

苹果砧木生长及吸收利用硝态氮和铵态氮特性比较

王海宁, 葛顺峰, 姜远茂*, 魏绍冲, 彭福田, 陈倩

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

摘要: 以一年生平邑甜茶 (*Malus hupehensis* Rehd.)、八棱海棠 (*M. micromalus* Makino)、楸子 [*M. prunifolia* (Willd) Borkh.]、新疆野苹果 [*M. sievesii* (Ledeb.) Roemer]、东北山荆子 (*M. baccata* Borkh.) 实生苗为试材, 采用 $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ 和 $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ 分别标记的方法, 研究 5 种砧木的生长特性及其对 NH_4NO_3 中硝态氮和铵态氮的吸收、分配和利用特性。结果表明: 幼苗生物量顺序为楸子 > 平邑甜茶 > 八棱海棠 > 新疆野苹果 > 东北山荆子; 根系总表面积、总根长、根尖数均以楸子最大, 东北山荆子最小。5 种砧木对硝态氮和铵态氮的利用率顺序为楸子 > 新疆野苹果 > 平邑甜茶 > 八棱海棠 > 东北山荆子, 5 种砧木对硝态氮的利用率均高于铵态氮利用率, 并且硝态氮利用率与根尖数呈显著正相关。5 种砧木植株各器官从硝态氮中吸收分配到的 ^{15}N 量对该器官全氮量的贡献 (Ndff) 均高于从铵态氮中吸收分配到的; 标记硝态氮时, 楸子叶、茎和根的 Ndff 均最高, 平邑甜茶最低; 标记铵态氮时, 东北山荆子叶、茎和根的 Ndff 均最高, 新疆野苹果叶、楸子茎、平邑甜茶根最低。标记的硝态氮和铵态氮在器官中的分配均为叶 > 根 > 茎。

关键词: 苹果; 砧木; 吸收; 分配; 利用

中图分类号: S 661.1

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2012) 02-0343-06

Growth Characteristics and Absorption, Distribution and Utilization of $^{15}\text{NO}_3^-$ -N and $^{15}\text{NH}_4^+$ -N Application for Five Apple Rootstocks

WANG Hai-ning, GE Shun-feng, JIANG Yuan-mao*, WEI Shao-chong, PENG Fu-tian, and CHEN Qian

(State Key Laboratory of Crop Biology, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: Five kinds of one-year-old apple rootstocks [*Malus hupehensis* Rehd., *M. micromalus* Makino, *M. prunifolia* (Willd) Borkh., *M. sievesii* (Ledeb.) Roemer and *M. baccata* Borkh.] were used to study the growth characteristics and the characteristics of absorption, distribution and utilization of labeled $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ and $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$. The results were as follows: The biomass of five rootstocks from high to low were *M. prunifolia* (Willd) Borkh. > *M. hupehensis* Rehd. > *M. micromalus* Makino > *M. sievesii* (Ledeb.) Roemer > *M. baccata* Borkh. The root surface area, total root length and root tips of *M. prunifolia* (Willd) Borkh. were the largest of the five, while *M. baccata* Borkh. were the least. The

收稿日期: 2011-10-20; **修回日期:** 2012-01-16

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-28); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201103003); 山东省农业重大应用创新课题 (201009); 山东省良种产业化专项

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: ymjiang@sdau.edu.cn)

$^{15}\text{NO}_3^-$ -N and $^{15}\text{NH}_4^+$ -N utilization ratio of five rootstocks from high to low were *M. prunifolia* (Willd) Borkh. > *M. sievesii* (Ledeb.) Roemer > *M. hupehensis* Rehd. > *M. micromalus* Makino > *M. baccata* Borkh. The $^{15}\text{NO}_3^-$ -N utilization ratio of the five kinds of rootstocks were higher than that of $^{15}\text{NH}_4^+$ -N, and the $^{15}\text{NO}_3^-$ -N utilization ratio of the five kinds of rootstocks were significantly correlated with root tips. Ndff value of $^{15}\text{NO}_3^-$ -N of the five kinds of rootstocks were higher than that of $^{15}\text{NH}_4^+$ -N, and the value of leaves, shoots and roots of *M. prunifolia* (Willd) Borkh. with $^{15}\text{NO}_3^-$ -N treatment was the highest, meanwhile value of *M. hupehensis* Rehd. with $^{15}\text{NO}_3^-$ -N treatment was the lowest. The Ndff value of leaves, shoots and roots of *M. baccata* Borkh. with $^{15}\text{NH}_4^+$ -N treatment was the highest. The leaves of *M. sievesii* (Ledeb.) Roemer, the shoots of *M. prunifolia* (Willd) Borkh., the roots of *M. hupehensis* Rehd. with $^{15}\text{NH}_4^+$ -N treatments were the lowest. The two kinds of ^{15}N distribution ratio of leaves were the highest, while the shoots were the lowest.

Key words: apple; rootstock; absorption; distribution; utilization

研究表明作物对不同形态氮素的吸收、分配和利用因作物种类而异,但这些研究多集中于大田作物上(彭福田等,2003;张亚丽等,2004)。砧木根系生长状况及分布对果树吸收水分、养分具有决定性作用(李天忠和张志宏,2008)。中国苹果主要分布于环渤海湾山丘地和西北黄土高原,苹果园有机质含量较低,缓冲能力差,这对砧木的耐瘠薄能力提出较高要求(卢树昌,2009)。不同苹果砧木对不同形态氮素吸收、分配和利用等方面的研究尚未见报道。本研究中选择5种生产上常用的苹果砧木,利用 ^{15}N 示踪技术研究了其对硝态氮和铵态氮吸收、分配和利用的特性,旨在从营养吸收方面为生产上合理选用砧木提供理论依据。

1 材料与方法

试验于2010年在山东农业大学园艺实验站完成。供试土壤为黏质壤土,有机质 $10.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $76.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $27.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $184.99 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 硝态氮 $37.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 铵态氮 $16.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 6.7。以正常管理的一年生平邑甜茶 (*Malus hupehensis* Rehd.)、八棱海棠 (*M. micromalus* Makino)、楸子 [*M. prunifolia* (Willd) Borkh.]、新疆野苹果 [*M. sievesii* (Ledeb.) Roemer]、东北山荆子 (*M. baccata* Borkh.) 实生苗为试材,选取长势基本一致的植株各18株,分为两组。于2010年6月20日进行施肥处理,第1组每株施 $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ 0.3 g 和 NH_4NO_3 1.0 g,第2组每株施 $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ 0.3 g 和 NH_4NO_3 1.0 g。两组均每株施入双氰胺 0.02 g (纯氮量的5%) (杨春霞和李勇梅,2005),同时每株施入硫酸钾 0.84 g,过磷酸钙 2.28 g。双氰胺具有铵稳定和硝化抑制作用,能降低铵态氮的挥发损失,延缓其转化为硝态氮的速度(夏建国等,1999)。 $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ 丰度为 10.27%, $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ 丰度为 10.28% (上海化工研究院生产)。各处理生长条件和栽培管理均保持一致。

于2010年7月20日取样测定,各处理均取9株,3株为1重复,重复3次。采样后将植株分成根、茎、叶,样品于 105°C 杀青 30 min, 80°C 烘干,用不锈钢电磨粉碎,过 0.25 mm 筛后备测。全 N 用凯氏定 N 法测定;各器官干样质量用千分之一电子天平称量;根总表面积、根系总长度、根尖数用 WinRHIZO 根系分析软件分析;根系活力用氯化三苯基四氮唑 (TTC) 还原法测定,以单位鲜样质量根系还原的 TTC 量表示。

$\text{Ndff}(\%) = (\text{植物样品中 } ^{15}\text{N} \text{ 丰度} - ^{15}\text{N} \text{ 自然丰度}) / (\text{肥料中 } ^{15}\text{N} \text{ 丰度} - ^{15}\text{N} \text{ 自然丰度}) \times 100$ 。

器官 ^{15}N 吸收量 = $\text{Ndff} \times \text{器官全氮量}$ 。

氮肥利用率 (%) = $(\text{Ndff} \times \text{器官全氮量}) / \text{施肥量} \times 100$ 。

氮肥分配率 (%) = 各器官从氮肥中吸收的氮量/总吸收氮量 $\times 100$ 。

用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 软件进行数据分析, 多重比较采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 不同砧木生物量、根系形态指标和根系活力的差异

5 种砧木中, 地上部(茎、叶)干样质量、地下部(根)干样质量和总干样质量均为楸子 > 平邑甜茶 > 八棱海棠 > 新疆野苹果 > 东北山荆子(表 1)。从根系形态来看, 楸子的根系总表面积、总根长、根尖数均最大, 东北山荆子最小, 其他砧木介于二者之间(表 1)。不同砧木的根系活力从高到低依次为新疆野苹果 > 东北山荆子 > 楸子 > 八棱海棠 > 平邑甜茶(表 1)。上述结果表明, 不同砧木在生物量、根系形态指标和根系活力等方面差异显著。

表 1 不同砧木的生物量、根系形态指标和根系活力
Table 1 Biomass, root architecture parameters and root activity of rootstocks

砧木 Rootstock	地上部干样质量/g Dry weight of the shoot	地下部干样质量/g Dry weight of the root	总干样质量/g Total dry weight	根总表面积/cm ² Total root surface area	根总根长/cm Total root length	根尖数 Number of root tips	根系活力 / (mg · g ⁻¹ · h ⁻¹) Root activity
平邑甜茶 <i>M. hupehensis</i>	26.12 ± 0.26 b	10.45 ± 0.24 a	36.57 ± 0.36 b	564.73 ± 25.16 b	2 216.56 ± 37.24 c	2 619.67 ± 94.95 b	1.33 ± 0.26 b
八棱海棠 <i>M. micromalus</i>	22.44 ± 0.73 c	8.69 ± 0.30 b	31.13 ± 0.44 c	518.61 ± 6.85 b	2 588.51 ± 56.55 b	2 377.33 ± 336.89 b	1.52 ± 0.03 b
楸子 <i>M. prunifolia</i>	30.92 ± 0.80 a	11.07 ± 0.19 a	41.99 ± 0.68 a	699.73 ± 34.47 a	3 227.78 ± 169.57 a	3 500.33 ± 127.91 a	1.58 ± 0.10 b
新疆野苹果 <i>M. sievesii</i>	21.92 ± 0.15 c	7.75 ± 0.27 c	29.75 ± 0.34 d	507.98 ± 35.02 bc	2 281.99 ± 106.35 bc	2 614.33 ± 145.58 b	2.18 ± 0.05 a
东北山荆子 <i>M. baccata</i>	9.75 ± 0.20 d	6.16 ± 0.30 d	15.91 ± 0.25 e	412.92 ± 39.30 c	2 103.10 ± 134.18 c	2 273.67 ± 201.23 b	1.66 ± 0.03 a

注: 同一列小写字母表示差异达 0.05 水平显著。下同。

Note: Values followed by a capital within the same column are significantly different at 0.05 level. The same below.

2.2 不同砧木对两种形态 ¹⁵N 利用率的差异

5 种砧木对硝态氮的利用率均高于铵态氮(表 2), 表明其具有喜硝性。不同砧木对硝态氮和铵态氮的利用率从大到小依次为楸子 > 新疆野苹果 > 平邑甜茶 > 八棱海棠 > 东北山荆子。

砧木对硝态氮的利用率与其根尖数存在显著正相关关系(表 3)。

表 2 不同砧木的 ¹⁵N 利用率
Table 2 ¹⁵N utilization rate of rootstocks

砧木 Rootstock	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
平邑甜茶 <i>M. hupehensis</i>	8.06 ± 0.70 c	6.14 ± 0.57 ab
八棱海棠 <i>M. micromalus</i>	6.77 ± 0.01 c	5.33 ± 0.08 b
楸子 <i>M. prunifolia</i>	12.93 ± 0.18 a	6.88 ± 0.54 a
新疆野苹果 <i>M. sievesii</i>	10.91 ± 0.62 b	6.24 ± 0.14 ab
东北山荆子 <i>M. baccata</i>	3.01 ± 0.32 d	2.36 ± 0.11 c

表 3 不同砧木的生物量、根系形态指标和根系活力与 ¹⁵N 利用率的相关性
Table 3 Correlation between biomass, root architecture parameters, root activity and ¹⁵N utilization ratio of rootstocks

指标 Index	总表面积 Total root surface area	根尖数 Root tips	总根长 Total root length	根系活力 Root activity
NO ₃ ⁻ -N 利用率 NO ₃ ⁻ -N utilization ratio	0.51	0.84*	0.70	0.26
NH ₄ ⁺ -N 利用率 NH ₄ ⁺ -N utilization ratio	0.36	0.69	0.58	0.04

* $P < 0.05$.

2.3 两种形态氮素处理不同砧木各器官 Ndff 的差异

器官的 Ndff 是指植株器官从 ^{15}N 肥中吸收分配到的 ^{15}N 量对该器官全 N 量的贡献率, 它反映了植株器官对 ^{15}N 肥的吸收征调能力 (顾曼如, 1990)。

由表 4 可知, 5 个砧木标记硝态氮处理所有器官的 Ndff 均高于标记铵态氮处理, 表明苹果砧木对硝态氮征调能力高于铵态氮, 进一步证明这些砧木是喜硝植物。标记硝态氮处理各器官的 Ndff 顺序为根 > 叶 > 茎; 而标记铵态氮处理则为根 > 茎 > 叶。标记硝态氮处理的叶、茎和根 Ndff 不同砧木品种间顺序一致, 从高到低依次为楸子 > 新疆野苹果 > 八棱海棠 > 东北山荆子 > 平邑甜茶。标记铵态氮处理叶的 Ndff 为东北山荆子 > 平邑甜茶 > 八棱海棠 > 楸子 > 新疆野苹果; 茎的 Ndff 为东北山荆子 > 新疆野苹果 > 平邑甜茶 > 八棱海棠 > 楸子; 根的 Ndff 为东北山荆子 > 八棱海棠 > 新疆野苹果 > 楸子 > 平邑甜茶。

表 4 不同砧木各器官的 Ndff
Table 4 The Ndff of different organs of rootstocks

/ %

砧木 Rootstock	$\text{NO}_3^- \text{-N}$			$\text{NH}_4^+ \text{-N}$		
	叶 Leaves	茎 Shoots	根 Roots	叶 Leaves	茎 Shoots	根 Roots
平邑甜茶 <i>M. hupehensis</i>	4.60 ± 0.30 b	4.57 ± 0.21 a	5.41 ± 0.01 a	3.60 ± 0.61 ab	3.97 ± 0.05 a	3.98 ± 0.87 a
八棱海棠 <i>M. micromalus</i>	5.40 ± 0.11 b	5.32 ± 1.27 a	5.77 ± 0.90 a	3.51 ± 0.15 ab	3.87 ± 0.46 a	5.01 ± 0.18 a
楸子 <i>M. prunifolia</i>	6.98 ± 0.32 a	6.49 ± 1.20 a	8.26 ± 0.21 a	2.44 ± 0.29 b	2.95 ± 0.41 a	4.41 ± 0.17 a
新疆野苹果 <i>M. sievesii</i>	6.89 ± 0.16 a	6.45 ± 1.99 a	7.54 ± 0.34 a	2.26 ± 0.52 b	4.08 ± 1.46 a	4.52 ± 1.59 a
东北山荆子 <i>M. baccata</i>	5.37 ± 0.34 b	4.90 ± 0.79 a	5.76 ± 0.82 a	4.18 ± 0.76 a	5.00 ± 0.26 a	5.11 ± 0.62 a

2.4 两种形态氮素处理不同砧木各器官 ^{15}N 分配率的差异

各器官中 ^{15}N 占全株 ^{15}N 总量的百分率反映了肥料氮在树体内的分布及在各器官迁移的规律 (徐季娥 等, 1993)。标记硝态氮和铵态氮处理, ^{15}N 均主要分配在叶中, 其次是根, 茎中最少。标记硝态氮在叶中的分配率为 63.55%, 高于标记铵态氮的 54.17%, 而在根中的分配率为 22.23%, 低于标记铵态氮的 28.90% (表 5)。

标记硝态氮在叶中的分配率以东北山荆子最高, 八棱海棠最低; 在茎中以八棱海棠最高, 东北山荆子最低; 在根中以八棱海棠最高, 东北山荆子最低。标记铵态氮在叶中的分配率以东北山荆子最高, 新疆野苹果最低; 在茎中以新疆野苹果最高, 东北山荆子最低; 根中以八棱海棠最高, 楸子最低, 其余品种均介于两个最值之间。各品种标记硝态氮和铵态氮时叶、茎和根的 ^{15}N 分配率差异显著 (表 5)。

表 5 不同砧木各器官的 ^{15}N 分配率
Table 5 ^{15}N distribution ratio of leaves, shoots and roots of rootstocks

/ %

砧木 Rootstock	$\text{NO}_3^- \text{-N}$			$\text{NH}_4^+ \text{-N}$		
	叶 Leaves	茎 Shoots	根 Roots	叶 Leaves	茎 Shoots	根 Roots
平邑甜茶 <i>M. hupehensis</i>	55.08 ± 5.04 c	16.17 ± 1.19 ab	28.75 ± 3.88 a	54.40 ± 4.16 ab	11.59 ± 0.99 b	34.01 ± 4.13 ab
八棱海棠 <i>M. micromalus</i>	49.67 ± 7.15 c	21.49 ± 3.82 a	28.83 ± 5.15 a	46.47 ± 6.47 ab	17.37 ± 3.36 ab	36.16 ± 3.45 a
楸子 <i>M. prunifolia</i>	71.05 ± 4.12 ab	10.04 ± 2.01 bc	18.91 ± 3.32 ab	61.28 ± 7.59 ab	17.53 ± 9.37 ab	21.19 ± 1.97 c
新疆野苹果 <i>M. sievesii</i>	60.06 ± 3.14 bc	17.45 ± 3.77 ab	22.49 ± 2.57 ab	43.74 ± 3.14 b	26.76 ± 2.64 a	29.50 ± 1.09 abc
东北山荆子 <i>M. baccata</i>	81.89 ± 2.55 a	5.91 ± 1.59 c	12.19 ± 1.11 b	64.96 ± 7.60 a	11.40 ± 2.03 b	23.64 ± 5.86 bc

3 讨论

本研究结果表明, 不同砧木对硝态氮的利用率均高于铵态氮, 且各器官对硝态氮征调能力高于铵态氮, 证明苹果砧木是喜硝植物, 与前人的研究结果(顾曼如 等, 1987)相似。

NO_3^- -N 的吸收主要是主动过程, 不同植物中存在着两种 NO_3^- 转运系统, 当介质中 NO_3^- 浓度较低时, 高亲和力转运系统对 NO_3^- 吸收起主要作用, 当介质中 NO_3^- 浓度较高时, 低亲和力转运系统则占主导地位(Touraine & Glass, 1997), 所以植物始终能保持对 NO_3^- 较高的吸收; 而 NH_4^+ -N 的吸收主要是被动过程。 NH_4^+ -N 呈还原态, 易被土壤胶体吸附和固定; NO_3^- -N 呈氧化态, 存在于土壤溶液中, 易到达根系表面(李宪利 等, 1997)。两种形态氮素向根表的迁移机理不同, 硝态氮向根表的迁移主要依赖于质流, 根系发育程度及根系吸收面积对其迁移和分布有明显作用(宋海星和李生秀, 2005), 近根处有富集现象; 铵态氮迁移主要靠扩散, 不受根系影响, 根际存在亏缺(施卫明等, 1987; 钦绳武和刘芷宇, 1989)。 NO_3^- -N 经主动吸收进入植物体后, 需要在植物体内还原才能被利用。对果树而言, 大量研究认为根系是硝酸还原的主要部位(李宪利 等, 1997), 根部还原 NO_3^- -N 所需能量由地上部供给, 碳水化合物供应是其还原的一个限制因子。这是本试验中生物量大的砧木如楸子对硝态氮的利用率更高的原因。

本研究结果表明, 砧木对硝态氮的利用率与根尖数存在显著正相关关系, 这与根尖是整个根系吸收 N 最活跃的部位, 根尖中硝酸还原酶(NR)和谷氨酰胺合成酶(GS)活性较高, 可以迅速同化吸收 NO_3^- 和 NH_4^+ (Cruz et al., 1993; Taylor & Bloom, 1998)有关; 另外根系 NO_3^- 的吸收主要集中于根尖部位, NH_4^+ 可以被根系的任何部位吸收(Bowling, 1973), 但根尖 0~2 cm 区域内 NH_4^+ 的吸收速率较高。楸子的根尖数显著多于其他砧木, 这是其硝态氮和铵态氮利用率最高且显著高于其他砧木的主要原因。

5 种苹果砧木对硝态氮和铵态氮的吸收、分配和利用的差异是生物量、根系形态和根系活力等多因素共同作用的结果。楸子生长最旺盛, 生物量最大, 根系最发达, 对氮素的利用率最高, 其根茎叶对硝态氮的征调能力也最高。新疆野苹果生长势弱, 生物量仅高于东北山荆子, 根系发育程度处于中下水平, 但其根茎叶对硝态氮的征调能力仅次于楸子, 这可能与新疆野苹果根活最大有关。平邑甜茶生物量较大, 仅次于楸子, 根系比较发达, 对氮素的利用率处于中等水平, 但其根茎叶对硝态氮的征调能力最小, 这可能与平邑甜茶根活最小有关。八棱海棠生物量处于中等水平, 根系不发达, 对氮素的利用率较小, 仅高于东北山荆子, 对硝态氮的征调能力处于中等水平。东北山荆子长势最弱, 生物量最小, 根系最不发达, 对氮素的利用率最低, 其根茎叶对硝态氮的征调能力仅高于平邑甜茶, 但其根茎叶对铵态氮的征调能力最强。本试验中两组砧木的氮素利用率偏低, 这与处理时间较短以及降雨导致的氮素淋溶损失有关。

References

- Bowling D J F. 1973. A pH gradient across the root. *Journal of Experimental Botany*, 24: 1041 - 1045.
- Cruz C, Lips S H, Martins-Loucao M A. 1993. Nitrogen assimilation and transport in carob plants. *Physiologia Plantarum*, 89: 524 - 531.
- Gu Man-ru. 1990. The application of ^{15}N in the study of nitrogen nutrition on apples. *China Fruits*, (2): 46 - 48. (in Chinese)
- 顾曼如. 1990. ^{15}N 在苹果氮素营养研究中的应用. *中国果树*, (2): 46 - 48.
- Gu Man-ru, Shu Huai-rui, Zhou Hong-wei. 1987. A study on the nitrogen nutrition of apple trees V. The characteristics of absorption and transportation for various of ^{15}N fertilizers. *Journal of Shandong Agricultural University*, 18 (4): 17 - 24. (in Chinese)
- 顾曼如, 束怀瑞, 周宏伟. 1987. 苹果氮素营养研究 V. 不同形态 ^{15}N 的吸收、运转特性. *山东农业大学学报*, 18 (4): 17 - 24.
- Li Tian-zhong, Zhang Zhi-hong. 2008. *Modern fruit biology*. Beijing: Science Press: 130 - 133, 157 - 159. (in Chinese)

- 李天忠, 张志宏. 2008. 现代果树生物学. 北京: 科学出版社: 130 - 133, 157 - 159.
- Li Xian-li, Gao Dong-sheng, Mi Rui-fu. 1997. Study on the nitrate reductase activity of apple trees in orchard. Journal of Shandong Agricultural University, 28 (1): 1 - 4. (in Chinese)
- 李宪利, 高东升, 米瑞夫. 1997. 苹果植株硝酸还原酶 (NR) 研究初报. 山东农业大学学报, 28 (1): 1 - 4.
- Lu Shu-chang. 2009. Characteristics of nutrient input and the influences on soil quality intensive orchards of China [Ph. D. Dissertation]. Beijing: Chinese Agricultural University. (in Chinese)
- 卢树昌. 2009. 我国集约化果园养分投入特征及其对土壤质量的影响 [博士学位]. 北京: 中国农业大学.
- Peng Fu-tian, Jiang Yuan-mao, Gu Man-ru, Shu Huai-rui. 2003. Advances in research on nitrogen nutrition of deciduous fruit crops. Journal of Fruit Science, 20 (1): 54 - 58. (in Chinese)
- 彭福田, 姜远茂, 顾曼如, 束怀瑞. 2003. 落叶果树氮素营养研究进展. 果树学报, 20 (1): 54 - 58.
- Qin Sheng-wu, Liu Zhi-yu. 1989. The nutrient status of soil-root interface VI. Distribution of different fertilizer-N in rhizosphere soil. Acta Pedologica Sinica, 26 (2): 117 - 123. (in Chinese)
- 钦绳武, 刘芷宇. 1989. 土壤—根系微区养分状况的研究 VI. 不同形态肥料氮素在根际的迁移规律. 土壤学报, 26 (2): 117 - 123.
- Shi Wei-ming, Xu Meng-xiong, Liu Zhi-yu. 1987. The nutrient status of soil-root interface IV. Study on sample preparation procedure for electron microprobe and its applications. Acta Pedologica Sinica, 24 (3): 286 - 290. (in Chinese)
- 施卫明, 徐梦熊, 刘芷宇. 1987. 土壤—植物根系微区养分状况的研究 IV. 电子探针制样方法的比较及其应用. 土壤学报, 24 (3): 286 - 290.
- Song Hai-xing, Li Sheng-xiu. 2005. Effects of root uptake function and soil water on NO_3^- -N and NH_4^+ -N distribution. Scientia Agricultura Sinica, 38 (1) : 96 - 101. (in Chinese)
- 宋海星, 李生秀. 2005. 根系的吸收作用及土壤水分对硝态氮、铵态氮分布的影响. 中国农业科学, 38 (1): 96 - 101.
- Taylor A R, Bloom A J. 1998. Ammonium, nitrate, and proton fluxes along the maize root. Plant, Cell Environment, 21: 1255 - 1263.
- Touraine B, Glass A D M. 1997. NO_3^- and ClO_3^- fluxes in the chl1-5 mutant of *Arabidopsis thaliana*: Does the CHL 1-5 gene encode a low affinity NO_3^- transport. Plant Physiology, 114: 137 - 144.
- Xia Jian-guo, Li Ting-xuan, Wang Ying-gui, Deng Liang-ji. 1999. Different consistence DCD influence on the transformation of NH_4^+ -N in soil. Journal of Sichuan Agricultural University, 17 (4): 444 - 447. (in Chinese)
- 夏建国, 李廷轩, 王应贵, 邓良基. 1999. 不同浓度双氰胺对土壤铵态氮变化的影响. 四川农业大学学报, 17 (4): 444 - 447.
- Xu Ji-e, Lin Yu-yi, Lu Rui-jiang, Chen Liang, Gao Zhan-feng. 1993. Studies on the absorption and the distribution of ^{15}N -labelled urea to 'Yali' pear trees following autumn application. Acta Horticulturae Sinica, 20 (2): 145 - 149. (in Chinese)
- 徐季娥, 林裕益, 吕瑞江, 陈良, 高占峰. 1993. 鸭梨秋施 ^{15}N -尿素的吸收与分配. 园艺学报, 20 (2): 145 - 149.
- Yang Chun-xia, Li Yong-mei. 2005. Effects of dicyandiamide on the conversion of different nitrogen forms in red soil. Ecology and Environment, 14 (3): 357 - 360. (in Chinese)
- 杨春霞, 李勇梅. 2005. 双氰胺对不同形态氮在红壤中转化的影响. 生态环境, 14 (3): 357 - 360.
- Zhang Ya-li, Dong Yuan-yuan, Shen Qi-rong, Duan Ying-hua. 2004. Characteristics of NH_4^+ -N and NO_3^- -N uptake by rices of different genotypes. Acta Pedol Sin, 41 (6): 918 - 924. (in Chinese)
- 张亚丽, 董圆圆, 沈其荣, 段英华. 2004. 不同水稻品种对铵态氮和硝态氮吸收特性的研究. 土壤学报, 41 (6): 918 - 924.