

# NRT 基因与氮素利用效率的研究进展

王 波, 马 行, 刘 莹莹, 过 昱辰

(苏州大学 园艺系, 江苏 苏州 215123)

**摘 要:**低氮素利用效率对农田生态系统所造成的污染日益加重,如何提高作物的氮素利用效率已成为目前的一个研究热点。文章分析了植物体内硝酸盐转运体(Nitrate transporters, NRT)的分类、存在部位、生物学功能及调控机制,旨在阐明植物吸收、转运  $\text{NO}_3^-$  的生理机制,指出了利用分子生物学的手段是提高作物氮素利用效率的一个重要方向,这为今后通过基因工程的手段来提高氮素利用效率,减少环境污染提供了一定的理论依据。

**关键词:**氮素利用效率;NRT;硝酸盐

**中图分类号:**Q 78 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)20-0198-05

建国 60 多年以来,随着工业化、城市化、农业集约化的大力推进,人口规模的持续扩大,以及社会经济的不断发展,由我国土壤资源问题而带来的压力越来越大,主要表现在:一是耕地数量持续减少,尤其是我国东部传统的高产耕地数量减少更多。全国耕地面积已从 1996 年的 130 万  $\text{km}^2$  减少到 2004 年的 122.4 万  $\text{km}^2$ ,每年减少 0.95 万  $\text{km}^2$ ;二是耕地质量不断退化,目前,全国水土流失面积达 356 万  $\text{km}^2$ ,占国土面积 37%,2008 年全国沙化土地面积达 174 万  $\text{km}^2$ ,占国土面积的 18%,土壤酸化面积占国土面积的 40%以上,其它如荒漠化、盐渍化面积也居高不下,甚至有扩大的趋势;三是土壤肥力失调日趋严重,我国土壤有机质平均含量  $< 10 \text{ g/kg}$ ,远低于发达国家的  $30 \text{ g/kg}$ ,缺磷耕地占 59%,缺钾耕地占 30%<sup>[1-2]</sup>。

而且我国 2/3 耕地是中低产地,因此氮肥对作物生产的重要性就越发突出。同时,随着人口的持续增加和人民生活水平的提高,对作物的产量要求越来越高,导致生产和管理中越来越倾向于选用高品种和高技术栽培手段来提高作物的产量。全世界的农业发展经验证明施肥是提高作物产量最重要和最有效的手段<sup>[3]</sup>。加之由于农业的比较经济效益低下,传统的精耕细作已经越来越不适应从事农业生产人群年龄的老龄化越来越严重的局面<sup>[4]</sup>,导致化肥施用量持续增加。由于氮素是作物生长发育过程中必需的一种大量营养元素,氮素

对作物最终产量的贡献为 40%~50%<sup>[5]</sup>,非豆科植物每产生 1 kg 干物质,需要根系吸收 N 20~50 g,因此,在大多数农作物生产中,土壤 N 的供给就限制着作物的产量<sup>[6]</sup>,重视氮肥,轻视磷肥和忽视钾肥的施肥习惯就有了存在的基础,使得我国偏施氮肥现象非常严重,化学氮肥生产量与消耗量分别占世界生产量与消耗量的 33.3%与 45.8%,全国约有 14 个省市平均单位面积施氮量超过国际上公认的上限,即每公顷施纯氮 225  $\text{kg}$ <sup>[7-9]</sup>,2005 年氮磷钾(NPK)施肥比例为 1 : 0.33 : 0.21,与植物生长一般所需要的最佳比例 1 : 0.5 : (0.8~1.0)相距甚远,这一方面导致化学氮肥利用率过低(30%左右),有些城郊蔬菜区和高产区的利用率则更低,仅为 10%~20%,氮肥损失率在 45%以上<sup>[10]</sup>,损失严重而浪费资源及污染环境。另一方面,过量的化肥生产与施用也是我国农业丧失碳汇作用而成为碳源的主要原因,进而也制约了降低碳排放的国家目标的实现。这对资源节约型、环境友好型社会的建立,对农产品质量安全的保障带来巨大的挑战。

随着资源消耗的加速和农业环境污染的加重,以节省资源、保护环境为宗旨的可持续农业成为新的发展方向,其中提高养分利用率尤其是氮素利用效率(Nitrogen use efficiency, NUE)的研究日益受到重视,第 15 届国际土壤学会将其归纳为“优化养分循环、减少养分投入、提高养分利用效率、促进农业可持续发展”。因此,更好地理解 NUE 就显得尤为重要。

## 1 氮素利用效率现状

### 1.1 氮素利用效率的定义

迄今为止,在国内尚未有统一的氮素利用效率定义。氮素利用效率作为评价农业措施、耕作制度及作物

**第一作者简介:**王波(1965-),男,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事农业资源与利用等教学与科研工作。E-mail:wangb@suda.edu.cn.

**基金项目:**苏州市科技局资助项目(SYN201313)。

**收稿日期:**2014-06-10

生长适宜程度的综合生理、生态指标而被广泛应用。但因研究目的与对象的不同,其含义和表达方式也不同,农业生产中常以氮的投入与产出来衡量,植物营养学中常以单位有效氮所能产生的籽粒产量和生物学产量来衡量。在研究中,“氮素利用效率”与“氮肥利用效率”虽常被笼统的称为氮素利用效率,但实际二者是有所区别。“氮素利用效率”是以土壤总氮供应作为研究对象,“氮肥利用效率”则仅指施入肥料氮的当季利用效率,即当季作物吸收的肥料氮占所施肥料氮的百分率,一般不计算后季叠加效率。

Dobermann<sup>[11]</sup>曾就粮食作物的养分利用效率做过详尽的综述,认为粮食作物的 NUE 目标值在 30%~50%比较适宜,在 2002—2005 年对全国 20 个省、50 个养分监测村开展的 165 个田间试验进行统计发现,我国小麦、水稻和玉米的氮肥当季利用率在 8.9%~78.0%之间,平均 28.7%<sup>[12]</sup>,主要作物的 NUE 世界平均水平存在较大的差距<sup>[13]</sup>。

## 1.2 影响氮素利用率的因素

一般来说,低供 N 水平时的 NUE 一般高于高供 N 水平。这是由于低供 N 和高供 N 水平时,植物 N 素代谢的限制步骤是不一样引起的,高供 N 水平时,NUE 的变化主要是由于植物对 N 吸收有差别引起,特别是开花后植物对 N 的吸收;低供 N 水平时,NUE 的变化主要是决定于 N 的再移动能力和 N 的同化效率<sup>[14-16]</sup>。

影响 NUE 的重要因素是进入土壤的氮素总量过大。朱兆良<sup>[17]</sup>在对大量田间试验数据统计分析的基础上提出我国主要粮食作物最佳氮肥用量应为 150~180 kg/hm<sup>2</sup>,但对全国 2 万多个农户进行的调查发现,我国水稻、小麦和玉米的氮肥平均施用量分别为 215、187、209 kg/hm<sup>2</sup>,均已超过其所推荐的最佳氮肥用量,全国约有 14 个省市平均单位面积施氮量超过国际上公认的上限(225 kg/hm<sup>2</sup>)<sup>[7-9]</sup>。当然除了施肥量大外,环境中养分来源多,数量大也是不可忽视的因子<sup>[13]</sup>。其次是基础氮素肥力水平过高,研究发现农作物收获后,大棚蔬菜、果园、粮食作物 0~90 cm 土层硝态氮累积量分别达 N 1 165、613、200 kg/hm<sup>2</sup>,远远超过欧盟国家规定的大田作物收获后 0~90 cm 土层硝态氮残留量不高于 50 kg/hm<sup>2</sup>的规定<sup>[18]</sup>。再次是通过铵态氮的挥发、硝态氮的反硝化和淋失、及土壤侵蚀等途径损失的土壤氮素也居高不下。同时作物产量潜力未得到充分挖掘。尽管我国小麦和玉米的平均单产分别比世界平均水平高 46%和 9%<sup>[19]</sup>,但仍然显著低于发达国家的先进水平,分别为发达国家的 61.43%和 54.84%<sup>[20]</sup>。

因此影响 NUE 提高的因素很多,但提高 NUE 主要应围绕 2 条途径:途径一是从肥料入手,改变肥料特性、精

确施肥量和改善施用方法;途径二是从作物入手,挖掘作物新品种,提高作物对氮素养分的吸收、利用的能力。如研究证实根系构型可显著影响 NUE,随着较大根系 N 吸收量的增加,N 在植物体内再移动减少,因而影响 NUE;研究证实适当比例的铵态氮可以促进根系的生长<sup>[21]</sup>,且主要刺激侧根数量的增加,而硝态氮主要促进侧根的伸长<sup>[22]</sup>。但影响 NUE 的主要瓶颈是作物本身<sup>[23]</sup>,如同一物种的不同品种之间的总吸氮量、花后吸氮量、氮转化和氮同化。植物根系对于 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的吸收,及根系细胞中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 在不同器官中的再度运转,是由位于细胞原生质膜上硝酸盐的转运蛋白或硝态氮载体(NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Transporter, or Nitrate transporters, NRT)介导的需能主动运输过程。因此,NRT 可以通过影响氮转化来影响 NUE。

## 2 NRT 基因

### 2.1 NRT 基因

NRT 由 NRT1/PTR 家族(nitrate/peptide transporters)、NRT2 家族和 NRT3 家族组成<sup>[24]</sup>,NRT1/PTR 家族是低亲和力硝酸盐吸收转运系统,其它 2 个是高亲和力硝酸盐吸收转运系统。因此,NRT 在硝态氮吸收和运转过程中起着多功能的作用<sup>[25-26]</sup>。

对大多数植物来说,被根系通过高亲和力和低亲和力系统吸收的大部分硝态氮是通过 NRT 直接被运转到地上部,然后被还原<sup>[27-28]</sup>。也有植物根系吸收的少量硝态氮在地下部被还原成胺后再被运转到地上部,运输这种寡肽基因家族分别为:运输含 2~3 个氨基酸残基寡肽的 PTR 家族(peptide transporter family, PTR)和运输 4~5 个氨基酸残基寡肽的 OPT 家族(oigopeptide transporter family, OPT),由于 NRT1 与 PTR 在序列同源性上归属于同一基因家族,故统称作 NRT1/PTR 家族。

2.1.1 NRT1/PTR NRT1/PTR 家族有 53 个基因。除了第 1 个被证实为 NRT 的 NRT1.1(CHL1)存在于高和低亲和力系统<sup>[29-30]</sup>,高亲和力和系统吸收硝酸根的 Km 约为 50 mmol/L,低亲和力和系统吸收硝酸根的 Km 约为 4 mmol/L<sup>[30]</sup>,其可以作为调控硝酸根诱导的转录作用的感应器以及促进植物体内与硝酸盐有关基因的表达<sup>[31]</sup>,其它 NRT1/PTR 家族只存在于低亲和力系统<sup>[32]</sup>。AtNRT1.2 主要在拟南芥的根毛和皮层中表达<sup>[32]</sup>。AtNRT1.3 在叶片部位受硝酸根浓度诱导表达,但在根部的表达则受到抑制<sup>[33]</sup>。AtNRT1.4 主要在叶柄和中脉中,与硝态氮在叶片中分配有关<sup>[29,34]</sup>。NRT1.5、NRT1.8 和 NRT1.9 与调节硝态氮从地下部到地上部的长距离转运有关<sup>[25]</sup>。NRT1.6 能将成熟组织中的硝酸根向发育中的胚运输,这种运输作用对胚的发育非常重要,尤其是早期胚<sup>[35]</sup>。NRT1.7 参与了植物韧皮部中硝酸根的移动并影响硝酸根在源和库中的流

动<sup>[36]</sup>。PTR 也是 NRT1/PTR 的重要家族成员。At-PTR1 和 AtPTR4 存在维管束中,可能影响着肽的长距离运输;AtPTR2 主要在绿色的果实、根和幼苗中存在<sup>[37-38]</sup>,最早从植物中鉴定的寡肽运输基因是拟南芥中的 AtPTR2,它能互补酵母 PTR 2 基因的突变<sup>[39]</sup>;At-PTR5 主要在花粉中<sup>[40]</sup>;AtPTR6 主要存在开始衰老的叶片和花粉中<sup>[37]</sup>。

2.1.2 NRT2 NRT2 家族有 7 个基因。与 NRT1s 基因家族相对,NRT2s 基因家族参与高亲和性硝酸根转运系统。在基因数量和 NRT 家族结构上,拟南芥和牧草之间存在着根本的区别<sup>[41]</sup>。NRT2 进化树表明,谷类 NRT2 基因功能仅仅决定基于序列同源性,而拟南芥 NRT2 基因的功能可能不是这样的。水稻有 5 个 NRT2 个家族成员,由于 N 供应形态的不同而有不同的亲和力和调节模式<sup>[26,42]</sup>。OsNAR2.1 辅助蛋白与 3 个 NRT2 (NRT2.1、NRT2.2、NRT2.3a)在信使 RNA(mRNA)和蛋白表达水平互作。无论是在高浓度还是在低浓度,OsNAR2.1 辅助蛋白对硝酸盐吸收有重要作用。拟南芥中仅仅发现有 7 个 NRT2S 家族成员,其中,At-NRT2.1、AtNRT2.2 和 AtNRT2.5 同时位于染色体 I;AtNRT2.6 位于染色体 III;AtNRT2.3、AtNRT2.4 和 AtNRT2.7 同时位于染色体 V<sup>[43]</sup>。拟南芥中仅仅发现有 7 个 NRT2 基因,如拟南芥中的 NRT2.1、NRT2.2、NRT2.4 和 NRT2.7 与硝态氮运输有关<sup>[44-46]</sup>。除了 At-NRT2.7 主要在地上部液泡膜上表达并参与调控种子的含氮量,其它的 AtNRT2 主要是在地下部<sup>[47]</sup>。

2.1.3 NRT3 NRT3 家族中有 2 个基因,分别是 NRT3.1(NAR2.1)和 NRT3.2。拟南芥中的 NRT3 基因达到运输硝态氮的目的不是 NRT3 直接充当载体的角色实现的,而是通过调控 NRT2 基因来实现<sup>[41]</sup>。尽管 2 个 NRT3 基因是密切相关的,但是 NRT3.1(NAR2.1)在高亲和力系统中发挥的作用更为显著<sup>[48]</sup>。

## 2.2 NRT 基因与氮素利用率的关系

NRT 基因的表达受很多因素的影响,如硝酸盐、N 代谢物、N 饥饿等<sup>[26,49]</sup>。有研究证明 NRT1 和 NAR2/NRT2 的部分家族成员(如 NRT1.1、NRT2.1 和 NAR2.1)可以影响到受硝态氮调节的根系生长<sup>[50]</sup>,从而通过影响植物根系吸收硝态氮的总量,而这可以直接影响到 NUE 的高低。Filleur 等<sup>[51]</sup>分离出 1 个 AtNRT2.1 的 cDNA 克隆,推测其编码高亲和和  $\text{NO}_3^-$  转运蛋白,进一步研究证实当环境中 N 水平由充足变成无 N 时,At-NRT2.1 mRNA 量增加,这可能意味着 N 饥饿对高亲和转运系统的激活作用。同时植物所吸收的硝态氮的也会影响 NRT 的功能,如 AtNRT2.1、AtNRT2.2 的表达明显受到适宜浓度  $\text{NO}_3^-$  诱导,用 1 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  处理

氮饥饿的植株后发现,AtNRT2.1 和 AtNRT2.2 表达量均可增加,最大可增加 5 倍以上<sup>[52]</sup>。AtNRT2.4 在低  $\text{NO}_3^-$  浓度下高度表达。AtNRT2.5 的表达受到  $\text{NO}_3^-$  的严重抑制,在供应  $\text{NO}_3^-$  3~6 h 后,其在根中的表达量仅为原来的 25%<sup>[53]</sup>。

## 3 问题与展望

中国正面临着人口不断增长、耕地尤其是优质耕地日益减少、粮食需求持续增加和生态压力越来越大的严峻现实,在保证高产的前提下,充分提高作物的 NUE,这对于保障粮食安全、保护生态环境具有极其重要的意义。为此,个人认为应将提高作物 NUE 作为系统工程,围绕影响 NUE 的因素开展工作:新型肥料研制和常规肥料升级换代;集成高 NUE 下的养分资源综合管理技术体系;从分子水平上对作物的 NUE 进行遗传改良。

## 参考文献

- [1] 赵其国. 土壤科学发展的战略思考[J]. 土壤, 2009, 41(5): 681-688.
- [2] 赵其国, 骆永明, 滕应. 中国土壤保护宏观战略思考[J]. 土壤学报, 2009, 46: 1140-1145.
- [3] Yan X, Jin J Y, He P, et al. Recent advances on the technologies to increase fertilizer use efficiency[J]. Agricultural Science in China, 2008, 7(4): 469-479.
- [4] 蔡昉. 中国“三农”政策的 60 年经验与教训[J]. 广东社会科学, 2009, (6): 148-157.
- [5] 陆景陵, 胡霭堂. 植物营养学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [6] Robertson G P, Vitousek P M. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource[J]. Annual Review Environment Resources, 2009, 34: 97-125.
- [7] 周健民, 石元亮. 面向农业与环境的土壤科学综述篇[M]. 沈阳: 科学出版社, 2004.
- [8] 齐景发. 中国农业统计资料[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [9] 曹仁林, 贾晓葵. 我国集约化农业中氮污染问题及防治对策[J]. 土壤肥料, 2001(3): 3-6.
- [10] 李庆远, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998: 3-5.
- [11] Dobermann A. Nitrogen use efficiency-state of the art. In: IFA international workshop on enhanced-efficiency fertilizers[M]. Frankfurt, Germany, 2005: 28-30.
- [12] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 450-459.
- [13] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 我国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
- [14] Coque M, Gallais A. Genomic regions involved in response to grain yield selection at high and low nitrogen fertilization in maize[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2006, 112: 1205-1220.
- [15] Chardon F, Barthélémy J, Daniel-Vedele F, et al. Natural variation of nitrate uptake and nitrogen use efficiency in *Arabidopsis thaliana* cultivated with limiting and ample nitrogen supply[J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61: 2293-2302.
- [16] Masclaux-Daubresse C, Chardon F. Exploring nitrogen remobilization for seed filling using natural variation in *Arabidopsis thaliana* [J]. Journal of



Experimental Botany, 2011, 62: 2131-2142.

[17] 朱兆良. 我国氮肥的使用现状、问题和对策[M]//李庆逵, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南京: 江苏科学技术出版社, 1998: 38-51.

[18] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, et al. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain[J]. Environmental Pollution, 2006, 143(1): 117-125.

[19] Liu X J, Ju X T, Zhang Y, et al. Nitrogen deposition in agroecosystems in the Beijing area[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 113: 370-377.

[20] Food and Agriculture Organization. FAO statistical databases, agriculture data[EB/OL]. <http://faostat.fao.org/faostat>. 2005.

[21] 王波, 赖涛, 孙兴祥, 等. 增铍营养对生菜根系生长发育影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 745-749.

[22] Zhang H, Forde B G. An *Arabidopsis* MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture[J]. Science, 1998, 279: 407-409.

[23] Xu G H, Fan X R, Anthony J M. Plant nitrogen assimilation and use efficiency[J]. Annual Review of Plant Biology, 2012, 63: 153-182.

[24] Bi Y M, Kant S, Clark J, et al. Increased nitrogen-use efficiency in transgenic rice plants over-expressing a nitrogen-responsive early nodulin gene identified from rice expression profiling[J]. Plant Cell and Environment, 2009, 32: 1749-1760.

[25] Wang Y Y, Hsu P K, Tsay Y F. Uptake, allocation and signaling of nitrate[J]. Trends in Plant Science, 2012, 17(8): 458-467.

[26] Feng H, Yan M, Fan X, et al. Spatial expression and regulation of rice high-affinity nitrate transporters by nitrogen and carbon status[J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62: 2319-2332.

[27] Lam H M, Coschigano K, Oliveira I C, et al. The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1996, 47: 569-593.

[28] Gojon A, Krouk G, Perrine W F, et al. Nitrate transceptor(s) in plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62: 2299-2308.

[29] Dechorgnat J, Nguyen C T, Armengaud P, et al. From the soil to the seeds: the long journey of nitrate in plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62: 1349-1359.

[30] Liu K H, Huang C Y, Tsay Y F. CHL1 is a dual-affinity nitrate transporter of *Arabidopsis* involved in multiple phases of nitrate uptake[J]. The Plant Cell, 1999, 11(5): 865-874.

[31] Ho C H, Lin S H, Hu H C, et al. CHL1 functions as a nitrate sensor in plants[J]. Cell, 2009, 138: 1184-1194.

[32] Huang N C, Liu K H, Lo H J, et al. Cloning and functional characterization of an *Arabidopsis* nitrate transporter gene that encodes a constitutive component of low-affinity uptake[J]. The Plant Cell, 1999, 11(8): 1381-1392.

[33] Okamoto M, Vidmar J J, Glass A D M. Regulation of *NRT 1* and *NRT 2* gene families of *Arabidopsis thaliana*: Responses to nitrate provision[J]. Plant and Cell Physiology, 2003, 44(3): 304-317.

[34] Chiu C C, Lin C S, Hsia A P, et al. Mutation of a nitrate transporter, *AtNRT 1: 4*, results in a reduced petiole nitrate content and altered leaf development[J]. Plant and Cell Physiology, 2004, 45(9): 1139-1148.

[35] Almagro A, Lin S H, Tsay Y F. Characterization of the *Arabidopsis* nitrate transporter *NRT 1. 6* reveals a role of nitrate in early embryo development[J]. Plant Cell, 2008, 20(12): 3289-3299.

[36] Fan S C, Lin C S, Hsu P, et al. The *Arabidopsis* nitrate transporter *NRT 1. 7*, expressed in phloem, is responsible for source-to-sink remobilization

of nitrate[J]. The Plant Cell, 2009, 21(9): 2750-2761.

[37] Weichert A, Brinkmann C, Komarova N, et al. *AtPTR 4* and *AtPTR 6* are differentially expressed, tonoplast-localized members of the peptide transporter/nitrate transporter 1 (*PTR/NRT1*) family[J]. Planta, 2012, 235: 311-323.

[38] Dietrich D, Hammes U, Thor K. *AtPTR 1*, a plasma membrane peptide transporter expressed during seed germination and in vascular tissue of *Arabidopsis*[J]. The Plant Journal, 2004, 40: 488-499.

[39] Song W, Koh S, Czako M, et al. Antisense expression of the peptide transport gene *AtPTR2-B* delays flowering and arrests seed development in transgenic *Arabidopsis* plants[J]. Plant Physiology, 1997, 114(3): 927-935.

[40] Komarova N Y, Thor K, Gubler A, et al. *AtPTR1* and *AtPTR5* transport dipeptides in plants[J]. Plant Physiology, 2008, 148: 856-869.

[41] Plett D, Toubia J, Garnett T, et al. Dichotomy in the *NRT* gene families of dicots and grass species[J]. PLoS ONE, 2010, 5: e15289.

[42] Yan M, Fan X R, Feng H M, et al. Rice *OsNAR 2. 1* interacts with *OsNRT 2. 1*, *OsNRT 2. 2* and *OsNRT 2. 3a* nitrate transporters to provide uptake over high and low concentration ranges[J]. The Plant Cell and Environment, 2011, 34: 1360-1372.

[43] Orsel M, Filleur S, Fraissier V, et al. Nitrate transport in plants: which gene and which control? [J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53: 825-833.

[44] Kiba T, Feria-Bourrellier A B, Lafouge F, et al. The *Arabidopsis* nitrate transporter *NRT 2. 4* plays a double role in roots and shoots of nitrogen-starved plants[J]. Plant Cell, 2012, 24(1): 245-258.

[45] Chopin F, Orsel M, Dorbe M F, et al. The *Arabidopsis* *ATNRT 2. 7* nitrate transporter controls nitrate content in seeds[J]. The Plant Cell, 2007, 19: 1590-1602.

[46] Little D Y, Rao H, Oliva S, et al. The putative high-affinity nitrate transporter *NRT 2. 1* represses lateral root initiation in response to nutritional cues[J]. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 2005, 102(38): 13693-13698.

[47] Wang R, Okamoto M, Xing X, et al. Microarray analysis of the nitrate response in *Arabidopsis* roots and shoots reveals over 1,000 rapidly responding genes and new linkages to glucose, trehalose-6-phosphate, iron, and sulfate metabolism[J]. Plant Physiology, 2003, 132: 556-567.

[48] Okamoto M, Kumar A, Li W, et al. High-affinity nitrate transport in roots of *Arabidopsis* depends on expression of the *NAR 2-Like* gene *AtNRT 3. 1*[J]. Plant Physiology, 2006, 140(3): 1036-1046.

[49] Krouk G, Lacombe B, Bielach A, et al. Nitrate-regulated auxin transport by *NRT 1. 1* defines a mechanism for nutrient sensing in plants[J]. Development Cell, 2010, 18(6): 927-937.

[50] Garnett T, Conn V, Kaiser B N. Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants[J]. Plant Cell and Environment, 2009, 32: 1272-1283.

[51] Filleur S, Daniel-Vedele F. Expression analysis of a high-affinity nitrate transporter isolated from *Arabidopsis thaliana* by differential display[J]. Planta, 1999, 207(3): 461-469.

[52] Cerezo M, Tillard P, Filleur S, et al. Major alterations of the regulation of root  $\text{NO}_3^-$  uptake are associated with the mutation of *Nrt 2. 1* and *Nrt 2. 2* genes in *Arabidopsis*[J]. Plant Physiology, 2001, 127: 262-271.

[53] Okamoto M, Vidmar J J, Glass A D M. Regulation of *NRT 1* and *NRT 2* gene families of *Arabidopsis thaliana*: responses to nitrate provision[J]. Plant and Cell Physiology, 2003, 44(3): 304-317.

# 近三十年我国榆叶梅研究相关期刊论文的计量分析

赵伶俐

(中国农业科学院 农业信息研究所《中国农业科学》编辑部,北京 100081)

**摘要:**以中国知网的《中国学术期刊网络出版总库》为检索对象,采用文献计量学方法,从年度载文量与期刊分布、核心作者群及主要产出机构、基金项目、下载量及被引频次等方面对1979—2013年间我国榆叶梅研究文献进行了统计分析。结果表明:34年来发表的榆叶梅相关文献量及发文刊数呈逐年增加趋势,并在2013年达到峰值;北京林业大学、牡丹江师范学院和长春市园林科学研究所等研究机构是榆叶梅研究的主体;目前榆叶梅研究热点是其栽培繁殖、天然色素和品种资源研究。

**关键词:**榆叶梅;研究;文献计量

**中图分类号:**F 302.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)20-0202-03

榆叶梅(*Prunus triloba* Lindl)属蔷薇科李属落叶观花灌木或小乔木,是我国著名的传统花木,主要分布于东北、华北和西北地区。榆叶梅栽培历史悠久、品种丰富,广泛应用于园林绿化,是中国北方地区重要的早春观花树种<sup>[1-2]</sup>。多年来,关于榆叶梅的研究主要集中在繁殖、栽培、病虫害防治、品种分类以及野生榆叶梅资源调查等方面。该研究采用文献计量学的方法分析了中国知网收录的我国逾30年关于榆叶梅的研究文献,对文献分布的期刊、年度、作者、基金项目、文献被引频次及下载量等指标进行统计分析,旨在了解我国榆叶梅研究的现状及发展趋势。

**作者简介:**赵伶俐(1982-),女,湖北荆州人,博士,现主要从事期刊编辑与情报学等研究工作。E-mail:zll\_bj@126.com

**基金项目:**中国农业科学院农业信息研究所基本科研业务费专项资金资助项目(2014-J-028)。

**收稿日期:**2014-07-14

## 1 材料与方法

### 1.1 研究方法

研究所用文献数据均来源于中国知网(<http://www.cnki.net/>)<sup>[3]</sup>,在“期刊”中以“榆叶梅”为关键词检索,检索时间设置为1979—2013年。

### 1.2 评价指标

1979—2013年我国榆叶梅研究的发文总量或年度发文量、发文期刊数、作者、发文的科研工作者和科研机构、发文的支持基金项目、下载与被引情况。

### 1.3 数据分析

利用Excel 2010进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 发文量及发文刊数

1979—2013年在中国知网收录的中文期刊上发表的关于榆叶梅研究文章共计131篇,年均发表3.9篇。131篇文献共分布在74种期刊上,其中《中国林副特

## Research Advance of NRT Gene on Nitrogen Use Efficiency

WANG Bo, MA Xing, LIU Ying-ying, GUO Yu-chen

(Department of Horticulture, Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215123)

**Abstract:** Lower nitrogen use efficiency (NUE) caused the aggravation of the ecosystem pollution. How to improve the NUE has become a hot research goal. To clarify the physiological characteristics of absorption and transportation of  $\text{NO}_3^-$  by plants, the classification of the NRT and its presence organ, biology functions and regulatory mechanisms in plant was summarized in this paper and pointed out. There was an important way to improve the NUE of plant by the means of molecular biology. A theoretical basis for the future to improve NUE and reduce environmental pollution by methods of genetic engineering were provided.

**Keywords:** nitrogen use efficiency (NUE); nitrate transporters (NRT); nitrate