

# 不同砧木嫁接的富士苹果幼树 $^{13}\text{C}$ 和 $^{15}\text{N}$ 分配利用特性比较

王海宁, 葛顺峰, 姜远茂\*, 魏绍冲, 陈倩, 孙聪伟

(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 5 个砧木(平邑甜茶、八棱海棠、楸子、新疆野苹果、东北山荆子)与富士苹果嫁接组合的 2 年生幼树为试材, 采用盆栽方法和碳氮双标记示踪技术, 研究了 5 个组合的生长特性及其对氮素的吸收、分配、利用特性和光合产物分配状况。结果表明: 富士/平邑甜茶组合生长量最大、富士/东北山荆子组合生长量最小。富士/平邑甜茶组合对  $^{15}\text{N}$  的利用率最高, 富士/楸子组合最低。 $^{15}\text{N}$  和  $^{13}\text{C}$  均主要分配在叶中, 其次是 1 年生茎, 最少的为 2 年生茎; 富士/东北山荆子组合叶中的  $^{15}\text{N}$  和  $^{13}\text{C}$  分配率最高, 富士/平邑甜茶组合根中的  $^{15}\text{N}$  和  $^{13}\text{C}$  分配率最高。从碳氮营养角度来看, 富士苹果以平邑甜茶作砧木最好。

**关键词:** 苹果; 砧木;  $^{13}\text{C}$ ;  $^{15}\text{N}$ ; 分配; 利用

**中图分类号:** S 661.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2013) 04-0733-06

## Effects of Different Rootstocks on Distribution and Utilization of $^{13}\text{C}$ and $^{15}\text{N}$ of *Malus × domestica* Borkh. ‘Red Fuji’

WANG Hai-ning, GE Shun-feng, JIANG Yuan-mao\*, WEI Shao-chong, CHEN Qian, and SUN Cong-wei

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

**Abstract:** Five types of two-year-old apple rootstock-scion combinations [scion: *Malus × domestica* Borkh. ‘Red Fuji’; rootstocks: *M. hupehensis* (Pamp.) Rehd. var. *pinyiensis*, *M. micromalus* Makino, *M. prunifolia* (Willd) Borkh., *M. sievesii* (Ledeb.) Roemer, *M. baccata* Borkh., respectively] were used to study the growth and the characteristics of distribution and utilization of  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$ . The results were as follows: The biomass of ‘Red Fuji’ / *M. hupehensis* Rehd. was the largest, while that of *M. domestica* Borkh. ‘Red Fuji’ / *M. baccata* Borkh. was the least. The  $^{15}\text{N}$  utilization ratio of ‘Red Fuji’ / *M. hupehensis* Rehd. was the largest, while ‘Red Fuji’ / *M. prunifolia* (Willd) Borkh. was the least. The  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  distribution ratio of leaves was the highest, while annual stems was less than leaves, and the biennial stems was the least. The  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  distribution ratio in leaves of ‘Red Fuji’ / *M. baccata* Borkh. were the largest, while those in the roots of ‘Red Fuji’ / *M. hupehensis* Rehd. were the largest. Therefore, ‘Red Fuji’ / *M. hupehensis* Rehd. was the best considering with carbon and nitrogen nutrition.

**收稿日期:** 2012-09-19; **修回日期:** 2013-03-25

**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 (水果) 专项

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

**Key words:** apple; rootstock;  $^{13}\text{C}$ ;  $^{15}\text{N}$ ; distribution; utilization

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, 砧木的不同造成了根系营养物质吸收及营养物质向地上部运输的速率和程度有很大的差异, 同时叶片光合产物向根系运输的速率与多少也有很大的不同, 从而导致树体生长发生相应的变化(李天忠和张志宏, 2008)。中国苹果产区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)。

以往有关于苹果砧木的研究主要集中在砧木的抗逆性、适应性和生长及结果特性, 从营养吸收和利用的角度进行研究较少。因此, 本研究中选择 5 种生产上常用的砧木与富士的组合, 利用  $^{15}\text{N}$  和  $^{13}\text{C}$  示踪技术研究了其对氮素吸收、分配、利用特性以及光合产物的分配状况, 旨在从营养吸收利用角度筛选高产高效的砧木, 提高肥料利用效率, 减少肥料用量(姜远茂等, 2002)。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与处理设计

试验材料为 2 年生不同种类砧木上嫁接的富士 (*Malus × domestica* Borkh. ‘Red Fuji’) 苹果幼树。盆栽基质为黏质壤土, 含有机质  $11.72 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 碱解氮  $86.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $35.94 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $168.99 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH 6.7。供试的砧木种类为平邑甜茶 [*M. hupehensis* (Pamp.) Rehd. var. *pinyiensis*]、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.)。

试验于 2011 年在山东农业大学园艺试验站进行。采用随机区组试验设计, 单株小区, 3 次重复。5 种砧木富士组合各取 6 株, 分为 2 组, 每组 3 株。第 1 组: 于 2011 年 5 月 15 日进行  $^{15}\text{N}$  标记处理, 每株施入  $\text{Ca}(^{15}\text{NO}_3)_2$   $2.5 \text{ g}$  ( $^{15}\text{N}$  丰度为 5.17%, 上海化工研究院生产), 同时每株另施入硝酸钙  $10.00 \text{ g}$ , 硫酸钾  $4.20 \text{ g}$ , 过磷酸钙  $11.40 \text{ g}$ , 9 月 18 日进行  $^{13}\text{C}$  脉冲标记。第 2 组: 每株均施入普通  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$   $12.50 \text{ g}$ , 硫酸钾  $4.20 \text{ g}$ , 过磷酸钙  $11.40 \text{ g}$ , 作为对照。各处理生长条件和栽培管理均保持一致。

$^{13}\text{C}$  脉冲标记在一个由透明农用地膜做成的标记室内进行(Lu et al., 2002), 标记前先检查标记室的密封性(何敏毅等, 2008)。然后将风扇、苹果植株、还原铁粉和  $^{13}\text{C}$  丰度 ( $^{13}\text{C}$  在全部碳元素中所占比例) 为 98% 的  $\text{Ba}^{13}\text{CO}_3$   $0.6 \text{ g}$  放入标记室内, 将整个标记室密封。于上午 9:00 开始标记, 先用注射器向装有  $\text{Ba}^{13}\text{CO}_3$  的烧杯中注入一定量  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 HCl 溶液, 开动风扇, 标记开始。此后每隔 0.5 h, 向烧杯中注入 1 次盐酸, 以维持  $\text{CO}_2$  浓度。标记时间持续 4 h。标记结束后, 把苹果植株放置于远离其他未标记植株处, 以防呼吸产生的  $^{13}\text{CO}_2$  对其它植株污染。标记时, 另外 3 株对照作为空白 ( $^{13}\text{C}$  自然丰度)。

于 2011 年 9 月 21 日对所有植株进行破坏性采样。植株解析为根、1 年生茎、2 年生茎和叶等 4 部分, 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  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  下烘干至恒重, 粉碎后过  $0.25 \text{ mm}$  筛, 混匀后装袋备用(葛顺峰等, 2011)。

### 1.2 测定指标与测定方法

$^{13}\text{C}$  丰度用 DELTA<sup>plus</sup>XP 型质谱仪测定,  $^{15}\text{N}$  丰度用 ZHT-03 (北京分析仪器厂) 质谱仪测定, 全 N 用凯氏定氮法测定, 各器官干样质量用千分之一电子天平称量。

(1) <sup>13</sup>C 丰度:  $F_i(\%) = (\delta^{13}\text{C} + 1\,000) \times R_{\text{PBD}} / [(\delta^{13}\text{C} + 1\,000) \times R_{\text{PBD}} + 1\,000] \times 100$ ,  $R_{\text{PBD}}$  (碳同位素的标准比值) = 0.0112372。

(2) 进入各组分的 <sup>13</sup>C 量:  $^{13}\text{C}_i(\text{mg}) = C_i \times (F_i - F_{nl}) / 100 \times 1\,000$ , 式中  $C_i$  为各组分所含的碳量 (g);  $nl$  表示未标记。

(3) <sup>13</sup>C 在各器官的分配率:  $^{13}\text{C}_i(\%) = ^{13}\text{C}_i / ^{13}\text{C}_{\text{净吸收}} \times 100$  (Lu et al., 2003)。

(4) 氮肥利用率 (%) =  $[\text{Ndff} \times \text{器官全氮量}(\text{g})] / \text{施氮量}(\text{g}) \times 100$ , 式中  $\text{Ndff}(\%) = \text{植物样品中 } ^{15}\text{N} \text{ 原子百分超}(\%) / \text{肥料中 } ^{15}\text{N} \text{ 原子百分超}(\%) \times 100$ ; 原子百分超 (%) = 样品中 <sup>15</sup>N 丰度 (%) - 自然丰度 (%)。

(5) 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 (王海宁, 2012)。

用 Microsoft Excel 2003 和 SAS 9.0 进行数据处理及统计分析, 用 One-way ANOVA 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同砧木嫁接苹果幼树的相对生长量

由表 1 可见, 从开始标记 (5 月 15 日) 到标记完成 (9 月 21 日), 不同砧木嫁接富士苹果幼树试验期间的相对生长量存在显著差异。其中富士/平邑甜茶幼树叶、1 年生茎、2 年生茎、根系干样质量和总量的相对生长量均最高; 除叶以外, 富士/东北山荆子各部分的相对生长量均最低; 富士/新疆野苹果的叶相对生长量最低, 为 6.54 g。由表 1 还可看出, 不同砧木间各器官相对生长量的差异以根最为明显, 富士/平邑甜茶的根系相对生长量最大, 为 20.92 g; 富士/新疆野苹果次之, 仅为 7.68 g; 富士/东北山荆子最小, 为 2.99 g, 富士/平邑甜茶分别是其它嫁接苹果幼树的 2.72 ~ 7.00 倍。

表 1 不同苹果砧木嫁接富士幼树的相对生长量 (干样质量)  
Table 1 Increased biomass of rootstock-scion combinations (Dry matter) /g

嫁接幼树 Rootstock-scion combination	叶 Leaf	1 年生茎 Annual stem	2 年生茎 Biennial stem	根 Root	总干样质量 Total
富士/平邑甜茶 'Red Fuji' / <i>M. hupehensis</i>	11.10 ± 1.44 a	13.15 ± 1.42 a	7.95 ± 0.87 a	20.92 ± 2.02 a	53.12 ± 1.71 a
富士/八棱海棠 'Red Fuji' / <i>M. micromalus</i>	7.19 ± 0.81 b	8.54 ± 1.06 b	6.02 ± 0.25 b	5.86 ± 0.56 bc	27.60 ± 2.18 b
富士/楸子 'Red Fuji' / <i>M. prunifolia</i>	7.40 ± 0.06 b	7.39 ± 0.33 b	2.30 ± 0.19 c	3.66 ± 0.31 c	20.74 ± 0.89 c
富士/新疆野苹果 'Red Fuji' / <i>M. sievesii</i>	6.54 ± 0.11 b	7.29 ± 1.29 b	7.80 ± 0.74 a	7.68 ± 0.92 b	29.31 ± 3.07 b
富士/东北山荆子 'Red Fuji' / <i>M. baccata</i>	7.27 ± 0.88 b	7.04 ± 0.10 b	1.48 ± 0.04 c	2.99 ± 0.38 c	18.78 ± 0.64 c

注: 同一列小写字母表示差异显著水平为 0.05。下同。  
Note: Values followed by a capital within the same column are significantly different at 0.05 level. The same below.

2.2 不同砧木对嫁接苹果幼树 <sup>15</sup>N 利用和分配的影响

由表 2 可知, 富士/平邑甜茶组合对 <sup>15</sup>N 的利用率最高为 1.96%, 富士/楸子最低为 1.04%。富士/平邑甜茶对 <sup>15</sup>N 的利用率分别为富士/八棱海棠、富士/楸子、富士/新疆野苹果和富士/东北山荆子的 1.61、1.88、1.42 和 1.05 倍。

不同嫁接组合苹果幼树, 树体吸收的 <sup>15</sup>N 在各器官间呈现相同的分配规律: 叶中最多 (43.57% ~

58.49%)，其次是1年生茎(23.33%~30.00%)，再次是根(8.56%~21.40%)，2年生茎(3.32%~10.77%)最少。

同一器官不同砧木嫁接幼树间 <sup>15</sup>N 分配率存在差异。叶中的分配率以富士/东北山荆子最高(58.49%)，富士/新疆野苹果最低(43.57%)；1年生茎中以富士/八棱海棠最高(30.00%)，富士/楸子最低(23.33%)；2年生茎中以富士/新疆野苹果最高(10.77%)，富士/东北山荆子最低(3.32%)；根中以富士/平邑甜茶最高(21.40%)，富士/东北山荆子最低(8.56%)。

表 2 不同砧木嫁接富士苹果幼树各器官的 <sup>15</sup>N 利用率和分配率

Table 2 <sup>15</sup>N utilization and distribution ratio of leaves, annual stems, biennial stems and roots of rootstock-scion combinations /%

嫁接幼树 Rootstock-scion combination	<sup>15</sup> N 利用率 <sup>15</sup> N utilization rate	<sup>15</sup> N 分配率 <sup>15</sup> N distribution ratio			
		叶 Leaf	1 年生茎 Annual stem	2 年生茎 Biennial stem	根 Root
富士/平邑甜茶 ‘Red Fuji’ / <i>M. hupehensis</i>	1.96 ± 0.20 a	45.10 ± 1.44 b	26.91 ± 1.57 a	6.58 ± 2.15 ab	21.40 ± 4.43 a
富士/八棱海棠 ‘Red Fuji’ / <i>M. micromalus</i>	1.22 ± 0.02 b	50.73 ± 0.64 ab	30.00 ± 4.14 a	5.62 ± 1.07 ab	13.65 ± 2.34 ab
富士/楸子 ‘Red Fuji’ / <i>M. prunifolia</i>	1.04 ± 0.05 b	55.02 ± 6.51 ab	23.33 ± 1.13 a	7.72 ± 2.06 ab	13.94 ± 1.39 ab
富士/新疆野苹果 ‘Red Fuji’ / <i>M. sievesii</i>	1.38 ± 0.01 ab	43.57 ± 2.12 b	26.39 ± 3.35 a	10.77 ± 2.61 a	19.28 ± 3.04 a
富士/东北山荆子 ‘Red Fuji’ / <i>M. baccata</i>	1.86 ± 0.39 a	58.49 ± 5.89 a	29.63 ± 1.02 a	3.32 ± 0.75 b	8.56 ± 2.57 b

2.3 不同砧木对嫁接苹果幼树各器官 <sup>13</sup>C 分配率的影响

由表 3 可见，不同砧木幼树 <sup>13</sup>C 在器官间的分配规律一致：叶(35.07%~47.18%)最高，其次是1年生茎(33.30%~38.37%)，再次是根(14.29%~25.51%)，2年生茎(1.74%~7.25%)最低。

同一器官不同砧木嫁接的幼树间 <sup>13</sup>C 的分配率存在不同。其中，<sup>13</sup>C 在叶中的分配率表现为富士/东北山荆子 > 富士/八棱海棠 > 富士/楸子 > 富士/新疆野苹果 > 富士/平邑甜茶，富士/东北山荆子比富士/平邑甜茶高 12.11%；在根中，富士/平邑甜茶最高，富士/东北山荆子和富士/八棱海棠较低，富士/平邑甜茶比富士/东北山荆子高 10.62%，比富士/八棱海棠高 11.22%；2年生茎中 <sup>13</sup>C 分配率均处于较低水平，富士/新疆野苹果最高，为 7.25%，富士/东北山荆子最低，为 1.74%。不同砧木嫁接的幼树 1 年生茎中的 <sup>13</sup>C 分配率没有表现出显著差异。

表 3 不同砧木嫁接富士苹果幼树各器官的 <sup>13</sup>C 分配率

Table 3 <sup>13</sup>C distribution ratio of leaves, annual stems, biennial stems and roots of rootstock-scion combinations /%

嫁接幼树 Rootstock-scion combination	<sup>13</sup> C 分配率 <sup>13</sup> C distribution ratio			
	叶 Leaf	1 年生茎 Annual stem	2 年生茎 Biennial stem	根 Root
富士/平邑甜茶 ‘Red Fuji’ / <i>M. hupehensis</i>	35.07 ± 1.93 b	34.37 ± 2.89 a	5.06 ± 0.15 ab	25.51 ± 4.97 a
富士/八棱海棠 ‘Red Fuji’ / <i>M. micromalus</i>	44.63 ± 0.34 a	34.03 ± 2.18 a	7.05 ± 1.79 a	14.29 ± 0.72 b
富士/楸子 ‘Red Fuji’ / <i>M. prunifolia</i>	41.97 ± 2.01 ab	38.37 ± 5.64 a	3.56 ± 0.54 bc	16.09 ± 3.09 b
富士/新疆野苹果 ‘Red Fuji’ / <i>M. sievesii</i>	39.48 ± 4.32 ab	33.30 ± 4.46 a	7.25 ± 0.62 a	19.97 ± 0.49 ab
富士/东北山荆子 ‘Red Fuji’ / <i>M. baccata</i>	47.18 ± 2.42 a	36.18 ± 0.44 a	1.74 ± 0.18 c	14.89 ± 2.16 b

3 讨论

苹果嫁接苗砧木和接穗相互影响，砧木通过根系吸收和合成来影响接穗，而接穗通过叶片的合

成来影响砧木, 构成了既协调又矛盾的关系(王树声 等, 2008)。常君等(2007)研究证明, 砧木对果树生理活动起着主导作用。试验期间, 不同砧木嫁接的富士幼树的相对生长量的大小与根系相对生长量相一致, 富士/平邑甜茶幼树和根系的相对生长量最高, 富士/东北山荆子最低。不同砧木根系吸收利用养分和水分的能力不同, 因此对地上部接穗的影响不同。Webster(1995)研究表明不同的砧木对树体活力、结果习性等具有决定性作用。本研究中, 接穗相同, 不同砧木幼树的生理差异是由砧木类型主导的。

不同根系吸收无机营养的能力不同, 可能是砧木对接穗生长影响的作用因素。本试验中, 砧木幼树的  $^{15}\text{N}$  利用率以富士/平邑甜茶最高, 说明平邑甜茶根系吸收利用氮素能力强, 主要是由于它具有较庞大的根系, 吸收根多且吸收面积大, 这与作者之前的研究(王海宁 等, 2012)一致。所有材料的  $^{15}\text{N}$  利用率均较低, 这与本试验期间降雨量较多, 大部分氮肥通过淋溶及地面径流等途径损失有关。不同砧木苹果幼树, 树体吸收的  $^{15}\text{N}$  在各器官间的分配规律相同, 但同一器官不同砧木苹果幼树间  $^{15}\text{N}$  分配率存在差异, 表明树体吸收的肥料氮在树体各器官间的迁移规律不同(徐季娥 等, 1993), 同时也说明砧木直接影响了接穗的生长。 $^{15}\text{N}$  分配率的差异以根中最为明显, 富士/平邑甜茶组合根中的  $^{15}\text{N}$  分配率最高, 说明其对氮的征调能力最强, 反过来根系获得的氮素多也促进了根系的发育, 有利于吸收更多的氮素, 因此富士/平邑甜茶幼树的生长量最大。

不同砧木间根系吸收营养物质及营养物质向地上部运输的速率和程度差异较大, 同时叶片光合产物向根系运输的速率与数量各异, 从而导致树体生长发育发生相应的变化(李天忠和张志宏, 2008; 王海宁 等, 2012)。光合产物在树体内的运输、分配情况是影响果树优质、丰产、稳产的重要因素(束怀瑞, 1999)。本研究中, 不同砧木嫁接的苹果幼树  $^{13}\text{C}$  在器官间的分配规律一致, 但同一器官不同砧木嫁接的苹果幼树间  $^{13}\text{C}$  的分配率不同。从根中的  $^{13}\text{C}$  分配率来看, 叶片制造的光合产物向根输入能力为富士/平邑甜茶 > 富士/新疆野苹果 > 富士/楸子 > 富士/东北山荆子 > 富士/八棱海棠, 这与不同砧木嫁接的幼树根系生长量的顺序基本一致, 表明地上部与地下部相互交换能力越强, 树体长势越好, 这与王磊等(2010)在苹果上所做的拉枝试验结果一致。

通过  $^{15}\text{N}$  和  $^{13}\text{C}$  双标记试验可见, 富士/平邑甜茶根中的  $^{15}\text{N}$  利用率, 以及  $^{15}\text{N}$  和  $^{13}\text{C}$  分配率均为最高, 根系和树体的相对生长量最大, 表明富士/平邑甜茶地上部与地下部相互交换能力强, 叶片制造的光合产物更多的向下运输至根系, 为根系的生长发育提供了物质基础, 有利于根系的生长和氮素的吸收, 根系吸收氮素后为地上部营养生长提供养分支持, 因而促进了树体的生长发育(李燕婷 等, 2001; 春亮 等, 2005)。如果光合同化物质下运较缓慢, 滞留在地上部较多, 就会改变地上部碳水化合物与含氮物质间的比例, 加大碳氮比, 抑制地上部的营养生长; 同时不能保证有大量碳素营养物质及时地往根系输送, 就会抑制根系的生长和吸收, 反过来根系又抑制地上部的营养生长。果树嫁接后地上部与地下部相互交换能力的强弱与输导组织和嫁接部位的解剖构造有关(李天忠和张志宏, 2008), 不同砧木嫁接的苹果幼树间的差异具体由哪种因素引起需进一步研究。

本试验砧木中, 富士/平邑甜茶各器官的相对生物量最大(以根最为显著); 对氮素利用率最高(根中的  $^{15}\text{N}$  和  $^{13}\text{C}$  分配率均为最高); 地上部与地下部相互交换能力最强。因此, 从树体碳氮营养方面来看, 幼苗期富士苹果以平邑甜茶作砧木最好。

## References

- Chang Jun, Yao Xiao-hua, Yang Shui-ping, Wang Kai-liang. 2007. Effects of different cions on root growth of pecan (*Carya illinoensis*). Journal of Southwest University, 29 (10): 104 - 108. (in Chinese)
- 常 君, 姚小华, 杨水平, 王开良. 2007. 美国山核桃不同品种接穗对嫁接苗木根系生长发育影响的研究. 西南大学学报, 29 (10): 104 - 108.

- Chun Liang, Chen Fan-jun, Zhang Fu-suo, Mi Guo-hua. 2005. Root growth, nitrogen uptake and yield formation of hybrid maize with different N efficiency. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 11 (5): 615 – 619. (in Chinese)
- 春 亮, 陈范骏, 张福锁, 米国华. 2005. 不同氮效率玉米杂交种的根系生长、氮素吸收与产量形成. *植物营养与肥料学报*, 11 (5): 615 – 619.
- Ge Shun-feng, Jiang Yuan-mao, Wei Shao-chong, Fang Xiang-ji. 2011. Nitrogen balance under different nitrogen application rates in young apple orchards. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 17 (4): 950 – 956. (in Chinese)
- 葛顺峰, 姜远茂, 魏绍冲, 房祥吉. 2011. 不同供氮水平下幼龄苹果园氮素去向研究. *植物营养与肥料学报*, 17 (4): 950 – 956.
- He Min-yi, Meng Fan-qiao, Shi Ya-juan, Wu Wen-liang. 2008. Estimating photosynthesized carbon distribution and inputs into below ground in a maize soil following  $^{13}\text{C}$  pulse-labeling. *Environmental Science*, (2): 446 – 453. (in Chinese)
- 何敏毅, 孟凡乔, 史雅娟, 吴文良. 2008. 用  $^{13}\text{C}$  脉冲标记法研究玉米光合碳分配及其向地下的输入. *环境科学*, (2): 446 – 453.
- Jiang Yuan-mao, Peng Fu-tian, Ju Xiao-tang. 2002. New technology of fruit tree fertilization. Beijing: China Agriculture Press: 24 – 31. (in Chinese)
- 姜远茂, 彭福田, 巨晓棠. 2002. 果树施肥新技术. 北京: 中国农业出版社: 24 – 31.
- 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 Yan-ting, Mi Guo-hua, Chen Fan-jun, Lao Xiu-rong, Zhang Fu-suo. 2001. Genotypic difference of nitrogen recycling between root and shoot of maize seedlings. *Acta Phytophysiological Sinica*, 27 (3): 226 – 230. (in Chinese)
- 李燕婷, 米国华, 陈范骏, 劳秀荣, 张福锁. 2001. 玉米幼苗地上部根/间氮的循环及其基因型差异. *植物生理学报*, 27 (3): 226 – 230.
- Lu Y H, Watanabe A, Kimura M. 2002. Input and distribution of photosynthesized carbon in a flooded soil. *Global Biogeochem Cycles*, 16: 321 – 328.
- Lu Y H, Watanabe A, Kimura M. 2003. Carbon dynamics of rhizodeposits, root- and shoot-residues in a rice soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 35: 1223 – 1230.
- Lu Shu-chang. 2009. Characteristics of nutrient input and the influences on soil quality intensive orchards of China [Ph. D. Dissertation]. Beijing: China 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 [博士论文]. 北京: 中国农业大学.
- Shu Huai-rui. 1999. Apple science. Beijing: China Agriculture Press: 428 – 430. (in Chinese)
- 束怀瑞. 1999. 果树学. 北京: 中国农业出版社: 428 – 430.
- Wang Hai-ning, Ge Shun-feng, Jiang Yuan-mao, Wei Shao-chong, Peng Fu-tian, Chen Qian. 2012. Growth characteristics and absorption, distribution and utilization of  $^{15}\text{NO}_3^- - \text{N}$  and  $^{15}\text{NH}_4^+ - \text{N}$  application for five apple rootstocks. *Acta Horticulturae Sinica*, 39 (2): 343 – 348. (in Chinese)
- 王海宁, 葛顺峰, 姜远茂, 魏绍冲, 彭福田, 陈 倩. 2012. 苹果砧木生长及吸收利用硝态氮和铵态氮特性比较. *园艺学报*, 39 (2): 343 – 348.
- Wang Lei, Jiang Yuan-mao, Peng Fu-tian, Wei Shao-chong, Li Hong-bo, Ge Shun-feng, Fang Xiang-ji. 2010. Effects of branch drooping on characteristics of absorption, distribution and utilization of  $^{15}\text{N}$ -urea application for *Malus domestica* Borkh. Red Fuji/ *Malus hupehensis*. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (7): 1033 – 1040. (in Chinese)
- 王 磊, 姜远茂, 彭福田, 魏绍冲, 李红波, 葛顺峰, 房祥吉. 2010. 红富士苹果枝条下垂处理对  $^{15}\text{N}$  尿素吸收、分配及利用的影响. *园艺学报*, 37 (7): 1033 – 1040.
- Wang Shu-sheng, Li Chun-jian, Liang Xiao-fang, Chen Ai-guo. 2008. Effect of nitrogen rates on root-shoot balance and nitrogen accumulation and distribution in flue-cured tobacco. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, (5): 935 – 939. (in Chinese)
- 王树声, 李春俭, 梁晓芳, 陈爱国. 2008. 施氮水平对烤烟根冠平衡及氮素积累与分配的影响. *植物营养与肥料学报*, (5): 935 – 939.
- Webster A D. 1995. Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree vigour, precocity and yield productivity. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 23: 373 – 382.
- Xu Ji-e, Lin Yu-yi, Lü Rui-jiang, Chen Liang, Gao Zhan-feng. 1993. Studies on the absorption and the distribution of  $^{15}\text{N}$ -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  $^{15}\text{N}$  - 尿素的吸收与分配. *园艺学报*, 20 (2): 145 – 149.