.0。试验于 5 月 25 日开始, 每天浇一次营养液, 每次每盆 100ml, 另外每天浇自来水 2 次 (pH

* 国家“九五”科技攻关项目(96011-02-01)。

** 通讯联系人。

2000-03-06 收稿, 2000-05-11 接受。

表1 各处理营养液组成

Table 1 Composition of treated nutrient solution

| 混合液 Compounds (mmol·L ⁻¹) | NO ₃ ⁻ N/NH ₄ ⁺ -N(%) | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|
| | 100□0 | 75□25 | 50□50 | 50□50 | 0□100 |
| Ca(NO ₃) ₂ | 5 | 3 | 1 | 1 | - |
| KNO ₃ | 6 | 6 | 6 | 2 | - |
| NH ₄ NO ₃ | - | 2 | 4 | 6 | 8 |
| KCl | - | - | - | 4 | 6 |
| CaCl ₂ | - | 2 | 4 | 4 | 5 |
| MgCl ₂ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| KH ₂ PO ₄ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

值约 6.5), 经 100d 处理后收获.

2.2 研究方法

栽植前测全株鲜重和含水率计算苗木干重. 盆栽结束后, 每盆取样 2 株, 每个处理取样 12 株, 对叶、茎和根(分 4 级: $\geq 10\text{mm}$ 、10~5mm、5~2mm 和 $< 2\text{mm}$) 测量干重, 并测量地径和当年高生长. 试验结束时取叶、茎和根, 每盆 4 株制成 1 个混合样, 每处理 6 个混合样, 测定 N、P、K、Fe、Zn 和 Mn 浓度. 大量元素样品以 H₂SO₄+H₂O₂ 消煮, 奈氏比色法测 N, 钼锑抗比色法测 P, 原子吸收测 K. 微量元素样品以干灰法灰化, 原子吸收测

表2 不同形态氮素处理水曲柳幼苗的生长

Table 2 Growth of *Fraxinus mandshurica* seedlings under different supply forms of nitrogen

| | NO ₃ ⁻ -N□NH ₄ ⁺ -N | | | | | |
|--|---|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| | 100□0 | 75□25 | 50□50 | 25□75 | 0□100 | |
| 地上干重 Aboveground DW | 32.0a | 30.7a | 28.0a | 28.6a | 29.8a | |
| 各级根干重 | < 2mm | 8.7(42.0)ab | 9.8(43.8)a | 9.0(40.2)a | 7.1(42.5)b | 7.0(40.2)b |
| DW of root at different diameter classes | 2~5mm | 3.0(14.5)a | 4.0(17.8)a | 4.3(19.2)a | 3.8(22.7)a | 4.5(25.9)a |
| | 5~10mm | 2.4(11.6)a | 3.2(14.3)a | 2.4(10.7)a | 1.1(6.6)b | 1.1(6.3)b |
| | $\geq 10\text{mm}$ | 6.6(31.9)a | 5.4(24.1)ab | 6.7(29.9)a | 4.7(28.1)b | 4.8(27.6)b |
| 地下干重 Underground DW | 20.7a | 22.4a | 22.4a | 16.7b | 17.4b | |
| 总干重 Total DW | 51.7a | 52.3a | 49.6ab | 45.3b | 47.2b | |
| 干重增加量 DW increment | 44.7a | 46.5a | 44.2a | 39.1b | 41.4b | |
| 当年高生长 Current annual increment(cm) | 27.3a | 28.6a | 27.6a | 27.2a | 26.8a | |
| 地径 Collar diameter(cm) | 0.89a | 0.94a | 0.91a | 0.90a | 0.81b | |
| 地下/地上 Root/Shoot | 0.67ab | 0.76a | 0.83a | 0.58b | 0.58b | |

括号内数据为各级根重占总根重的百分比; 干重单位: g·株⁻¹. The number in brackets is the percentage to total root weight; DW unit: g per plant.

NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 的比值不同导致地下部/地上部干重比的变化, 两者各占 50% 时的地下部/地上部达 0.83 的最大值, NH₄⁺-N 作主要 N 源时则降至 0.58, 说明 NH₄⁺-N 对水曲柳根系的生长具有抑制作用. 起苗时发现, 完全供应 NH₄⁺-N 的水曲柳根系已变成褐色. 苗木各等级根干重普遍是在 NO₃⁻-N □ NH₄⁺-N 为 75 □ 25 和 50 □ 50 时出现最大值, 而后随着 NH₄⁺-N 比例增加开始下降. 但在 5~2mm 等级则并不随着 NH₄⁺-N 比例增加而下降, 其原因还无法解释.

3.2 N 素形态对水曲柳幼苗养分吸收及光合速率的影响

由于 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 带有不同的电荷, 因此它们对其它养分的吸收产生不同的影响. 由表 3 可看出, 随着 NH₄⁺-N 比例的增加水曲柳幼苗体内的 P 浓度增高, 而 Zn 和 Fe 则出现下降的趋势, K 和 Mn 无明显变化规律. 体内 N 浓度在完全供 NH₄⁺-N 时最低, 而其余处理均较高, 在处理后期的 8 月 6 日测定了叶片净光

Fe、Zn 和 Mn 浓度. 试验结束时, 用剥落法取紧贴根表的石英砂(作为根际土)和容器内石英砂(作为非根际土), 用 pH-2 型酸度计测定其 pH 值. 在 8 月 6 日用美国 CID 公司生产的 CI-301PS 光合测定仪测定各处理叶片的净光合速率, 由早 8 时至晚 17 时每小时测定一次.

3 结果与分析

3.1 不同形态 N 素对水曲柳幼苗生长的影响

经不同形态 N 素处理的水曲柳幼苗生长表现了一定差异(表 2). 地下部干重、总干重、干重增加量、当年高生长和地径生长, 均以 NO₃⁻-N □ NH₄⁺-N 为 75 □ 25 时水曲柳幼苗的生长量最大. 此后随着 NH₄⁺-N 比例的增加, 生长逐渐下降. 总的趋势是当以 NO₃⁻-N 为主要 N 源时(NO₃⁻-N 比例 $\geq 50\%$) 水曲柳的生长量较高, 当 NH₄⁺-N 的比例超过 50% 时, 水曲柳幼苗的总干重、地下干重和干重增加量已明显下降.

合速率, 由早 8 时至晚 17 时每小时测定一次, 取其平均值为 Pn 值. 各处理间的变化趋势为, 随着 NH₄⁺-N 比例的增加水曲柳幼苗净光合速率明显减弱. 完全 NH₄⁺-N 处理的叶片净光合速率仅为完全供 NO₃⁻-N 处理的 54%.

3.3 基质 pH 值变化

在试验结束时对所用石英砂 pH 值测定结果表明(表 4), 营养液中 NH₄⁺-N 比例越大, 基质的 pH 值越低. 在完全供 NH₄⁺-N 时基质 pH 值降至 4.20, 此时水曲柳根际的 pH 值更低, 为 4.18. 在 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 比例各为 50% 时, 基质 pH 值与所浇灌自来水(约 6.50)的 pH 值接近. 在完全供 NO₃⁻-N 时基质 pH 值增加到 7.22. 如以所浇灌自来水的 pH 值(6.50)作为基质初始 pH 值, 则完全供 NH₄⁺-N 处理的基质 pH 值比初始值下降 2.30, 而完全供 NO₃⁻-N 处理的基质 pH 值比初始值增加 0.72. 看来 NH₄⁺-N 引起 pH 值下降的程度大于 NO₃⁻-N 引起 pH 值增加的程度. 由于水曲

表 3 不同形态 N 素处理幼苗体内养分浓度及净光合速率

Table 3 Tissue nutrient concentration and net photosynthetic rate of the seedlings under different nitrogen form treatments

| NO ₃ ⁻ -N □ NH ₄ ⁺ -N | N (mg·g ⁻¹) | P (mg·g ⁻¹) | K (mg·g ⁻¹) | Zn (μg·g ⁻¹) | Fe (μg·g ⁻¹) | Mn (μg·g ⁻¹) | 净光合速率 Pn(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
| 100 □ 0 | 19.50 | 0.897 | 9.491 | 38.49 | 576.62 | 52.12 | 1.947 a |
| 75 □ 25 | 19.63 | 1.167 | 8.877 | 39.75 | 581.04 | 56.84 | 1.823 a |
| 50 □ 50 | 20.96 | 1.284 | 10.37 | 35.46 | 567.50 | 58.73 | 1.437 ab |
| 25 □ 75 | 20.00 | 1.328 | 8.837 | 35.55 | 495.56 | 69.53 | 1.263 b |
| 0 □ 100 | 18.00 | 1.321 | 9.047 | 24.85 | 328.64 | 63.12 | 1.058 b |

表 4 不同形态 N 素处理基质的 pH 值变化

Table 4 Medium pH values under different treatments

| 样地 Site | NO ₃ ⁻ -N □ NH ₄ ⁺ -N | | | | |
|---------------------|---|---------|---------|---------|---------|
| | 100 □ 0 | 75 □ 25 | 50 □ 50 | 25 □ 75 | 0 □ 100 |
| 根际 Rhizosphere | 7.24 a | 6.98 a | 6.56 a | 5.04 a | 4.18 a |
| 非根际 Off-rhizosphere | 7.22 a | 6.86 a | 6.53 a | 5.10 a | 4.20 a |

柳根系量较大, 在盆栽条件下根系充满了全盆, 因此所测定的各处理根际 pH 值与非根际 pH 值相差不明显。

4 讨 论

在供给较多的 NO₃⁻-N 时, 水曲柳幼苗生长较好, 当 NH₄⁺-N 比例高于 50% 时, 水曲柳幼苗生长开始下降, 可见水曲柳是喜硝树种。但也并非营养液中 NO₃⁻-N 比例越高, 水曲柳幼苗生长越好, 只有当营养液中 NO₃⁻-N 比例为 75% 时, 生长才达到最大值。Cox 等^[1]报道, 当培养介质中部分硝酸盐被铵盐取代后, 小麦干物质产量可提高 50%。后来又有一些研究者证明, 许多喜硝植物在供应充足 NO₃⁻-N 条件下, 如果供应少量 NH₄⁺-N 会获得更高的产量^[3,9]。水曲柳幼苗在不同形态 N 素营养液中的生长表现与这一规律是相符的。目前还不清楚为什么喜硝植物在供应充足 NO₃⁻-N 时加入少量 NH₄⁺-N 会促进产量增加。有人认为这是由于同化 NO₃⁻ 比同化 NH₄⁺ 要消耗更多能量的缘故。

植物对不同形态 N 的吸收引起基质 pH 值的变化也是影响植物生长的主要原因。根据电荷平衡原理, 植物吸收 NO₃⁻-N 时, 放出 HCO₃⁻ 和 OH⁻, 导致环境 pH 值升高。而吸收 NH₄⁺-N 时放出 H⁺, 使环境 pH 值降低。本文中, 完全供应 NH₄⁺-N 时基质的 pH 值降至 4.20, 发生了酸化。而完全供应 NO₃⁻-N 时基质的 pH 值升至 7.22。基质 pH 值的变化除影响根系的正常生理代谢外, 还对营养元素的吸收产生影响。NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 吸收所需的最适 pH 值分别是 4.5~ 6.0 和 6.7~ 7.0^[8]。本试验完全供应 NO₃⁻-N 和完全供应 NH₄⁺-N 两个处理的基质 pH 值均超出 N 素吸收的最适范围, 所以其体内 N 浓度均较其它处理低。N 以外的其它营养元素吸收除受 pH 值影响外, 还受 N 素形态的影响。在本试验条件下, 增加 NH₄⁺-N 的供应, 促进了水曲柳对 P 的吸收, 而抑制了 Zn 和 Fe 的吸收。

虽然有些研究认为 NH₄⁺-N 也抑制 K 的吸收^[2,7], 但本试验并未出现这种结果。

营养液中过量的 NH₄⁺-N 可导致水曲柳幼苗根系生长受到抑制, 在营养液中 NH₄⁺-N 比例超过 50% 时即出现抑制根系生长现象。因此, 在生产上培育水曲柳苗木时一定要注意, 为了获得强壮根系要少施或不施铵态 N 肥。同时要保持土壤通气良好, 使土壤内的硝化过程顺利进行, 保证充足的 NO₃⁻-N 供应。在选择水曲柳造林地时也要注意, 水曲柳虽然是喜欢水湿的树种, 在考虑土壤水分含量的同时也要考虑通气性。在过分水湿通气不好的立地上土壤的硝化过程会受到抑制, 导致大量 NH₄⁺-N 积累影响水曲柳的生长。

参考文献

- Cox WJ and Reisenauer HM. 1973. Growth and ion uptake by wheat supplied nitrogen as nitrate, or ammonium, or both. *Plant Soil*, **38**: 363~ 380
- Du Y-C(杜永臣), Zhang F-M(张福熲), Liu B-Z(刘步洲). 1989. Effects of nitrogen form on growth, development, yield and composition of cucumber in sand culture. *Acta Horti Sin(园艺学报)*, **16**(1): 45~ 50(in Chinese)
- Ikedo H and Osawa T. 1983. Effects of ratio of NO₃⁻ to NH₄⁺ and concentrations of each N source in the nutrient solution on growth and leaf N constituents of vegetable crops and solution pH. *J Jpn Soc Hortic Sci*, **52**: 159~ 166(in Japanese)
- Knoepp JD, Turner DP, Tingey DT. 1993. Effect of ammonium and nitrate on nutrient uptake and activity of nitrogen assimilating enzymes in western hemlock. *For Ecol Man*, **59**(3~ 4): 179~ 191
- Miller PM, Eddleman LE, Miller JM. 1991. The response of juvenile and small adult western juniper (*Juniperus occidentalis*) to nitrate and ammonium fertilization. *Can J Bot*, **69**(11): 2344~ 2352
- Olkthoorn AFM, Keltjens WG, Baren van B et al. 1991. Influence of ammonium on fine root development and rhizosphere pH of Douglas-fir seedlings in sand. *Plant and Soil*, **133**(1): 75~ 81
- Ren H-Z(任华中), Zhang F-M(张福熲), Liu B-Z(刘步洲). 1992. Effect of different nitrogen forms on growth, development and yield in media-cultural sweet pepper. *Acta Agric Univ Pekinensis(北京农业大学学报)*, **18**(2): 275~ 279(in Chinese)
- Wang X-Z(王宪泽), Cheng B-S(程炳嵩), Zhang G-Z(张国珍). 1990. Relationship between nitrogen forms and plant growth and its influence factors. *J Shandong Agric Univ(山东农业大学学报)*, (1): 93~ 98(in Chinese)
- Zhang F-S(张福熲), Fan X-L(樊小林), Li X-L(李晓林). 1995. Dynamics of Soil and Plant Nutrition Research (Vol. 2). Beijing: China Agriculture Press. 42~ 69(in Chinese)
- Zhao X-L(赵秀兰), Zheng S-J(郑绍建), Wang Q(王勤) et al. 1998. Effects of different forms of nitrogen on pH in nutrient solutions and on the antagonism between phosphorus and zinc or iron. *J Southwest Agric Univ(西南农业大学学报)*, **20**(1): 1~ 4(in Chinese)

作者简介 张彦东, 男, 1963 年 4 月生, 博士, 副研究员, 主要研究领域为森林培育与林地营养管理, 发表论文 30 余篇。E-mail: Wzqsilv@public.hr.hl.cn