植物营养与肥料学报 2012,18(5):1262 -1268
Plant Nutrition and Fertilizer Science

施氮水平对五种苹果砧木生长以及氮素吸收、分配和利用特性的影响

王海宁,葛顺峰,姜远茂*,魏绍冲,周恩达,王富林
(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(*M. hupehensis* Rehd.)、八棱海棠(*M. micromalus* Makin)、楸子[*M. micromalus* (Willd) Borkh.]、新疆野苹果[*M. micromalus* (Ledeb.) Roemer]、东北山荆子(*M. baccata* Borkh.)为试材,采用^{15}N示踪技术,研究了施氮量对5种砧木生长及^{15}N吸收、分配和利用特性的影响。结果表明,砧木的生物量、根系总表面积、总根长和根尖数均随施氮量的增加而增加,但不同砧木增加的程度不同,且地上部生长量对氮素的反应比地下部更敏感。平邑甜茶的生物量最大,楸子的根系总表面积、总根长和根尖数均最大;东北山荆子的生物量、根系总表面积、总根长和根尖数均最小。不同品种的^{15}N利用率随施氮量增加变化不同且差异显著,并与根系总表面积存在显著正相关关系;楸子的^{15}N利用率最高,东北山荆子的最低。低氮处理(N_1)中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)从大到小顺序为根>叶>茎,高氮处理(N_2)中各器官的Ndff值从大到小顺序为叶>根>茎。不同砧木的Ndff随施氮量增加变化不同。各砧木^{15}N均主要分配在叶中,其次是根,茎中最少。

关键词:氮素;苹果;砧木;$NH_4{}^{15}NO_3$;吸收;分配;利用
中图分类号:S661.1;S606$^+$.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2012)05-1262-07

Effects of nitrogen fertilization on growth characteristics and absorption, distribution and utilization of $NH_4{}^{15}NO_3$ of five apple rootstocks

WANG Hai-ning, GE Shun-feng, JIANG Yuan-mao*, WEI Shao-chong, ZHOU En-da, WANG Fu-lin
(*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, *M. hupehensis* Rehd., *M. micromalus* Makino, *M. micromalus* (Willd) Borkh., *M. micromalus* (Ledeb.) Roemer and *M. baccata* Borkh. were used to study the growth and the characteristics of absorption, distribution and utilization of labeled $NH_4{}^{15}NO_3$ of the rootstocks. The results show that with the increase of nitrogen application rate, the biomass, root surface area, total root length and root tips of the five rootstocks are increased significantly and the degrees of the increases are different in the five rootstocks, and the growth of aboveground is more sensitive to nitrogen than that of underground. The biomass of *M. hupehensis* Rehd. is the largest among the five rootstocks and the root surface area, total root length and root tips of *M. micromalus* (Willd) Borkh are the largest, while those of *M. baccata* Borkh. are the lowest. With the increase of nitrogen application rate, the changes of ^{15}N utilization ratios of the five rootstocks are quite different, and the ^{15}N utilization ratio of is significantly correlated with root surface area. The ^{15}N utilization ratio of *M.*

收稿日期:2011-12-21　　**接受日期**:2012-05-14
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)资助。
作者简介:王海宁(1984—),女,山东烟台人,硕士研究生,主要从事果树营养生理研究。E-mail:whn_2@163.com
*通讯作者 E-mail:ymjiang@sdau.edu.cn

micromalus (Willd) Borkh. is the largest, while that of *M. baccata* Borkh. is the lowest. The Ndff values of different organs in the low N(N_1) treatment are in order: roots > leaves > stems, while in the high N (N_2) treatment are: leaves > roots > stems. In the five rootstocks, the ^{15}N distribution ratio of leaves is the highest, and that of the shoots is the least.

Key words: nitrogen; apple; rootstock; $NH_4{}^{15}NO_3$; absorption; distribution; utilization

氮素是植物必需的大量营养元素之一,是果树生长的重要物质基础,对果树的器官建造、物质代谢、生化过程、果实产量及品质的形成等都有不可替代的作用[1]。但近年来在果树氮肥施用方面存在较多的问题,如凭经验施肥、偏多或偏少等,这些都影响了苹果的生长发育和产量提高及品质改善[2-3]。

为提高适应性,苹果通常采用嫁接繁殖,用于嫁接的砧木能为苹果树提供根系,而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[4]。我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[5]。到目前为止,植物品种间氮素营养差异的研究主要集中在小麦、玉米等大田作物上[6-8],果树上涉及较少,因此研究和发掘高效营养型砧木对解决养分胁迫问题和提高氮肥利用率具有重要意义。本试验采用^{15}N 示踪技术,选择 5 种生产上常用的苹果砧木,研究了 2 个氮水平下其对^{15}N 的吸收、分配和利用特性,旨在了解不同氮水平对不同苹果砧木生长和营养特性的影响,以期为果树生产提供理论指导。

1　材料与方法

1.1　试验材料与设计

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,有机质含量 10.13 g/kg、碱解氮 76.63 mg/kg、速效磷 27.28 mg/kg、速效钾 184.99 mg/kg、pH(H_2O)6.7。

以正常管理的一年生平邑甜茶(*M. hupehensis* Rehd.)、八棱海棠(*M. micromalus* Makino)、楸子[*M. micromalus* (Willd) Borkh.]、新疆野苹果[*M. micromalus* (Ledeb.) Roemer]、东北山荆子(*M. accata* Borkh.)为试材,选取长势基本一致的植株各 27 株。以 NH_4NO_3 为氮源,分为 3 个处理: 不施氮(CK)、低氮(N_1施纯氮 200 mg/kg)、高氮(N_2施纯氮 400 mg/kg),每个处理 3 次重复,每个重复1 盆,每盆(直径 40 cm,高 30 cm,装风干土 15.0 kg) 1 株。于 2010 年 6 月 20 日进行施氮处理,同时按照 200 mg/kg 的用量施入硫酸钾和过磷酸钙。N_1、N_2 处理每株另施 $NH_4{}^{15}NO_3$(丰度为 10.28%,上海化工研究院生产) 0.3 g。各处理生长条件和栽培管理均保持一致。

1.2　样品处理和分析方法

于2010 年 7 月 20 日取样,植株采样后分根、茎、叶 3 部分,样品于 105℃杀青 30 min,80℃烘至恒重,用千分之一电子天平称量各器官生物量干重。将烘至恒重的苗木解剖,用不锈钢电磨粉碎,过 0.25 mm 筛后备测。植株全氮用凯氏定氮法测定;^{15}N 丰度在中国农业科学院原子能利用研究所用 MAT-251 质谱仪测定。

将植株根系带土整个从盆里取出,然后泡在池子里,待根际的土泡散,自动从根系脱离下来后,取出植株,用 WinRHIZO 根系分析软件分析根总表面积、根系总长度、根尖数。

1.3　相关计算公式和数据分析方法

Ndff (%) = (植物样品中^{15}N 丰度% - ^{15}N 自然丰度%)/(肥料中^{15}N 丰度% - ^{15}N 自然丰度%) ×100

器官^{15}N 吸收量(g) = Ndff × 器官全氮量(g)

氮肥利用率(%) = [Ndff × 器官全氮量(g)]/施肥量(g) ×100

氮肥分配率(%) = 各器官从氮肥中吸收的氮量(g)/总吸收氮量(g) ×100

用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 软件进行数据分析,用 DPS 软件进行显著性检验和相关性分析,多重比较采用 LSD 法。

2　结果与分析

2.1　不同砧木生物量、根系形态指标的差异

由表 1 可见,CK 处理中 5 种砧木的总干重为: 平邑甜茶 ≈ 楸子 > 八棱海棠 > 新疆野苹果 > 东北山荆子,平邑甜茶和楸子总干重相差不大且显著高于其它三种砧木,表明平邑甜茶和楸子具有生长迅速、耐瘠薄能力强的特性。根系和地上部(茎、叶)干重随施氮量增加而增加,N_1 处理 5 种砧木的

平均地上部干重和根系干重比 CK 处理分别提高了 29.55%和 20.99%，N_2 处理 5 种砧木的平均地上部干重和根系干重比 CK 分别提高了 55.19%和 38.00%(表 1)。这说明虽然根系是氮素的主要吸收器官,但地上部生长量对氮素比地下部更敏感,与 Marschner 等[9]的研究结果相似。

不同砧木干重随施氮量增加而增加的幅度不同(表 1)。与 CK 处理相比,N_1 处理中平邑甜茶地上部、根系和总干重增加的比例均最少,分别为 15.49%、6.60%和 12.80%；新疆野苹果地上部、根系和总干重增加的比例均最大,分别为 43.34%、29.46%和 39.43%。在 N_2 处理中,也是平邑甜茶地上部、根系和总干重增加的比例最少,分别为 41.54%、24.82%和 36.49%；八棱海棠地上部、根系和总干重增加的比例均最大,分别为 71.80%、50.10%和 65.33%。可见,不同砧木生物量对低氮和高氮的反应不同,平邑甜茶对氮肥浓度最不敏感,新疆野苹果对低氮最敏感,八棱海棠对高氮最敏感。

由表 2 可以看出,增加氮肥施用量改变了根系形态,表现为不同砧木的根系总表面积、总根长和根尖数差异显著且均随着施氮量的增加而增大,但因品种而异。不同砧木在不同氮素水平下表现不同,楸子的根系总表面积、总根长和根尖数在各个氮素水平下均最大,而东北山荆子的根系总表面积和根尖数均最小；CK 和 N_2 处理下新疆野苹果的总根长最小,N_1 处理下东北山荆子的总根长最小。

2.2 不同砧木对 ^{15}N 利用率的差异

表 3 显示,N_1 水平下平邑甜茶、八棱海棠、楸子、新疆野苹果的 ^{15}N 利用率分别为东北山荆子的 194.41%、192.70%、371.96%、208.37%。N_2 水平下平邑甜茶、八棱海棠、楸子、新疆野苹果、东北山荆子的利用率分别为 N_1 水平下的 80.89%、95.42%、96.49%、64.05%、111.47%。可见，5 种砧木中平邑甜茶和八棱海棠对 ^{15}N 的利用率属中低水平,且随着氮肥浓度增加而升高的幅度较小；楸子对 ^{15}N 的利用率最高,且随着氮肥浓度增加而升高的幅度较大；新疆野苹果对 ^{15}N 的利用率仅次于楸子,但随着氮肥浓度增加而升高的幅度最小；东北山荆子对 ^{15}N 的利用率最低,但随着氮肥浓度增加而升高的幅度最大。

根系是作物吸收水分和养分的主要器官,根系形态与氮素利用率关系密切[10-11]。砧木对 ^{15}N 的利用率与根系形态指标的相关分析结果表明,砧木对 ^{15}N 的利用率与根系总表面积存在显著正相关关系($R^2=0.62^*$)。

2.3 不同砧木各器官 Ndff 的差异

器官的 Ndff 是指植株器官从肥料 ^{15}N 中吸收分配到的 ^{15}N 量对该器官全氮量的贡献率,它反映了植株器官对肥料 ^{15}N 的吸收征调能力[12]。

不同砧木的 Ndff 差异显著,且不同砧木、不同器官对施氮量增加的反应不同。N_1 处理中楸子叶、茎和根的 Ndff 最高,平邑甜茶的最低；N_2 处理中东北山荆子叶、茎和根的 Ndff 最高,八棱海棠的最低(表 4)。施氮量增加时,平邑甜茶和东北山荆子叶、茎和根的 Ndff 均升高；八棱海棠和新疆野苹果叶的 Ndff 升高,茎和根的 Ndff 降低；楸子叶和茎的 Ndff 升高,根的降低。

N_1 处理中各器官的 Ndff 从大到小顺序为根 > 叶 > 茎；N_2 处理中各器官的 Ndff 从大到小顺序为叶 > 根 > 茎(表 4)。可见,N_1 处理中植株吸收的 ^{15}N 优先积累在根系中,N_2 处理中植株吸收的 ^{15}N 优先积累在叶片中。说明,N_2 处理更有利于各砧木地上部的生长发育。

2.4 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[13]。

^{15}N 主要分配在叶中,其次是根,茎中最少(表 5)。各品种叶、茎和根的分配率差异显著,且随着施氮量增加,不同砧木的变化趋势不同。N_1 处理中,^{15}N 在叶中的分配率为东北山荆子最高,八棱海棠最低；在茎中的分配率为八棱海棠最高,东北山荆子最低；在根中的分配率为八棱海棠最高,东北山荆子最低。在 N_2 处理中,^{15}N 在叶中的分配率为楸子最高,八棱海棠最低；在茎中的分配率为八棱海棠最高,楸子最低；在根中的分配率为东北山荆子最高,楸子最低(表 5)。

3 讨论

前人研究证明,植物的生长、氮素吸收利用等虽然受外界环境的影响,但主要是由基因型决定的[14-16]。本试验结果表明,5 个砧木品种的生物量、根系形态、氮肥利用均差异显著。平邑甜茶生物量最大,根系较为发达,氮素利用率处于中等水平；八棱海棠生物量和根系发育程度均属于中等水平,氮素利用率处于中等水平；楸子生物量较大,根系最发达,氮素利用率最大；新疆野苹果生物量和根系发育程度较小,氮肥利用率较高(仅次于楸子)；东北山荆子生物量、根系发育程度和利用率

表 1　不同砧木的生物量(g/plant)

Table 1　Biomass of different rootstocks

砧木 Rootstock	地上部干重 Dry weight of shoots			地下部干重 Dry weight of roots			总干重 Dry weight		
	CK	N_1	N_2	CK	N_1	N_2	CK	N_1	N_2
平邑甜茶 *M. hupehensis* Rehd.	22.62 ±0.50 a	26.12 ±0.26 b	32.01 ±0.35 b	9.80 ±0.47 a	10.45 ±0.24 a	12.23 ±0.34 a	32.42 ±0.45 a	36.57 ±0.36 b	44.25 ±0.08 b
八棱海棠 *M. micromalus* Makino	16.14 ±0.76 b	22.44 ±0.73 c	27.73 ±0.33 c	6.85 ±0.18 c	8.69 ±0.30 b	10.28 ±0.43 bc	22.99 ±0.62 b	31.13 ±0.44 c	38.02 ±0.10 c
楸子 *M. prunifolia*(Willd)Borkh.	23.78 ±0.05 a	30.92 ±0.80 a	34.86 ±0.89 a	8.56 ±0.23 b	11.07 ±0.19 a	11.32 ±0.65 ab	32.34 ±0.22 a	41.99 ±0.68 a	46.18 ±0.47 a
新疆野苹果 *M. sievesii*(Ledeb.) Roemer	15.29 ±0.07 b	21.92 ±0.15 c	26.07 ±0.89 c	5.99 ±0.52 cd	7.75 ±0.27 c	8.94 ±0.38 cd	21.28 ±0.50 c	29.75 ±0.34 d	35.01 ±0.53 d
东北山荆子 *M. baccata* Borkh.	7.99 ±0.56 c	9.75 ±0.20 d	12.46 ±0.48 d	5.24 ±0.12 d	6.16 ±0.30 d	7.51 ±0.48 d	13.23 ±0.45 d	15.91 ±0.25 e	19.96 ±0.13 e

注(Note)：同列数据后不同字母表示差异达 0.05 显著水平 Values followed by different letters in a column are significantly different at the 0.05 level.

表 2　不同砧木的根系形态指标

Table 2　Root architecture parameters of different rootstocks

砧木 Rootstock	总表面积 Root surface area(cm^2/plant)			总根长 Total root length(cm/plant)			根尖数 Root tip(No./plant)		
	CK	N_1	N_2	CK	N_1	N_2	CK	N_1	N_2
平邑甜茶 *M. hupehensis* Rehd.	558.24 ±41.45 ab	564.73 ±25.16 b	699.49 ±8.25 b	1993.37 ±30.48 bc	2216.55 ±37.24 c	2595.39 ±167.67bc	2536 ±288 ab	2620 ±95 b	3959 ±109 b
八棱海棠 *M. micromalus* Makino	459.94 ±25.73 bc	518.61 ±6.85 b	679.49 ±12.79 b	2508.25 ±101.26 ab	2588.51 ±56.55 b	3052.27 ±182.19ab	2351 ±157 b	2377 ±337 b	3777 ±351 bc
楸子 *M. prunifolia*(Willd)Borkh.	613.04 ±37.68 a	758.74 ±47.45 a	797.85 ±39.53 a	2955.93 ±163.83 a	3227.78 ±169.57 a	3585.22 ±288.56a	3287 ±94 a	3500 ±128 a	5406 ±142 a
新疆野苹果 *M. sievesii*(Ledeb.) Roemer	437.55 ±7.27 c	507.98 ±35.02 b	582.00 ±12.04 c	1717.08 ±255.38 c	2281.99 ±106.35 bc	2409.96 ±64.16c	2250 ±112 b	2614 ±146 b	3447 ±165 bc
东北山荆子 *M. baccata* Borkh.	428.50 ±42.32 c	453.91 ±64.51 b	556.32 ±12.45 c	2020.46 ±245.53 bc	2103.10 ±134.18 c	2770.84 ±114.21bc	2062 ±71 b	2274 ±201 b	3259 ±120 c

注(Note)：同列数据后不同字母表示差异达 0.05 显著水平 Values followed by different letters in a column are significantly different at the 0.05 level.

表3 不同砧木的^{15}N利用率(%)

Table 3 ^{15}N utilization rate of different rootstorks

砧木 Rootstock	N_1	N_2
平邑甜茶 *M. hupehensis* Rehd.	8.06 ±0.70c	6.52 ±0.38b
八棱海棠 *M. micromalus* Makino	6.77 ±0.01c	6.46 ±0.65b
楸子 *M. prunifolia* (Willd) Borkh.	12.93 ±0.18a	12.48 ±1.81a
新疆野苹果 *M. micromalus* (Ledeb.) Roemer	10.91 ±0.62b	6.99 ±0.68b
东北山荆子 *M. baccata* Borkh.	3.01 ±0.32d	3.35 ±0.53c

注(Note): 同列数据后不同字母表示差异达0.05 显著水平 Values followed by different letters in a column are significantly different at the 0.05 level.

均最小。这一结果也表明,不同砧木类型由基因型差异决定的养分利用效率差异显著。

进一步分析引起养分利用差异的原因可见,砧木对^{15}N的利用率与根系总表面积存在显著正相关关系。这主要是因为根系总表面积与根系交换吸附量密切相关,是根系被动吸收能力的反映,是营养吸收的重要根形态指标[17]。Lawlor 等[18]认为,在氮素供应不足的条件下,作物主要通过增加根系吸收面积来吸收更多的氮素。Mackay 等[19]发现氮素足量供应条件下,高产品种的根表面积较大。之所以根总表面积大的品种氮素利用率高,可能是因为根表面积大的品种扩大了根系与土壤的接触面积,增加了根系被动吸收能力,从而提高了氮的利用率[20]。根系是果树硝酸还原的主要部位,地上部

表4 不同砧木各器官的Ndff(%)

Table 4 The Ndff of different organs of different rootstocks

砧木 Rootstock	叶 Leaves		茎 Shoots		根 Roots	
	N_1	N_2	N_1	N_2	N_1	N_2
平邑甜茶 *M. hupehensis* Rehd.	4.60 ±0.30 b	7.49 ±0.03 bc	4.57 ±0.21 a	5.45 ±0.08 ab	5.41 ±0.01 a	6.35 ±0.14 a
八棱海棠 *M. micromalus* Makino	5.40 ±0.11 b	6.26 ±0.37 c	5.32 ±1.27 a	4.55 ±0.95 b	5.77 ±0.90 a	5.42 ±1.31 a
楸子 *M. micromalus* (Willd) Borkh.	6.98 ±0.32 a	8.83 ±0.05 ab	6.49 ±1.20 a	6.56 ±0.69 a	8.26 ±0.21 a	7.18 ±0.09 a
新疆野苹果 *M. micromalus* (Ledeb.) Roemer	6.89 ±0.16 a	7.60 ±0.64 bc	6.45 ±1.99 a	5.75 ±0.22 ab	7.54 ±2.34 a	6.12 ±0.23 a
东北山荆子 *M. baccata* Borkh.	5.37 ±0.34 b	9.82 ±0.67 a	4.90 ±0.79 a	7.27 ±0.75 a	5.76 ±0.82 a	7.64 ±1.73 a

注(Note): 同列数据后不同字母表示差异达0.05 显著水平 Values followed by different letters in a column are significantly different at the 0.05 level.

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 different rootstocks

砧木 Rootstock	叶 Leaves		茎 Shoots		根 Roots	
	N_1	N_2	N_1	N_2	N_1	N_2
平邑甜茶 *M. hupehensis* Rehd.	55.08 ±5.04 c	60.33 ±3.75 b	16.17 ±1.19 ab	12.69 ±1.80 b	28.75 ±3.88 a	26.98 ±1.94 a
八棱海棠 *M. micromalus* Makino	49.67 ±7.15 c	46.48 ±2.77 c	21.49 ±3.82 a	26.68 ±4.27 a	28.83 ±5.15 a	26.83 ±1.93 a
楸子 *M. prunifolia* (Willd) Borkh.	71.05 ±4.12 ab	77.69 ±3.67 a	10.04 ±2.01 bc	10.01 ±0.75 b	18.91 ±3.32 ab	12.30 ±3.23 b
新疆野苹果 *M. sievesii* (Ledeb.) Roemer	60.06 ±3.14 bc	64.72 ±0.67 b	17.45 ±3.77 ab	14.16 ±0.65 b	22.49 ±2.57 ab	21.13 ±0.59 ab
东北山荆子 *M. baccata* Borkh.	81.89 ±2.55 a	60.43 ±6.63 b	5.91 ±1.59 c	10.48 ±1.78 b	12.19 ±1.11 b	29.09 ±7.18 a

注(Note): 同列数据后不同字母表示差异达0.05 显著水平 Values followed by different letters in a column are significantly different at the 0.05 level.

碳水化合物能供应 NO_3^--N 还原所需的能量[21],因此地上部生物量大的品种具有相对较大的还原潜力,因此避免了根部 NO_3^--N 大量积累而抑制对氮的进一步吸收。

从各砧木生物量和 Ndff 来看,N_2 处理(即施纯氮 400 mg/kg)更有利于地上部的生长发育。Marschner 等[9]发现矿质养分中以氮素的供应对根系的生长、形态、以及根系在介质中的分布影响最为明显。本试验也证明,增加氮素供应促进了根系的生长,表现为 3 个根系形态指标(根总表面积、根系总长度、根尖数)均随施氮量的增加而增加。虽然东北山荆子对 ^{15}N 的利用率在 N_2 处理中提高了 11.47%,但仍处于最低水平。可见,基因是氮素利用率的决定因子。各品种的 ^{15}N 利用率随施氮量增加而增大,但是没有达到显著水平,而品种之间利用率差异显著。

参 考 文 献:

[1] 李文庆, 张民, 束怀瑞. 氮素在果树上的生理作用[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2002, 33(1): 96-100.
Li W Q, Zhang M, Su H R. The physiological effects of nitrogen on fruit trees[J]. Shandong Agric. Univ. (Nat. Sci.), 2002, 33(1): 96-100.

[2] 白茹, 李丙智, 张林森, 等. 陕西渭北苹果园土壤矿质氮累积与分布状况研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(4): 50-53.
Bai R, Li B Z, Zhang L S *et al*. Mineral N distribution and accumulation in apple orchards of Weibei areas in shaanxi province [J]. J. Northwest For. Univ., 2006, 21(4): 50-53.

[3] 王进鑫, 张晓鹏, 高保山, 王键. 渭北旱塬矮化富士苹果幼树 N, K 营养状况分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, (10): 20-24.
Wang J X, Zhang X P, Gao B S, Wang J. N and K nutrient status of dwarfing red Fuji apple young tree under different fertilizer and irrigation conditions [J]. J. Northwest Sci-Tech Univ. Agric. For., 2004, (10): 20-24.

[4] 李天忠, 张志宏. 现代果树生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2008, 130-133, 157-159.
Li T Z, Zhang Z H. Modern fruit biology[M]. Beijing: Science Press, 2008, 130-133, 157-159.

[5] 卢树昌. 我国集约化果园养分投入特征及其对土壤质量的影响[D]. 北京: 中国农业大学博士论文, 2009.
Lu S C. Characteristics of nutrient input and the influences on soil quality intensive orchards of China [D]. Beijing: PhD dissertation, China Agricultural University, 2009.

[6] Gouis J L, Beghinc D, Heumez E *et al*. Genetic difference for nitrogen uptake and nitrogen utilisation efficiencies in winter wheat [J]. Eur. J. Agron., 2000, 12: 163-173.

[7] 黄高宝, 张恩和, 胡觉恒. 不同玉米品种氮素营养效率差异的生态生理机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 293-297.
Huang G B, Zhang E H, Hu J H. Eco-physiological mechanism on nitrogen use efficiency difference of corn varieties [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2001, 7(3): 293-297.

[8] 陈新平, 周金池, 王兴仁, 张福锁. 冬小麦、夏玉米不同品种(系)之间的氮营养效率差异[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(1): 80-83.
Chen X P, Zhou J C, Wang X R, Zhang F S. Difference in nitrogen efficiency among different winter wheat and summer corn varieties[J]. China Agric. Univ., 2000, 5(1): 80-83.

[9] Marschner H, Kirkby E A, Cakmak I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassilates and cycling of mineral nutrients[J]. J. Exp. Bot., 1996, 47: 1255-1263.

[10] Zaharah A R, Hanafi M M. Upland rice root characteristics and their relationship to nitrogen uptake [J]. Pertanika J. Trop. Agric. Sci., 2009, 32(2): 261-266.

[11] 王艳, 米国华, 陈范骏, 等. 玉米氮素吸收的基因型差异及其与根系形态的相关性[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 297-302.
Wang Y, Mi G H, Chen F J *et al*. Genotypic differences in nitrogen uptake by maize inbred lines its relation to root morphology[J]. Acta Ecol. Sin., 2003, 23(2): 297-302.

[12] 顾曼如. ^{15}N 在苹果氮素营养研究中的应用[J]. 中国果树, 1990, (2): 46-48.
Gu M R. The application of ^{15}N in the study of nitrogen nutrition on apples[J]. China Fruits, 1990, (2): 46-48.

[13] 徐季娥, 林裕益, 吕瑞江, 等. 鸭梨秋施 ^{15}N-尿素的吸收与分配[J]. 园艺学报, 1993, 20(2): 145-149.
Xu J E, Lin Y Y, Lu R J *et al*. Studies on the absorption and the distribution of ^{15}N-labelled urea to 'Yali' pear trees following autumn application[J]. Acta Hort. Sin., 1993, 20(2): 145-149.

[14] 刘建安, 米国华, 陈范骏, 等. 玉米杂交种氮效率基因型差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(3): 276-281.
Liu J A, Mi G H, Chen F J *et al*. Genotype differences on nitrogen use efficiency among maize hybrids [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8(3): 276-281.

[15] 徐祥玉, 张敏敏, 翟丙年, 等. 夏玉米氮效率基因型差异研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 495-499.
Xu X Y, Zhang M M, Zhai B N *et al*. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in summer maize[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(4): 495-499.

[16] 春亮, 陈范骏, 张福锁, 米国华. 不同氮效率玉米杂交种的根系生长、氮素吸收与产量形成[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 615-619.
Chun L, Chen F J, Zhang F S, Mi G H. Root growth, nitrogen uptake and yield formation of hybrid maize with different N efficiency[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(5): 615-619.

[17] 乔海涛, 杨洪强, 申为宝, 等. 缺氮和缺铁对平邑甜茶幼苗根系构型的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(3): 321-326.

Qiao H T, Yang H Q, Shen W B *et al*. Effect of nitrogen-deficient and iron-deficient on root architecture of young seedings of *Malus hupehensis*(Pamp) Rehd[J]. Acta Hort. Sin., 2009, 36(3): 321-326.

[18] Lawlor D W. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production system[J]. J. Exp. Bot., 2002, 53: 773-787.

[19] Mackay A D, Barber S A. Effect of nitrogen on root growth of two corn genotypes in the field[J]. Agron. J., 1986, 77: 699-703.

[20] 王应祥, 廖红, 严小龙. 大豆适应低磷胁迫的机理初探[J]. 大豆科学, 2003, 22(3): 208-212.
Wang Y X, Liao H, Yan X L. Preliminary studies on the mechanisms of soybean in adaptation to low P stress[J]. Soyb. Sci., 2003, 22(3): 208-212.

[21] 李宪利, 高东升, 米瑞夫. 苹果植株硝酸还原酶(NR)研究初报[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 1997, 28(1): 1-4.
Li X L, Gao D S, Mi R F. Study on the nitrate reductase activity of apple trees in orchard[J]. Shandong Agric. Univ. (Nat. Sci.), 1997, 28(1): 1-4.

欢迎订阅2013年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版由农业部主管、中国农业科学院主办。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。设有作物遗传育种·种质资源·分子遗传学;耕作栽培·生理生化·农业信息技术;植物保护;土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境;园艺;贮藏·保鲜·加工;畜牧·资源昆虫;兽医;农业经济与管理等栏目。读者对象是国内外农业科研院(所)、农业大专院校的科研、教学及管理人员。

《中国农业科学》中文版为半月刊,影响因子、总被引频次连续多年居全国农业科技期刊最前列或前列位次。为北京大学图书馆1992—2011年连续6次遴选的核心期刊,位居《中文核心期刊要目总览》"农业综合类核心期刊表"的首位。1999年起连续10年获"国家自然科学基金重点学术期刊专项基金"资助;1999年获"首届国家期刊奖",2003、2005年获"第二、三届国家期刊奖提名奖";2002—2011年先后9次被中信所授予"百种中国杰出学术期刊"称号;2009年获中国期刊协会/中国出版科学研究院"新中国60年有影响力的期刊"称号;2010年荣获"第二届中国出版政府奖期刊提名奖"。

《中国农业科学》中文版大16开,每月1、16日出版,国内外公开发行。每期224页,定价49.50元,全年定价1188.00元。国内统一刊号CN11-1328/S,国际标准刊号ISSN 0578-1752,邮发代号2-138,国外代号BM43。

《中国农业科学》英文版(Agricultural Sciences in China),2002年创刊,月刊,2012年更名为《农业科学学报》(Journal of Integrative Agriculture, JIA)。2006年1月起与国际著名出版集团Elsevier合作,全文数据在ScienceDirect平台面向世界发行。2009年被SCI收录,2012年JCR影响因子为0.449。

JIA大16开,每月20日出版,国内外公开发行。每期160页,国内订价80.00元,全年960.00元。国内统一刊号CN 10-1039/S,国际标准刊号ISSN 2095-3119,邮发代号2-851,国外代号1591M。

《中国农业科学》中、英文版均可通过全国各地邮局订阅,也可向编辑部直接订购。

邮编:100081 地址:北京 中关村南大街12号《中国农业科学》编辑部

电话:010-82109808,82106280,82106281,82106282 传真:010-82106247

网址:www.ChinaAgriSci.com E-mail:zgnykx@mail.caas.net.cn

联系人:林鉴非