

# ‘嘎啦’苹果对一次和分次施入<sup>15</sup>N - 尿素的吸收、分配和利用

李红波, 姜远茂\*, 魏绍冲, 葛顺峰, 房祥吉

(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 8 年生‘嘎啦’苹果/平邑甜茶为试材, 研究了相同施氮量下其对一次和分次施<sup>15</sup>N - 尿素的吸收、分配与利用情况。结果表明: 一次性和分次施肥处理, 果实成熟期植株各器官从肥料中吸收分配到的<sup>15</sup>N 量对该器官全氮量的贡献率(Ndff)差异显著, 分次施肥处理各器官 Ndff 显著高于一次施肥处理。分次施肥处理, 新梢旺长期和果实膨大期果实和根系的 Ndff 均低于一次施肥处理, 但在果实成熟期均高于一次施肥处理。果实成熟期测定, 生殖器官分配率最高, 营养器官和贮藏器官均较低, 处理间差异不显著。分次施肥处理<sup>15</sup>N 利用率为 32.2%, 显著高于一次施肥处理(23.34%)。

**关键词:** 苹果; 一次和分次施肥; <sup>15</sup>N - 尿素; 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 (2011) 09-1727-06

## Effect of Once and Split Fertilization on Characteristics of Absorption, Distribution and Utilization of <sup>15</sup>N-urea for Gala/*Malus hupehensis*

LI Hong-bo, JIANG Yuan-mao\*, WEI Shao-chong, GE Shun-feng, and FANG Xiang-ji

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

**Abstract:** The characteristics of absorption, distribution and utilization of eight-year-old ‘Gala’ apple (*Malus domestica*/*Malus hupehensis*) under the treatment of once and split fertilization were studied. The results were as follows: At the fruit maturity stage, Ndff values in different organs were obviously different, and Ndff values of the organs were generally higher in split fertilization than once fertilization. However, the Ndff value of fruits and roots in split fertilization was lower than that of once fertilization at the new shoot growing stage and the fruit rapid-swelling stage. At the fruit maturity stage, the distribution ratio <sup>15</sup>N in reproductive organs was the highest, while vegetative and storage organs were in lower level, but there were no significantly difference between the two treatments. The ratio of <sup>15</sup>N utilization in split fertilization was 32.2%, which was obviously higher than that of once fertilization (23.34%) .

**Key words:** apple; once and split fertilization; <sup>15</sup>N-urea; absorption; distribution; utilization

收稿日期: 2010 - 12 - 20; 修回日期: 2011 - 09 - 04

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)

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

氮素对果实产量形成和品质提高具有重要意义 (Warner et al., 2004), 适量施用氮肥不仅能提高叶片的光合速率 (Dejong et al., 1999; 勾玲 等, 2000), 增加光合叶面积 (李文庆 等, 2002), 还能促进花芽分化, 提高坐果率 (Syarnal & Mishra, 1989; Khemira, 1991), 增加产量 (Vanangamudi et al., 1990; Saenz et al., 1997)。据统计, 果园纯氮施用量已高达  $400 \sim 600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 且呈逐年增加趋势 (高超 等, 2002; 彭福田和姜远茂, 2006)。氮肥的过量施用不仅使氮肥利用率 (NUE) 逐渐下降 (易镇邪 等, 2008), 而且导致果实生理性病害加重和污染环境等不良后果 (Weaver, 1993; 范可正, 2001), 因此, 研究提高氮肥利用率的技术不仅有利于苹果提质增效, 而且有利于保护环境。

在水稻、夏玉米等作物上的研究表明, 分次施肥较一次性施肥不仅可提高肥料利用率, 而且可增加产量和改善品质 (褚清河 等, 2008; 徐艳霞 等, 2009; 史沉鱼 等, 2010)。苹果氮素营养分为三个时期: 第一期从萌芽到新梢开始加速生长为大量需氮期, 第二期从新梢旺长期到果实采收前为氮素稳定供应期, 第三期从采收到养分回流为氮素营养贮备期 (顾曼如 等, 1981)。目前我国苹果春季一次性施肥较多, 为此, 利用  $^{15}\text{N}$  示踪技术研究了相同施氮量下一次和分次情况下施氮肥‘嘎啦’苹果对  $^{15}\text{N}$  的吸收、分配及利用特性, 以期为果园科学施用氮肥提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设计

试验于 2009 年在山东烟台市莱山镇官庄果园进行。试材为 8 年生‘嘎啦’苹果/平邑甜茶, 株行距为  $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 。土壤质地为沙质壤土, 有机碳  $8.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 硝态氮  $23.52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 铵态氮  $57.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $31.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $247.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

大田条件下选取生长势基本一致, 无病虫害的植株 6 株, 于 2009 年 3 月 14 日选 3 株一次性施  $^{15}\text{N}$ -尿素 15 g 和普通尿素 277.5 g; 另外 3 株分别于 3 月 14 日、5 月 24 日和 6 月 28 日分次施  $^{15}\text{N}$ -尿素, 每次每株施用  $^{15}\text{N}$ -尿素 5 g 和普通尿素 92.5 g。同时于 3 月 14 日对 6 株试验树一次性每株施入硫酸钾 266.46 g、磷酸氢二铵 150 g, 施肥后立即浇水。在新梢旺长期 (5 月 24 日) 和果实膨大期 (6 月 28 日) 采集果实和根系, 果实采集部位为外层和内膛的四个方向各一个, 共 8 个; 根系采集部位为树冠滴水线均匀选取 4 个点。于果实成熟期 (8 月 9 日) 进行整株采样, 单株为 1 次重复, 重复 3 次。

### 1.2 测定方法及计算公式

整株解析样品分为细根 ( $d \leq 0.2 \text{ cm}$ )、粗根 ( $d > 0.2 \text{ cm}$ )、中心干、多年生枝、二年生枝、中长梢 (长度  $\geq 20 \text{ cm}$ )、中长梢叶、短梢 (长度  $< 20 \text{ cm}$ )、短梢叶、果, 多年生枝与中心干分为木质部和皮部。样品按清水→洗涤剂→清水→1% 盐酸→3 次去离子水顺序冲洗后,  $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$  下杀青 30 min, 随后在  $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$  下烘干, 电磨粉碎后过 60 目筛, 混匀后装袋备用。

样品全氮用凯氏定氮法测定。 $^{15}\text{N}$  丰度用 ZHT-03 (北京分析仪器厂) 质谱计 (河北省农林科学院遗传生理研究所) 测定。Ndff 指植株器官从肥料中吸收分配到的  $^{15}\text{N}$  量对该器官全氮量的贡献率, 它反映了植株器官对肥料  $^{15}\text{N}$  的吸收征调能力 (顾曼如, 1990)。Ndff = (植物样品中  $^{15}\text{N}$  丰度 -  $^{15}\text{N}$  自然丰度) / (肥料中  $^{15}\text{N}$  丰度 -  $^{15}\text{N}$  自然丰度)  $\times 100$ ; 氮肥分配率/% = 各器官从氮肥中吸收的氮量 (g) / 总吸收氮量 (g)  $\times 100$ ; 氮肥利用率/% = [Ndff  $\times$  器官全氮量 (g)] / 施肥量 (g)  $\times 100$ 。数据采用 DPS 7.05 系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 分次施肥对果实成熟期各器官 Ndff 的影响

表 1 为不同施肥处理下果实成熟期植株各器官的 Ndff 值。除果实外，两个施肥处理间果实成熟期植株各器官 Ndff 值差异显著，分次施肥处理普遍高于一次性施肥处理，表明分次施肥使植株各器官对氮的吸收征调能力更强，促进了植株对 <sup>15</sup>N 的吸收。其中尤以细根差异最为显著，分次施肥比一次性施肥处理高 23.21%，这与第 3 次施肥恰遇苹果根系的发根高峰有关。

表 1 果实成熟期各器官的 Ndff  
Table 1 The Ndff of different organs in fruit maturity stage

器官 Organs	施肥方式 Fertilization modes	
	一次性施肥 Once fertilization	分次施肥 Split fertilization
果 Fruit	2.81 ± 0.15 a	3.22 ± 0.12 a
短梢 Short shoots	1.41 ± 0.06 b	1.82 ± 0.10 a
短梢叶 Leaves of short shoots	0.88 ± 0.02 b	1.09 ± 0.05 a
中长梢 Mid and long shoots	1.36 ± 0.02 b	1.69 ± 0.07 a
中长梢叶 Leaves of mid and long shoots	1.61 ± 0.03 b	1.87 ± 0.05 a
二年生枝 Biennial branches	0.72 ± 0.05 b	0.98 ± 0.02 a
多年生枝木质部 Xylem of perennial branches	0.66 ± 0.01 b	0.86 ± 0.01 a
多年生枝韧皮部 Cortex of perennial branches	0.55 ± 0.01 b	0.76 ± 0.02 a
中心干木质部 Xylem of trunk	0.65 ± 0.02 b	0.81 ± 0.01 a
中心干韧皮部 Cortex of trunk	0.65 ± 0.01 b	0.78 ± 0.01 a
粗根 Thick roots	0.73 ± 0.01 b	0.87 ± 0.01 a
细根 Fine roots	1.09 ± 0.04 b	1.43 ± 0.08 a

注：表中数据为 3 次重复的平均值 ± 标准误差；同行不同的小写字母表示差异达 5% 显著水平，下同。  
Note: Each value is the mean of three replication ± S.E. Different lowercase letters indicate significant at 5% levels, the same below.

2.2 分次施肥对生长季节不同时期根系和果实 Ndff 的影响

随生育期的进行，一次性施肥处理根系（细根 + 粗根）的 Ndff 值呈逐渐下降趋势，在新梢旺长期最高，为 1.88，到果实成熟期则降低了 61.17%（图 1）；而分次施肥处理根系的 Ndff 值逐渐升高，到果实成熟期比一次性施肥处理高 26.23%。

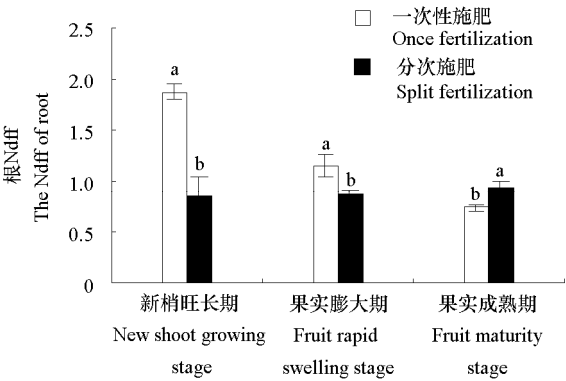


图 1 关键物候期植株根系的 Ndff  
Fig. 1 The Ndff of root during key phonological phase

从图 2 可以看出,随物候期的推移,两种施肥处理果实  $N_{dff}$  值均呈逐渐上升的趋势。一次性施肥处理,新梢旺长期和果实膨大期的果实  $N_{dff}$  值高于分次施肥处理;从果实膨大期到果实成熟期,分次施肥处理果实  $N_{dff}$  值增长更加显著,超过一次性施肥处理,达 3.22,比一次性施肥处理高 12.56%。

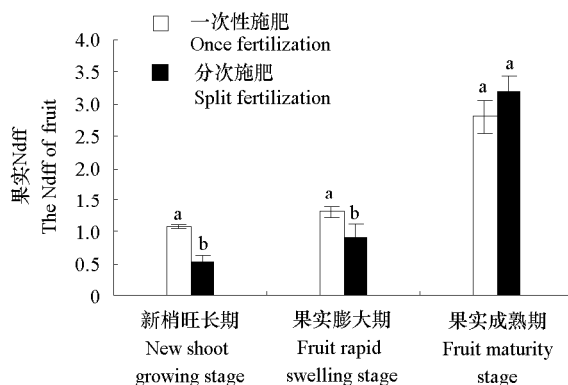


图 2 关键物候期植株果实的  $N_{dff}$   
Fig. 2 The  $N_{dff}$  of fruit during key phenological phase

### 2.3 分次施肥对果实成熟期各器官 $^{15}N$ 分配率的影响

从图 3 可以看出,果实成熟期,两个施肥处理均以生殖器官(果实)的  $^{15}N$  分配率最高,营养器官(包括中长梢、中长梢叶、短梢、短梢叶和细根)和贮藏器官(包括粗根、中心干木质部、中心干皮部、二年生枝、多年生木质部和多年生皮部)较低,表明此期生殖器官是生长中心,氮素主要供应果实生长发育的需要。 $^{15}N$  分配率两个处理间差异不显著,表明一次和分次施肥对  $^{15}N$  分配率影响很小。

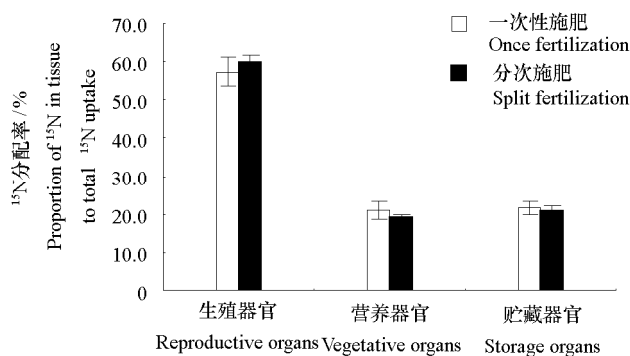


图 3 果实成熟期各器官的  $^{15}N$  分配率  
Fig. 3 Proportion of  $^{15}N$  to total  $^{15}N$  uptake in fruit maturity stage

### 2.4 分次施肥对果实成熟期 $^{15}N$ 利用率的影响

从表 2 可以看出,一次性施肥处理的植株吸收的  $^{15}N$  的量占植株总氮量的 1.49%,而分次施肥的占植株总氮量的 1.84%,分次施肥处理  $^{15}N$  利用率显著高于一次施肥处理,在果实成熟期高 37.96%,表明分次施肥能显著提高植株的氮肥利用率。

表 2 果实成熟期植株 <sup>15</sup>N 利用率  
Table 2 <sup>15</sup>N utilization rate in fruit maturity stage

施肥方式 Fertilization modes	植株总氮量/g Total N content of plant	吸收的 <sup>15</sup> N 量/g <sup>15</sup> N absorbed from <sup>15</sup> N-urea	<sup>15</sup> N 利用率/% <sup>15</sup> N-urea utilization rate
一次性施肥 Once fertilization	234.63 ± 18.17 a	3.50 ± 0.24 b	23.34 ± 1.59 b
分次施肥 Split fertilization	262.89 ± 15.28 a	4.83 ± 0.41 a	32.20 ± 2.72 a

3 讨论

前人研究表明，春季施氮肥可以促进新生器官的生长和发育（Mochizuki & Kamakura, 1971；顾曼如 等，1981；张进 等，2005），本试验结果也表明春季一次性施肥处理前期根系和幼果的 Ndff 值高于分次施肥处理，有利于对贮藏营养要求较高的苹果树体早春器官的建造，但如果施肥过多则易造成旺长，不利于开花和坐果。同时，分次施肥处理成熟期果实的 Ndff 值显著高于一次性施肥处理，后期施氮肥加强了果实作为生长中心对氮的竞争，有利于提高单果质量、防止叶片早衰，但发育后期施过量氮肥也会导致果实中钙含量降低引起硬度下降，树体旺长引起果实着色面积、花青苷、可溶性固形物显著下降，对品质产生不良影响（Sanchez et al., 1992；Warner et al., 2004；冯焕德 等，2008）。因此，早春氮肥的供应要因树的长势区别对待并且要适量。从果实采收期生殖器官、营养器官和贮藏器官的分配率来看，一次性施肥和分次施肥两个处理对氮素在各个器官的分配率影响不大。

本试验在相同供氮水平下，分次施肥处理的氮肥利用率显著高于一次性施肥处理，原因在于春季一次性施肥，不仅造成了养分供应与苹果树体氮素需求不同步，而且雨季随雨水淋溶损失严重，导致果树生育后期土壤有效氮供应不足（赵林 等，2009），致使叶片早衰，肥料利用率降低；而分次施肥处理，施肥时期与苹果树体生长发育对养分的需求时期相吻合，施入土壤的肥料能够快速高效的被根系吸收利用。因此，在土壤比较贫瘠的果园中，生产上应合理制定施肥次数，既能够满足树体不同生长发育阶段的需求，而且还能够尽量减少因灌溉和降雨等造成的地表径流和地下淋溶损失，提高氮肥利用效率。

References

Chu Qing-he, Pan Gen-xing, Li Jian-ying, Li Dian-you, Zhang Xu-hui. 2008. Effect of single or multiple N applications under different total N fertilization on rice yield in a paddy soil of North China. *Chinese Journal of Soil Science*, 39 (1): 82 - 86. (in Chinese)

褚清河, 潘根兴, 李健英, 李典友, 张旭辉. 2008. 不同施氮量下北方稻田一次与分次施氮对水稻产量的影响. *土壤通报*, 39 (1): 82 - 86.

Dejong T M, Day K R, Johnson R S. 1989. Partitioning of leaf nitrogen with respect to within canopy light exposure and nitrogen availability in peach. *Trees*, 3: 89 - 95.

Fan Ke-zheng. 2001. *China fertilizer manual*. Beijing: China National Chemical Information Center. (in Chinese)

范可正. 2001. *中国肥料手册*. 北京: 中国化工信息中心.

Feng Huan-de, Li Bing-zhi, Zhang Lin-sen, Jin Hui-cui, Li Huan-bo, Han Ming-yu. 2008. Influences of different rates of nitrogen on fruit quality, photosynthesis and element contents in leaves of Red Fuji apples. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 17 (1): 229 - 232. (in Chinese)

冯焕德, 李丙智, 张林森, 金会翠, 李焕波, 韩明玉. 2008. 不同施氮量对红富士苹果品质、光合作用和叶片元素含量的影响. *西北农业学报*, 17 (1): 229 - 232.

Gao Chao, Zhang Tao-lin, Sun Bo, Wu Wei-dong, Lu Ru-kun. 2002. Nitrogen management in Chinese agriculture since early 1980s: Status and problems. *Journal of Nanjing University: Natural Sciences*, 38 (5): 716 - 721. (in Chinese)

高 超, 张桃林, 孙 波, 吴蔚东, 鲁如坤. 2002. 1980 年以来我国农业氮素管理的现状与问题. *南京大学学报: 自然科学*, 38 (5): 716 - 721.

Gou Ling, Liu Ri-ming, Xiao Hua, Wei Chang-zhou. 2000. Effects of nitrogen rates on photosynthetic characteristics and yield of high-yielding

- cotton in Xinjiang. Journal of Shihezi University: Natural Science, 4 (1): 17 - 21. (in Chinese)
- 勾 玲, 刘日明, 肖 华, 危常州. 2000. 新疆甜菜群体光合特性及与产量关系的研究. 石河子大学学报: 自然科学版, 4 (1): 17 - 21.
- Gu Man-ru. 1990. Application of  $^{15}\text{N}$  on the nitrogen nutritional study in apple trees. China Fruits, (2): 46 - 48. (in Chinese)
- 顾曼如. 1990.  $^{15}\text{N}$  在苹果氮素营养研究中的应用. 中国果树, (2): 46 - 48.
- Gu Man-ru, Zhang Ruo-zhu, Shu Huai-rui, Li Wen-wen, Huang Hua-cheng. 1981. A study on the nitrogen nutrition of apple trees: The variation of nitrogen nutrition within the plant in a year's cycle. Acta Horticulturae Sinica, 8 (4): 21 - 28. (in Chinese)
- 顾曼如, 张若杼, 束怀瑞, 黎文文, 黄花成. 1981. 苹果氮素营养研究初报——植株中氮素营养的年周期变化特性. 园艺学报, 8 (4): 21 - 28.
- Khemira H. 1991. Influence of canopy orientation on fruiting of 'Anjou' pears and post harvest urea spray on ovule longevity and fruit set of 'Comice' pears. Master Dissertation. Corvallis, OR: Oregon State University.
- Li Wen-qing, Zhang Min, Shu Huai-rui. 2002. The physiological effects of nitrogen on fruit trees. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science, 33 (1): 96 - 100. (in Chinese)
- 李文庆, 张 民, 束怀瑞. 2002. 氮素在果树上的生理作用. 山东农业大学学报: 自然科学版, 33 (1): 96 - 100.
- Mochizuki T, Kamakura J. 1971. Studies on the nitrogen nutrition of apple trees. II. The relationships between the time of nitrogen and its distribution among the parts of fruit bearing trees. Bull Fac Agr Hirosaki Univ, 17: 102 - 109.
- Peng Fu-tian, Jiang Yuan-mao. 2006. Characteristics of N, P, and K nutrition in different yield level apple orchards. Scientia Agricultura Sinica, 39 (2): 361 - 367. (in Chinese)
- 彭福田, 姜远茂. 2006. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究. 中国农业科学, 39 (2): 361 - 367.
- Saenz J L, Dejong T M, Weinbaum S A. 1997. Nitrogen stimulated increases in peach yield are associated with extended fruit development period and increased fruit sink capacity. Journal of the American Society for Horticultural Science, 122 (6): 772 - 777.
- Sanchez E E, Righetti T L, Sugar D. 1992. Effects of timing of nitrogen application on nitrogen partitioning between vegetative, reproductive, and structural components of mature 'Comice' pears. Horticultural Science, 67: 51 - 58.
- Shi Chen-yu, Li Xiang-min, Li Xiao-dong, Zhang Rong. 2010. Two fertilizer treatments on the aroma components in Fuji apples. Northern Horticulture, (3): 1 - 3. (in Chinese)
- 史沉鱼, 李向民, 李晓东, 张 蓉. 2010. 两种施肥处理对红富士苹果香气成分的影响. 北方园艺, (3): 1 - 3.
- Syarnal M M, Mishra K A. 1989. Effect of NPK on growth, flowering, fruiting and quality of mango. Acta Horticulturae, 23: 276 - 281.
- Vanangamudi K, Subramanian K S, Baskaran M. 1990. Influence of irrigation and nitrogen on the yield and quality of chilli fruit and seed. Seed Research, 18 (2): 114 - 116.
- Warner J, Zhang T Q, Hao X. 2004. Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. Can J Plant Sci, 84: 865 - 871.
- Weaver M A L. 1993. Changing farm practice to meet environmental objectives of nutrient loss to Oyster Harbour. Fertilizer Research, 36: 177 - 184.
- Xu Yan-xia, Wei Zhan-bin, Wang Tian-liang. 2009. Effect of different fertilization methods on growth and grain yield of summer maize. Anhui Agricultural Science Bulletin, 15 (18): 54 - 55. (in Chinese)
- 徐艳霞, 魏占彬, 王天亮. 2009. 不同施肥方式对夏玉米生长发育及产量的影响. 安徽农学通报, 15 (18): 54 - 55.
- Yi Zhen-xie, Wang Pu, Chen Ping-ping, Tu Nai-mei. 2008. Effect of different types of nitrogen fertilizer on nitrogen absorption and utilization of summer maize (*Zea mays* L.). Plant Nutrition and Fertilizer Science, (3): 472 - 478. (in Chinese)
- 易镇邪, 王 璞, 陈平平, 屠乃美. 2008. 氮肥类型对夏玉米氮素吸收和利用的影响. 植物营养与肥料学报, (3): 472 - 478.
- Zhang Jin, Jiang Yuan-mao, Shu Huai-rui, Zhao Deng-chao, Zhang Xu, Liu Wen-e, Wu Liang-huan. 2005. Characteristics of absorption, distribution and utilization of 'Zhanhua Dongzao' jujube to  $^{15}\text{N}$  in different fertilizer application stages. Acta Horticulturae Sinica, 32 (2): 288 - 291. (in Chinese)
- 张 进, 姜远茂, 束怀瑞, 赵登超, 张 序, 刘文娥, 吴良欢. 2005. 不同施肥期沾化冬枣对  $^{15}\text{N}$  的吸收、分配及利用特性. 园艺学报, 32 (2): 288 - 291.
- Zhao Lin, Jiang Yuan-mao, Peng Fu-tian, Zhang Xu, Fang Xiang-ji, Li Hong-bo. 2009. Studies on utilization and accumulation dynamics of spring soil  $^{15}\text{N}$ -urea application in apple orchard. Acta Horticulturae Sinica, 36 (12): 1805 - 1809. (in Chinese)
- 赵 林, 姜远茂, 彭福田, 张 序, 房祥吉, 李洪波. 2009. 苹果园春季土施尿素的利用及其在土壤中的累积. 园艺学报, 36 (12): 1805 - 1809.