

# 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

王磊, 姜远茂\*, 彭福田, 魏绍冲, 李红波, 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 7 年生红富士苹果 (*Malus domestica* Borkh. 'Red Fuji') / 平邑甜茶 (*Malus hupehensis*) 为试材, 研究枝条下垂处理对春季土施  $^{15}\text{N}$  尿素的吸收、分配与利用的影响。结果表明: 枝条下垂处理植株的根系从肥料中吸收分配到的  $^{15}\text{N}$  量对根系全氮量的贡献率 (Ndff) 均低于对照, 其中细根在多个物候期差异显著, 而粗根在果实膨大期后差异显著; 中短梢及中短梢叶的 Ndff 差异不显著; 处理果实及长梢和长梢叶的 Ndff 在果实采收前均显著低于对照; 处理植株多年生器官的 Ndff 在果实采收后显著高于对照。从  $^{15}\text{N}$  分配率看, 处理植株的中短梢一直显著高于对照, 果实在膨大期后显著高于对照; 长梢在果实采收前显著低于对照。处理植株的  $^{15}\text{N}$  利用率低于对照, 在果实膨大期后差异显著, 两者植株  $^{15}\text{N}$  利用率在果实采收后分别为 21.083% 和 26.495%。

**关键词:** 苹果; 枝条下垂;  $^{15}\text{N}$  尿素; 吸收; 利用; 分配

**中图分类号:** S 661.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2010) 07-1033-08

## 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*

WANG Lei, JIANG Yuan-mao\*, PENG Fu-tian, WEI Shao-chong, LI Hong-bo, 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:** Seven-year-old apple trees (*Malus domestica* Borkh. 'Red Fuji') / *Malus hupehensis* were used in the present study to explore the effects of branch drooping on characteristics of absorption, distribution and utilization of  $^{15}\text{N}$ -urea through soil application in spring. Ndff value of roots in treated plant was obviously lower than that of control. Ndff value of fine roots was obviously different during multiple phenophases, while significant variance in Ndff value of coarse roots was found after fruit rapid-swelling stage. There was no regular pattern between Ndff value of leaves in short and middle shoots between the treatment and the control. Meanwhile, Ndff value of fruits, long shoot and leaves in long shoot with treatment was obviously lower than that of control before fruits were harvested, while Ndff value of

收稿日期: 2010 - 02 - 01; 修回日期: 2010 - 06 - 25

基金项目: 苹果产业技术体系项目 (MATS); 农业部行业计划项目 (nyhyzx07-024); 国家 '十一五' 科技支撑计划项目 (2008BADA4B05)

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

perennial organs in treated plant was obviously higher than that of control after fruits were harvested. The  $^{15}\text{N}$  distribution ratio to short and middle shoots of treated plant was significantly higher than that of control, while difference of distribution to fruit between the treatment and the control was significant only after fruit rapid-swelling stage. Moreover, the distribution ratio to long shoot of treated plant was obviously lower than that of control before fruits were harvested. The  $^{15}\text{N}$  utilization ratio of treated plant was lower than that of control, and the significant difference was found after fruit rapid-swelling stage, the  $^{15}\text{N}$  utilization ratio of treated plant and control were 21.083% and 26.495% respectively.

**Key words:** apple; branch drooping;  $^{15}\text{N}$ -urea; absorption; utilization; distribution

在多种果树生产中常采用拉枝的方法使枝条开张角度（廖立安 等，2003）。开张角度可以缓和果树的生长势，促进短枝形成，利于成花结果。前人在苹果开张角度方面的研究主要集中在其影响果实产量和品质（李永武 等，2007；杜荣 等，2009），调节幼树生长（何世珑 等，1994；吴鲜亮 等，2008），调节枝类组成（许家辉 等，2004）等方面。作者在大田条件下进行苹果枝条下垂处理，研究其对春季土施  $^{15}\text{N}$  尿素吸收、利用、分配的影响，为指导苹果下垂果枝培养方面提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2008 年 3—12 月在山东淄博市沂源县中庄镇社庄村果园进行。试材为 7 年生红富士苹果/平邑甜茶，株行距为  $3\text{ m} \times 4\text{ m}$ 。试验果园为壤土，土壤含有有机碳  $8\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，硝态氮  $21.12\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，铵态氮  $41.28\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，速效磷  $23.48\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，速效钾  $168.41\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据当地气候条件全年灌溉 4 次，灌溉方式为漫灌。

选取生长势基本一致，无病虫害的疏散分层树 36 株，萌芽前随机取 18 株将除主枝以外的枝条下拉至垂直于地面，其余 18 株保持原生长状态，作为对照。

于 2008 年 3 月 5 日对全部试验树进行施肥处理，在距中心干 60 cm 至树冠投影外围处挖深和宽均为 25 cm 左右的放射沟，沟内每株均匀施  $^{15}\text{N}$  尿素（上海化工研究院生产，丰度 10.22%）10 g，同时施入普通尿素 176 g，硫酸钾 104 g，磷酸氢二铵 185 g，施肥后每株立即浇水 4 L。分别于盛花期（4 月 15 日）、新梢旺长期（5 月 24 日）、花芽分化期（6 月 28 日）果实膨大期（9 月 17 日）、果实成熟期（10 月 12 日）和果实采收后（11 月 20 日）将果树整株刨出进行采样分析，每次解析 6 株，每 2 株为 1 次重复。

整株解析为细根（直径  $\leq 0.2\text{ cm}$ ）、粗根（直径  $> 0.2\text{ cm}$ ）、中心干、多年生枝、2 年生枝、长梢（长度  $\geq 20\text{ cm}$ ）、长梢叶、中短梢、中短梢叶、果（花），中心干按等距离分为上、中、下 3 段，每段截取 10 cm 的树干，多年生枝与中心干分为木质部和韧皮部。

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 °C 下杀青 30 min，80 °C 下烘干，电磨粉碎后过 60 目筛，混匀后装袋备用。

### 1.2 测定方法

样品全氮用凯氏定氮法测定（鲍士旦，2000）。 $^{15}\text{N}$  丰度用 ZHT-03 质谱计（北京分析仪器厂）测定（河北省农林科学院遗传生理研究所）。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，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 <sup>15</sup>N 丰度% - <sup>15</sup>N 自然丰度%) / (肥料中 <sup>15</sup>N 丰度% - <sup>15</sup>N 自然丰度%) × 100; <sup>15</sup>N 分配率 (%) = 各器官从氮肥中吸收的 <sup>15</sup>N 量 (g) /总吸收 <sup>15</sup>N 量 (g) × 100; <sup>15</sup>N 利用率 (%) = [Ndff × 器官全氮量 (g) ] /土施 <sup>15</sup>N 量 (g) × 100。数据采用 SAS9.1 系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 年周期各器官 Ndff 的变化

春季土施 <sup>15</sup>N 尿素，盛花期细根中 Ndff 值最高，枝条下垂处理显著低于对照，处理和对照分别为 0.963%和 1.369%，其次是粗根。地上部各器官的 Ndff 值较低，处理的新生叶片显著低于对照，其余器官与对照无显著差异（表 1）。

在盛花期，枝条下垂处理对生长旺盛的新生器官的 <sup>15</sup>N 吸收能力产生影响，如中短梢叶片，细根等 Ndff 值均显著下降，但花器官的 <sup>15</sup>N 征调能力与对照相比无显著差异，表明枝条下垂降低了新生营养器官对 <sup>15</sup>N 征调能力。

表 1 关键物候期各器官的 Ndff  
Table 1 The Ndff of different organs during key phenophase / %

器官 Organ	处理 Treatment	盛花 Full- bloom	新梢旺长 New shoot growing	花芽分化 Flower bud differentiation	果实膨大 Fruit rapid-swelling	果实成熟 Fruit maturity	采收后 After harvest
果(花) Fruit (Flower)	对照 Control	0.384A	0.392A	0.480A	1.329A	2.919A	
	枝条下垂 Branch drooping	0.417A	0.335B	0.461A	1.106B	2.567B	
长梢(长枝) Long shoots	对照 Control	0.221A	1.068A	1.219A	1.224A	0.764A	0.365A
	枝条下垂 Branch drooping	0.184A	0.894A	0.917B	0.856B	0.508B	0.386A
长梢叶 Leaves of long shoots	对照 Control		0.951Aa	0.812A	0.975A	0.760A	
	枝条下垂 Branch drooping		0.880B	0.694B	0.815B	0.474B	
中短梢(中短枝) Mid and short shoots	对照 Control	0.140A	0.768A	0.834A	0.932A	0.584A	0.327A
	枝条下垂 Branch drooping	0.160A	0.644B	0.867A	0.837A	0.643A	0.423A
中短梢叶 Leaves of mid and short shoots	对照 Control	0.206A	0.653A	0.703A	0.744A	0.596A	
	枝条下垂 Branch drooping	0.163B	0.698A	0.762A	0.754A	0.678A	
2 年生枝 Biennial branches	对照 Control		0.339A	0.569A	0.647A	0.567A	0.633B
	枝条下垂 Branch drooping		0.262B	0.431B	0.538B	0.519A	0.729A
多年生枝木质部 Xylem of perennial branches	对照 Control	0.245A	0.272A	0.476A	0.621A	0.519A	0.324A
	枝条下垂 Branch drooping	0.245A	0.215B	0.441A	0.531B	0.455B	0.437A
多年生枝韧皮部 Cortex of perennial branches	对照 Control	0.132A	0.253A	0.445A	0.534A	0.519A	0.638B
	枝条下垂 Branch drooping	0.114A	0.236A	0.346B	0.441B	0.322B	0.779A
中心干木质部 Xylem of trunk	对照 Control	0.354A	0.279A	0.439A	0.468A	0.445A	0.336A
	枝条下垂 Branch drooping	0.320A	0.259A	0.438A	0.432A	0.329B	0.411A
中心干韧皮部 Cortex of trunk	对照 Control	0.174A	0.272A	0.376A	0.516A	0.459A	0.558A
	枝条下垂 Branch drooping	0.150A	0.274A	0.348A	0.467A	0.367B	0.635A
细根 Fine roots	对照 Control	1.369A	1.099A	0.847A	0.647A	0.695A	0.998A
	枝条下垂 Branch drooping	0.963B	0.875A	0.746B	0.538B	0.646A	0.723B
粗根 Thick roots	对照 Control	0.907A	0.744A	0.648A	0.755	0.627A	1.386A
	枝条下垂 Branch drooping	0.899A	0.713A	0.584A	0.653A	0.584A	1.106B

注：同一列大写字母表示差异达 0.01 水平显著。  
Note: Values followed by a capital within the same column are significantly different at 0.01 level.

新梢旺长期根系的  $Ndff$  值开始下降, 而地上部新生器官的  $Ndff$  提高。枝条下垂对地上部新生器官以及距新生器官较近的 2 年生枝和多年生木质部的  $Ndff$  值产生显著影响, 对其余多年生器官及根系影响不显著。对照的地上部新生器官以长梢中  $Ndff$  值最高, 长梢叶片次之。与对照相比, 处理的中短梢叶  $Ndff$  值高于对照, 其余地上部新生器官  $Ndff$  显著低于对照。表明, 果树在新梢旺长期吸收的  $^{15}N$  主要分配供给新生器官形态建造, 枝条下垂处理对新生器官的  $N$  征调能力有削弱作用, 使植株的营养生长减弱。

花芽分化期枝条下垂处理以新梢  $Ndff$  值为最高, 其次是新梢上着生的叶片, 根部  $Ndff$  值呈下降趋势, 地上非新生器官  $Ndff$  值有上升趋势。枝条下垂处理新生器官中的长梢及长梢叶片  $Ndff$  值与对照有显著差异, 其余器官  $Ndff$  值差异不显著。除中心干外, 处理地上部多年生器官的  $Ndff$  值低于对照。

在果实膨大期, 地上部新生器官的  $Ndff$  值均处于较高水平, 非新生器官较上一物候期有所升高。此物候期果实的  $Ndff$  值最高, 处理与对照差异显著, 分别为 1.329% 和 1.106% (表 1)。除中短梢叶外, 处理其余新生营养器官的  $Ndff$  值均显著低于对照; 除中心干木质部之外, 二者其余多年生器官出现显著差异, 处理低于对照。

在果实成熟期, 果实的  $Ndff$  值最高, 并达到年周期最大值, 其次为新生营养器官, 而贮藏器官较低, 除果实外其他器官  $Ndff$  值较上一物候期均有下降, 表明果实的营养征调能力最强, 营养向果实积累。处理果实的  $Ndff$  值低于对照, 二者分别是 2.567% 和 2.919%; 此期除中短梢、中短梢叶片与细根外, 其余器官的  $Ndff$  值均低于对照。

果实采收后营养向贮藏器官回流, 以根系的  $Ndff$  值为最高, 非新生器官次之, 新生营养器官均下降到较低水平。此期处理根系  $Ndff$  值显著低于对照, 地上部营养贮藏器官  $Ndff$  值显著高于对照, 长梢差异不显著。表明枝条下垂处理不利于  $^{15}N$  由地上部向根系转移, 这与极性减弱不利于两极交换有关。

## 2.2 枝条下垂对年周期各器官 $^{15}N$ 分配率的影响

### 2.2.1 枝条下垂对生殖器官 $^{15}N$ 分配率的影响

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)。

从图 1 可见, 在盛花期, 花器官的  $^{15}N$  分配率较低, 处理与对照无显著差异, 生长发育所需  $N$  素主要来源于树体的贮藏营养, 这点与前人的报道 (Millard & Neilsen, 1989) 一致。

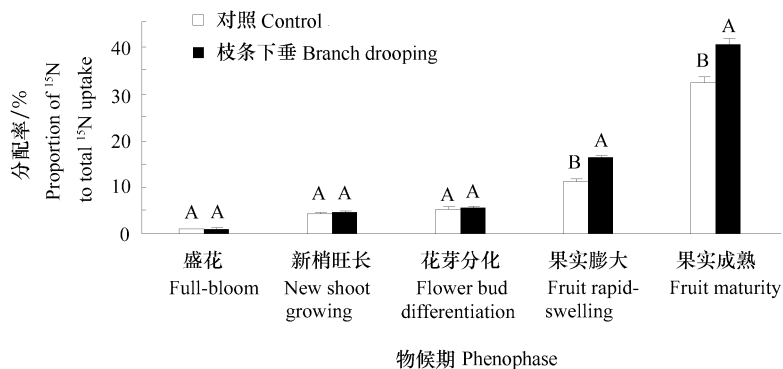


图 1 不同处理关键物候期的果实 (花)  $^{15}N$  分配率

Fig. 1 Proportion of  $^{15}N$  in fruit (flower) to total  $^{15}N$  uptake in key phenological phases of different treatments

从新梢旺长期到花芽分化期, 处理与对照果实的  $^{15}\text{N}$  分配率水平较低且变化趋势较为平稳, 处理与对照无显著差异。

从果实膨大期开始, 果实  $^{15}\text{N}$  分配率迅速升高, 处理与对照出现显著差异且差异随时间推移逐渐增大, 到果实成熟期, 处理与对照均达到最大, 处理较对照高 8.019%, 二者的差异也最大。这与地上部在枝条下垂处理后生长势缓和, 营养生长对养分的竞争减弱, 利于  $^{15}\text{N}$  向中短梢及着生在中短梢上的果实分配有关, 表明枝条下垂处理有利于氮向果实分配, 这一方面有利于提高产量, 另一方面可能对果实品质带来不利影响, 在生产上应加以注意。

### 2.2.2 枝条下垂对新生营养器官 $^{15}\text{N}$ 分配率的影响

在整个年周期的生长发育过程中, 处理与对照新生营养器官的  $^{15}\text{N}$  分配率表现为先升高后降低的趋势, 各个时期的处理中短梢均显著高于对照, 而长梢除果实采收期外均显著低于对照。上述差异从新梢旺长期便开始呈现, 处理与对照中短梢的差异在花芽分化期达到最大, 处理高于对照 10.628%; 而长梢在果实成熟期达到最大, 处理低于对照 12.436% (图 2)。

表明枝条下垂处理可以显著控制新梢的极性生长, 有效地减少新梢旺长对养分的消耗, 有利于中短梢发育。

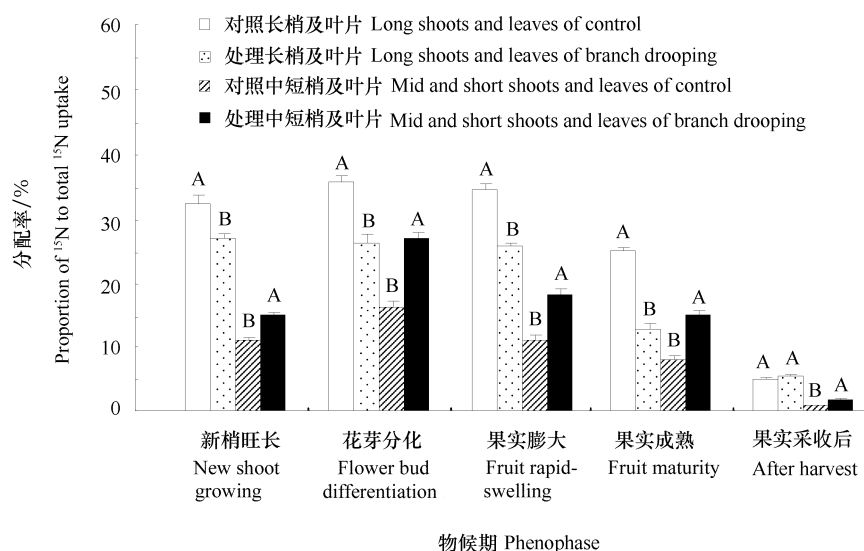


图 2 不同处理关键物候期的新生营养器官  $^{15}\text{N}$  分配率

Fig. 2 Proportion of  $^{15}\text{N}$  in new organ to total  $^{15}\text{N}$  uptake in key phenological phases of different treatments

### 2.2.3 枝条下垂对根系 $^{15}\text{N}$ 分配率的影响

从盛花期到果实成熟期, 处理与对照的根系  $^{15}\text{N}$  分配率均呈下降趋势, 果实采收后, 迅速升高, 这与地上部新生营养器官的  $^{15}\text{N}$  分配率下降, 营养向根部积累有关。

从盛花期到果实成熟期, 处理与对照的根系  $^{15}\text{N}$  分配率变化一致, 除果实膨大期之外无显著差异。在果实采收后, 处理与对照的根系  $^{15}\text{N}$  分配率均有显著升高, 分别为 46.296% 和 66.499%, 处理显著低于对照 (图 3)。

可见, 枝条下垂处理对果树根系  $^{15}\text{N}$  的分配率影响表现为: 在地上部新生器官生长前期, 枝条下垂处理对果树根系  $^{15}\text{N}$  的分配影响较小; 在果实采收后, 处理的根系  $^{15}\text{N}$  分配率显著高于对照,

说明处理果树地上部养分向根系回流较少, N 的向下运输减少, 地上部器官的氮素分配较多。

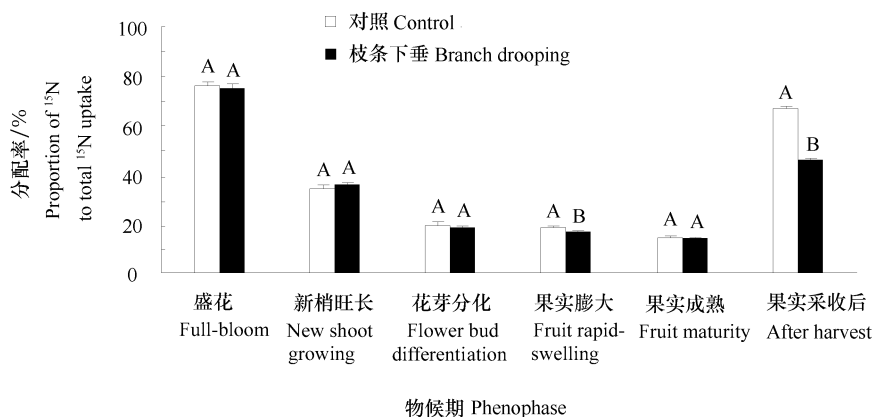


图 3 不同处理关键物候期的根系  $^{15}\text{N}$  分配率

Fig. 3 Proportion of  $^{15}\text{N}$  in root to total  $^{15}\text{N}$  uptake in key phenological phases of different treatments

### 2.3 枝条下垂对年周期关键物候期 $^{15}\text{N}$ 利用率的影响

从图 4 中可以看出, 春季施  $^{15}\text{N}$  尿素后, 随着物候期的推移, 处理果树与对照果树对春季土施  $^{15}\text{N}$  尿素的利用率均逐渐提高, 并在果实采收后 (包含采收果实的  $^{15}\text{N}$  利用率) 达到最大值。果实采收后叶片衰老, 营养向根系回流贮藏。

年周期中, 处理的  $^{15}\text{N}$  利用率均低于对照。从果实膨大期开始, 枝条下垂对苹果整株  $^{15}\text{N}$  利用率的影响逐渐加大, 处理与对照出现显著差异。

在果实膨大期, 处理与对照的  $^{15}\text{N}$  利用率迅速升高, 处理显著低于对照, 到果实采收后, 处理与对照的  $^{15}\text{N}$  利用率 (包含采收果实的  $^{15}\text{N}$  利用率) 为各时期最高, 分别为 21.083% 和 26.495%。这表明, 枝条下垂处理使果树生长势减缓, 极性减弱, 对 N 吸收能力及运输动力下降, 导致果树的  $^{15}\text{N}$  利用率显著降低。

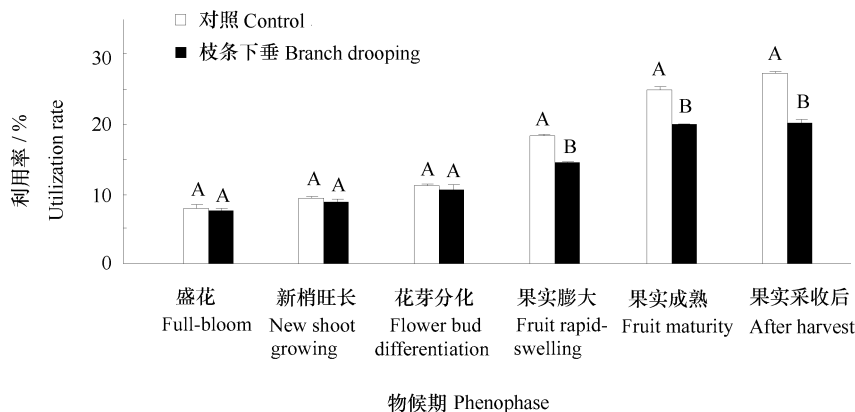


图 4 不同处理关键物候期整株植株  $^{15}\text{N}$  利用率

Fig. 4  $^{15}\text{N}$  utilization rate of various key phenological phase of different treatments

### 3 讨论

前人认为通过开张枝条的角度, 可以削弱顶端优势, 达到缓和树势的目的 (刘志坚, 1994)。有试验表明红富士苹果开张角度可抑制枝条生长势, 增加枝条受光面积, 有利于养分的积累, 促进果实增大 (高建国, 2005)。何世珑等 (1994) 的幼树试验表明, 开张角度后枝类组成发生改变, 长枝所占比例小, 中、短及叶丛枝所占比例大。韩明玉等 (2008) 认为苹果开张角度小的直立枝, 光合产物自留量少, 外运入主轴和根中的量多, 虽然养根、养干的作用较大, 但本枝同化产物自留量少, 成花难, 结果少; 而角度开张的水平枝虽养根、养干的作用小一些, 但却利于成花和结果; 并且随着主枝开张角度的增大, 抽生的枝条主要集中在主枝的中部, 而且中短枝相对较多。吴鲜亮等 (2008) 认为枝条角度改变, 长枝减少中短枝增多。本试验中枝条下垂果树的长梢  $^{15}\text{N}$  分配率低于对照, 中短梢和果实高于对照, 表明枝条下垂处理可以缓和生长势, 削弱极性生长, 改变枝类组成, 促发中短梢, 减少运向主轴和根中的光合产物, 利于中短梢上花和果实的养分分配, 有利于弱勢器官和生殖器官的发育。

根系与地上部是一个完整的有机体, 地上部的枝条下垂处理必然对根系的生长发育产生影响, 而根系的变化必然又对地上部有影响。营养、修剪等通过调节植物激素的平衡而影响到根的发生与生长 (杨洪强与束怀瑞, 2007), 枝条下垂削弱树体的极性, 改变根部的激素平衡, 影响根系生长以及根对 N 的吸收。枝条下垂处理有效地影响树冠, 使蒸腾速率减慢 (龚道枝, 2005), 顾曼如等 (1992) 认为枝内蒸腾液流的运输速度减慢会导致运输到叶片氮素营养减少而碳水化合物输出量又相对减少, 导致营养交换减弱。枝条下垂处理的  $^{15}\text{N}$  利用率显著低于对照, 树体贮藏氮含量低于对照, 均证明了以上观点。果实采收后, 处理的根部  $^{15}\text{N}$  分配率显著低于对照, 地上部器官的贮藏营养较多。说明枝条下垂使地上部与地上部养分交换变弱, 根部向上运输及向下贮藏的氮素均减少。由于贮藏氮的重要作用, 枝条下垂处理可能因贮藏氮不足影响翌年新生器官的生长发育 (顾曼如等, 1986; 张进等, 2004), 在生产中应该注意留果量, 加强肥水管理。关于枝条开张对各器官激素平衡及碳水化合物分配的影响, 则有待于进一步研究。

### References

- Bao Shi-Dan. 2000. Analytical methods for soil agro-chemistry (III). Beijing: China Agricultural Press: 263 - 268. (in Chinese)
- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社: 263 - 268.
- Du Rong, Qu Jun-xian, Zhao Zeng-qiang, Han Ming-yu, Fan Chong-hui. 2009. Effects of branch drawing on the leaf growth fruit quality and yield of Gala apple. *Journal of Northwest Forestry University*, 24 (2): 71 - 74. (in Chinese)
- 杜 荣, 曲俊贤, 赵增强, 韩明玉, 范崇辉. 2009. 不同拉枝角度对嘎拉苹果叶片及果实产量和品质的影响. *西北林学院学报*, 24 (2): 71 - 74.
- Gao Jian-guo. 2005. Key pruning techniques of apple trees in growing season. *Northwest Horticulture*, (4): 44. (in Chinese)
- 高建国. 2005. 红富士苹果树生长季修剪关键技术. *西北园艺*, (4): 44.
- Gong Dao-zhi. 2005. Dynamic mechanism of water transport in Soil-Plant-Atmosphere Continuum (SPAC) of apple orchard and its simulation. [Ph. D. Dissertation]. Yangling: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 龚道枝. 2005. 苹果园土壤—植物—大气系统水分传输动力学机制与模拟[博士论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- Gu Man-ru, Shu Huai-rui, Qu Gui-min, Jiang Yuan-mao, Miao Liang. 1992. Relationship between the content of mineral element and quality of 'Hongxing' fruits. *Acta Horticulturae Sinica*, 19 (4): 301 - 306. (in Chinese)
- 顾曼如, 束怀瑞, 曲桂敏, 姜远茂, 苗 良. 1992. 红星果实的矿质元素含量与品质的关系. *园艺学报*, 19 (4): 301 - 306.
- Gu Man-ru, Shu Huai-rui, Zhou Hong-wei. 1986. Study on the nitrogen nutrition of apple trees IV — the characters of translocation and distribution of translocation. *Acta Horticulturae Sinica*, 13 (1): 25 - 30. (in Chinese)

- 顾曼如, 束怀瑞, 周宏伟. 1986. 苹果氮素营养研究IV贮藏<sup>15</sup>N的运转、分配特性. 园艺学报, 13 (1): 25 - 30.
- Gu Man-Ru. 1990. The application of <sup>15</sup>N in the study of nitrogen nutrition on apples. China Fruits, (2): 46 - 48. (in Chinese)
- 顾曼如. 1990. <sup>15</sup>N 在苹果氮素营养研究中的应用. 中国果树, (2): 46 - 48.
- Han Ming-yu, Li Yong-wu, Fan Chong-hui, Zhao Cai-ping. 2008. Effects of branch bending angle on physiological characteristics and fruit quality of Fuji apple. Acta Horticulturae Sinica, 35 (9): 1345 - 1350. (in Chinese)
- 韩明玉, 李永武, 范崇辉, 赵彩萍. 2008. 拉枝角度对富士苹果树生理特性和果实品质的影响. 园艺学报, 35 (9): 1345 - 1350.
- He Shi-long, Zhou Jun, Ma En-ming, Liang Yu-wen, Chen Fang-zi. 1994. Effects of branch bending on apple seeding. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, (1): 21 - 23. (in Chinese)
- 何世珑, 周 军, 马恩明, 梁玉文, 陈芳子. 1994. 苹果幼树拉枝效应观察初报. 宁夏农林科技, (1): 21 - 23.
- Liao Li-an, Li Zhi-guang, Cao Jian-ming. 2003. Introduction experiment of cuiguan pear and effect of trimming the branches on its economic properties. Journal of Central South Forest University, 23 (2): 79 - 81. (in Chinese)
- 廖立安, 李志光, 曹建明. 2003. 翠冠梨引种试验及整形拉枝对其经济性状的影响. 中南林学院学报, 23 (2): 79 - 81.
- Liu Zhi-jian. 1994. Application of bending, carving, peeling on apple trees. Northern Horticulture, (1): 18 - 19. (in Chinese)
- 刘志坚. 1994. 论拉, 刻, 剥技术在苹果树上的应用. 北方园艺, (1): 18 - 19.
- Li Yong-wu, Han Ming-yu, Fan Chong-hui, Cao Ru. 2007. Relationship between branch nutrients and fruit quality of different branch angle in Fuji. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 16 (2): 161 - 164. (in Chinese)
- 李永武, 韩明玉, 范崇辉, 曹 儒. 2007. 富士苹果不同拉枝角度叶片营养物质含量与果实品质之间的关系. 西北农业学报, 16 (2): 161 - 164.
- Millard P, Neilsen G H. 1989. The influence of nitrogen supply on the uptake and remobilization of stored N for the seasonal growth of apple trees. Annals of Botany, 63: 301 - 309.
- Wu Xian-liang, He Zhi-ai, Yang Yong. 2008. Effects of branch bending on the growth and development of pear cultivar 'Pingguoli'. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, (1): 54 - 55. (in Chinese)
- 吴鲜亮, 何志爱, 杨 勇. 2008. 拉枝对苹果梨幼树生长发育的影响. 内蒙古农业科技, (1): 54 - 55.
- Xu Jia-hui, Zhang Ze-huang, Chen Chang-zhong, Yu Dong, Liu You-jie, Zheng Shao-quan, Liu Hui. 2004. Effects of branch bending on the growth of shoot and flower formation of loquat. South China Fruits, (1): 34 - 35. (in Chinese)
- 许家辉, 张泽煌, 陈长忠, 余 东, 刘友接, 郑少泉, 刘 惠. 2004. 拉枝对枇杷枝梢生长与成花的影响. 中国南方果树, (1): 34 - 35.
- Xu Ji-e, Lin Yu-yi, Lü Rui-jiang, Chen Liang, Gao Zhan-feng. 1993. Studies on the absorption and the distribution of <sup>15</sup>N-Labelled urea to 'Yali' pear trees following autumn application. Acta Horticultural 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<sup>15</sup>N-尿素的吸收与分配. 园艺学报, 20 (2): 145 - 149.
- Yang Hong-qiang, Shu Huai-rui. 2007. Studies on apple roots. Beijing: Science Press: 52 - 53. (in Chinese)
- 杨洪强, 束怀瑞. 2007. 苹果根系研究. 北京: 科学出版社: 52 - 53.
- Zhang Jin, Jiang Yuan-mao, Zhao Deng-chao, Zhang Xu, Liu Wen-e, Li Xin-xiang, Wang Ling-ling, Zhang Ling. 2004. The characteristics of absorption, distribution and utilization to urea in branches before sprout of Zhanhua winter-date (*Zizyphus jujuba* Mill var. *inermis* Rehd.). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 10 (6): 671 - 673. (in Chinese)
- 张 进, 姜远茂, 赵登超, 张 序, 刘文娥, 李新香, 王玲玲, 张 玲. 2004. 沾化冬枣萌芽前枝条对尿素的吸收、分配及再利用特性. 植物营养与肥料学报, 10 (6): 671 - 673.