

## 不同施肥时期对冬枣<sup>15</sup>N贮藏及翌年分配利用的影响

赵登超<sup>1</sup>, 姜远茂<sup>1</sup>, 彭福田<sup>1</sup>, 张进<sup>2</sup>, 张序<sup>1</sup>, 隋静<sup>1</sup>, 何乃波<sup>1,3</sup>

(<sup>1</sup>山东农业大学园艺科学与工程学院, 泰安 271018; <sup>2</sup>浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029; <sup>3</sup>山东省科学技术厅, 济南 250011)

**摘要:**【目的】保证冬枣树体的正常发育, 提高肥料利用效率(包括选择最佳施肥时期), 增加树体贮藏氮。  
【方法】以盆栽冬枣/金丝小枣为试材, 研究了冬枣不同追施<sup>15</sup>N-尿素时期对休眠期贮藏<sup>15</sup>N及翌年盛花期<sup>15</sup>N分配利用的影响。【结果】在休眠期测定, 萌芽前、果实硬核期、果实速长期3次追肥, 植株氮素的利用率分别为2.42%、9.77%、9.01%; 翌年盛花期测定分别为5.20%、16.16%、10.30%; 休眠期<sup>15</sup>N主要贮藏于根系和主干, 粗根的<sup>15</sup>N分配率最高, 3个处理分别为萌芽前30.43%、果实硬核期38.61%、果实速长期40.62%。翌年盛花期时, 枝干和根系中<sup>15</sup>N向新生器官大量运转, 满足其生长发育的需要; 萌芽前施肥处理, 多年生器官(主干、粗根)中的Ndff%较低, 其它器官中的Ndff%差异较小, 细根中最高为1.28%; 果实硬核期和果实速长期施肥处理, <sup>15</sup>N在新生器官(新生枣头枝、枣吊、叶片和花)中的Ndff%较高(4.01%~5.25%), 而多年生枝中的Ndff%较低(1.49%~2.89%)。  
【结论】随施肥时期的推迟氮素优先分配到根系, 果实硬核期施肥更有利于休眠期贮藏氮的积累和翌年春新生器官的生长发育。

**关键词:** 冬枣 (*Z. jujuba* Mill. var. *inermis* Rehd); <sup>15</sup>N-尿素; 贮藏; 分配利用

## Storage and Remobilization of Nitrogen by Chinese Jujube (*Z. jujuba* Mill. var. *inermis* Rehd) Seedling as Affected by Timing of <sup>15</sup>N Supply

ZHAO Deng-chao<sup>1</sup>, JIANG Yuan-mao<sup>1</sup>, PENG Fu-tian<sup>1</sup>, ZHANG Jin<sup>2</sup>, ZHANG Xu<sup>1</sup>, SUI Jing<sup>1</sup>, He Nai-bo<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018;

<sup>2</sup>College of Environmental and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029;

<sup>3</sup>Department of Science and Technology of Shandong Province, Ji'nan 250011)

**Abstract:** 【Objective】 Winter jujube orchard nitrogen (N) management should aim at increasing N reserves, meeting the tree growth requirement. Fertilization strategies should maximize the efficiency of fertilizers, including the choice the optimal timing of N supply. 【Method】 <sup>15</sup>N-urea was applied to winter jujubes on 'jinsixiaozao' jujubes rootstock to evaluate the effect of application timing on N storage and remobilization in mature trees in pot culture. The treatments consisted of ground application before budding (BB), fruit core-hardening stage (FCH) and fruit rapid-swelling stage (FRS). 【Result】 Nitrogen use efficiency of treatments were significantly different, which were 2.42% (BB), 9.77% (FCH), 9.01% (FRS) in the dormant and 5.20% (BB), 16.16% (FCH), 10.30% (FRS) in the following full bloom. N supply in the pre-harvest helped to increase trees N reserves and then relocate to the new growth organs following year. The largest amount of <sup>15</sup>N was detected in the roots and trunks. In all treatment the partition rates were highest in coarse roots, which were 30.43% (BB), 38.61% (FCH), 40.62% (FRS), respectively. <sup>15</sup>N stored in roots and trunks were used by jujube trees to sustain new growth in the following full bloom. <sup>15</sup>N applied before budding resulted in lower Ndff% in perennial organs (trunks and coarse roots) sampled in the proceeding full bloom, but fine roots had highest Ndff% (1.28%). Other organs recovered a similar amount of Ndff%. In contrast, FCH and FRS treatment led to higher Ndff% (4.01%-5.15%) in the new growth organs (new branches, deciduous spurs, leaves and followers), but lower Ndff% in perennial branches (1.49%-2.89%).  
【Conclusion】 With the delay of <sup>15</sup>N-urea application time, <sup>15</sup>N increased the partitioning to roots. FCH treatment increases N storage

收稿日期: 2005-09-22; 接受日期: 2006-01-26

基金项目: 农业部“948”项目资助(2003-Z53)

作者简介: 赵登超(1980-), 男, 山东聊城人, 硕士研究生, 研究方向为果树营养生理。E-mail: zdc-1@163.com. 通讯作者姜远茂(1964-), 男, 山东牟平人, 副教授, 博士, 研究方向为果树营养生理。Tel: 0538-8249778; E-mail: ymjiang@sdau.edu.cn

in perennial organ during winter, which should be remobilized to sustain new growth the following spring.

**Key Words:** *Z. jujuba* Mill. var. *inermis* Rehd (Winter Jujube);  $^{15}\text{N}$ -Labelled Urea; Storage; Remobilisation

## 0 引言

【本研究的重要意义】冬枣由普通枣 (*Zizyphus jujuba* Mill) 变异而来, 属无刺枣 (*Z. jujuba* Mill. var. *inermis* Rehd)。冬枣为中国独有的枣资源, 成熟期晚, 营养价值高, 为优良的鲜食枣品种。据 2003 年统计全国冬枣的栽培面积已达 19 万 ha, 为近十几年来新兴的果树优良品种。为保证冬枣树体的正常发育, 获取更高的经济价值, 提高肥料利用效率 (包括选择最佳施肥时期), 增加贮藏氮成为果园施肥管理的重要目标。【前人研究进展】氮是植物体内几种重要有机化合物如氨基酸、蛋白质、叶绿素、酰胺、核酸、辅酶维生素和细胞膜的重要组分, 是植物生长发育最重要的元素之一。果树传统的施肥时期为冬季和早春<sup>[22]</sup>, 不同施肥时期对贮藏氮的积累作用不同<sup>[4,18,19,21]</sup>。落叶果树生长发育所需的氮素主要源于树体贮藏和根系吸收。研究表明: 落叶果树早春的生育主要依靠树体中的贮藏氮营养<sup>[2~3,6~8]</sup>, 而贮藏氮营养水平与前一年树体的氮素供应关系密切<sup>[9]</sup>。冬枣果实成熟晚, 养分回流时间短; 翌年萌芽晚, 生长前期营养生长和生殖生长交叠进行, 氮需求集中, 对贮藏氮<sup>[5]</sup>的要求较高。【本研究切入点】冬枣不同施肥时期氮素当年的吸收、利用特性已有报道<sup>[5]</sup>, 而对冬枣氮素营养贮藏及翌年春季分配利用的影响未见报道, 【拟解决的关键问题】在冬枣不同的生长发育期追施尿素, 利用  $^{15}\text{N}$  标记技术研究其休眠期贮藏和翌年盛花期的分配利用特性, 以期对冬枣果园的氮素管理, 有效的利用氮肥提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及处理

试验于 2002~2004 年在山东省滨州市冬枣研究院试验田进行, 试材为 4 年生冬枣, 砧木为金丝小枣。选生长势基本一致、无病虫害的树 22 株, 于 2002 年秋枣树落叶后带土移植于塑料盆 (直径 50 cm、深 40 cm, 装风干土 24.0 kg) 内, 浇水后把盆埋于土中。盆中土壤理化性状: pH 8.00, 有机质 0.95%, 碱解氮 50.34  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效磷 30.97  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效钾 50.65  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

试验进行了 3 次追肥处理, 分别为萌芽前 (4 月 2 日)、果实硬核期 (8 月 1 日) 和果实速长期 (9 月 1

日)。每个施肥时期处理时, 选用生长势一致的树 6 株, 每株施用 3g  $^{15}\text{N}$ -尿素 (上海化工研究院, 丰度为 10.22%), 同时施入普通尿素 7 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  10 g, 其它施肥时期每株施用普通尿素和  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  各 10 g, 施肥后立即浇水, 充分灌溉, 试材进行常规管理。

### 1.2 样品采集与测定方法

分别于休眠期 (2004 年 3 月 6 日)、翌年盛花期 (2004 年 6 月 9 日) 采样解析分析。每次取样 3 株, 单株解析为: 粗根 (直径 > 0.2 cm)、细根 (直径 ≤ 0.2 cm)、主干、多年生枣头枝、新生枣头枝、枣吊、叶片和花; 枝干分离木质部和皮部。样品用自来水洗净后, 蒸馏水冲洗 3 次, 晾干后于 105~110℃ 下杀青 30 min, 然后在 80℃ 烘干至恒重, 用不锈钢电磨粉碎后过 0.25 mm 筛, 样品装袋暂存待测。植株解析后, 取盆中土壤混匀后, 平铺于地面, 五点法收集土壤样品, 自然风干后待测。

凯氏定氮法测定全氮; 将凯氏定氮后的蒸馏液酸化后, 浓缩至 3 ml, 用 MAT-251 (Finnigan, 德国) 质谱仪测定样品的  $^{15}\text{N}$  丰度。

### 1.3 计算公式和统计方法

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

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

氮肥分配率 (%) = 各器官从 N 肥中吸收的 N 量 (g) / 总吸收 N 量 (g) × 100

从氮肥中吸收的 N 量 (g) = 器官全 N 量 (g) × Ndff%

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥时期休眠期和翌年盛花期植株氮素的 $^{15}\text{N}$ 利用效率

不同时期施用  $^{15}\text{N}$ -尿素后, 休眠期和翌年盛花期土壤中  $^{15}\text{N}$  丰度 (表 1) 均显著高于氮素的自然丰度 (0.365%), 表明施用  $^{15}\text{N}$ -尿素 1 年后, 土壤中仍残留  $^{15}\text{N}$  肥料且可被植株吸收利用, 这与 Nario 等<sup>[10]</sup>在桃树上的研究结果一致。

在休眠期测定, 萌芽前、8 月初、9 月初 3 次追肥, 植株氮素的利用率分别为 2.42%、9.77%、9.01%; 翌年盛花期测定分别为 5.20%、16.16%、10.30%; 表明

翌年盛花期植株对肥料氮的利用率比萌芽前高, 其中果实硬核期施肥处理的氮素利用效率最高, 果实速长期次之, 萌芽前最低, 果实硬核期施肥有利于休眠期贮藏氮的积累和翌年盛花期的生长发育。这可能与冬枣的生长发育习性有关, 果实硬核期到果实速长期, 休眠期到翌年盛花期根系有生长高峰, 冬枣根系可快速生长, 吸收利用土壤中的  $^{15}\text{N}$  肥料; 果实速长期后

气温较低及环境条件限制, 植株对土壤中的肥料吸收利用较少, 因此为提高树体的贮藏 N 水平, 促进翌年生长发育, 建议在果实硬核期施用一定量的氮肥。Quartieri<sup>[21]</sup>在梨上的研究表明采收前适量施用氮肥, 有利于增加贮藏氮营养和促进贮藏氮素向花芽的运输, 而不增加果实的氮浓度。

表 1 不同施肥时期植株对肥料氮利用效率和土壤中残留  $^{15}\text{N}$  丰度的影响

Table 1 Effect of timing of fertilizer N application on fertilizer N use efficiency and soil  $^{15}\text{N}$  enrichment in Jujube

测定项目 Determined items	处理 <sup>1)</sup> Treatment	采样时期 Sampling time	
		萌芽前 Before budding	盛花期 Full bloom
$^{15}\text{N}$ 的利用率	I	2.42	5.20
$^{15}\text{N}$ use efficiency (%)	II	9.77	16.16
	III	9.01	10.30
土壤 $^{15}\text{N}$ 丰度	I	0.415	0.406
Soil $^{15}\text{N}$ enrichment (%)	II	0.483	0.414
	III	0.540	0.502

<sup>1)</sup>施肥时期: I 萌芽前 (2003.4.2); II 果实硬核期 (2003.8.1); III 果实速长期 (2003.9.1) 下同

<sup>1)</sup>Fertilizer application time: I. Before budding stage (2003.4.2); II. Fruit core-hardening stage (2003.8.1); III. Fruit rapid-swelling stage (2003.9.1). The same as below

## 2.2 不同施肥时期对休眠期贮藏 $^{15}\text{N}$ 的影响

器官的 Ndff%<sup>[11]</sup>是指植株器官从肥料氮中吸收分配到的氮量对该器官全氮量的贡献率, 它反映了植株器官对肥料氮的吸收竞争能力。不同施肥时期处理后, 休眠期  $^{15}\text{N}$  在各器官中的分配势 (Ndff%) 差异显著 (表 2)。萌芽前施肥处理, 休眠期  $^{15}\text{N}$  在地上部各器官中的 Ndff%随各器官生理年龄的增加变小, 且枝干皮部均高于木质部; 地下部细根中的 Ndff%较高为 0.94%, 粗根中的 Ndff%最低为 0.60%。果实硬核期施肥处理, 各器官中的 Ndff% (2.99%~3.56%) 差异较

小, 且高于萌芽前处理 (0.78%~1.37%) 和果实速长期处理 (1.11%~3.08%) 的对应器官。果实速长期施肥处理, 根系中 (2.59%~3.08%) 的 Ndff%要明显高于地上部各器官 (1.11%~1.55%)。这与张进等<sup>[5]</sup>的研究结果一致, 萌芽前施用氮肥主要用于当年生长发育的需要; 果实硬核期施肥处理  $^{15}\text{N}$  吸收后可大量转运并贮藏于枝干和根系; 果实速长期施肥处理,  $^{15}\text{N}$  可被植株吸收并运转至地上部各器官, 但地上部各器官中的分配势较小, 根系对此时期施肥的征调能力最强。

表 2 不同施肥时期对休眠期各器官中 Ndff%和  $^{15}\text{N}$  分配率的影响

Table 2 Effect of timing of fertilizer N application on Ndff% and  $^{15}\text{N}$  partition rate in the dormant period

测定项目 Determined items	处理 Treatment	新生枣头枝 New growth branch		多年生枣头枝 Perennial branch		主干 Trunk		粗根 Coarse root	细根 Fine root
		木质部 Xylem	皮部 Cortex	木质部 Xylem	皮部 Cortex	木质部 Xylem	皮部 Cortex		
		肥料氮 Ndff (%)	I	1.29	1.37	1.12	1.24		
	II	3.51	3.56	3.06	3.17	3.46	2.99	3.69	2.96
	III	1.47	1.55	1.41	1.34	1.49	1.11	2.59	3.08
$^{15}\text{N}$ 分配率 $^{15}\text{N}$ partition rate (%)	I	1.36	1.95	5.88	6.21	14.48	10.37	30.43	29.31
	II	1.06	1.48	5.32	6.84	13.73	17.58	38.61	15.4
	III	0.43	0.53	1.97	1.95	13.07	7.81	40.62	33.63

各器官中  $^{15}\text{N}$  占全株  $^{15}\text{N}$  总量的百分率反映了肥料在树体内的分布及在各器官迁移的规律<sup>[12]</sup>。 $^{15}\text{N}$  在冬枣植株各器官中的分配率可反映各器官休眠期贮藏氮水平, 氮的主要贮藏器官为根系和主干, 不同时期施  $^{15}\text{N}$ -尿素后, 粗根中  $^{15}\text{N}$  的分配率最高, 3 个不同施肥时期处理分别为: 萌芽前 30.43%、果实硬核期 38.61% 和果实速长期 40.62%。地上部  $^{15}\text{N}$  主要贮藏器官为主干 (24.85%、31.31%、20.88%); 与地上部枝干相比, 根系 (59.74%、54.01%、74.25%) 为  $^{15}\text{N}$  的更主要贮藏器官。与其它研究结果不同<sup>[8,13,14,19]</sup>, 细根作为冬枣休眠期  $^{15}\text{N}$  的贮藏器官也很重要。

### 2.3 不同施肥时期翌年盛花期 $^{15}\text{N}$ 分配及利用特性

不同施肥时期处理, 翌年盛花期  $^{15}\text{N}$  在植株各器官分配利用差异显著 (表 3)。萌芽前施肥处理, 翌年盛花期时树体多年生器官 (主干、粗根) 中的 Ndff% 较低, 其它器官中的 Ndff% 差异较小, 以细根中最高为 1.28%。果实硬核期和果实速长期施肥处理,  $^{15}\text{N}$  在当年新生器官 (新生枣头枝、枣吊、叶片和花) 中的 Ndff% 较高 (4.01%~5.25%), 而多年生枝中的 Ndff% 较低 (1.49%~2.89%)。表明: 不同追施  $^{15}\text{N}$ -尿素时期,  $^{15}\text{N}$  对翌年生长发育的影响不同, 随施肥时期后延, 对翌年生长发育的作用增大, 果实发育后期 (果

实硬核期、果实速长期) 施肥处理  $^{15}\text{N}$  吸收后在植株各器官中的分配利用规律相似, 且各器官中的 Ndff% 显著高于萌芽前施肥处理。盛花期时营养生长和生殖生长交叠进行, 对氮素营养的竞争激烈, 萌芽前处理,  $^{15}\text{N}$  在各器官中的分配势较低, 且无明显差异, 对翌年盛花期生长发育的作用较小; 而果实硬核期和果实速长期施  $^{15}\text{N}$ -尿素,  $^{15}\text{N}$  在新生器官中的分配势较高,  $^{15}\text{N}$  分配受生长中心的支配, 对翌年盛花期树体生长发育的作用较大。

翌年盛花期时,  $^{15}\text{N}$  的分配率反映了  $^{15}\text{N}$  在植株各器官中的分配和利用。3 个不同施肥时期处理,  $^{15}\text{N}$  在各器官分配率差异明显, 新生器官分别为 32.38%、29.61%、40.29%; 主干分别为 16.14%、12.77%、11.71%; 根系分别为 39.84%、50.52%、43.38%。与休眠期相比, 主干和根系中的  $^{15}\text{N}$  分配率都有所下降, 萌芽前、果实硬核期、果实膨大期处理主干中的  $^{15}\text{N}$  向新生器官迁移最快; 而果实速长期处理, 根系中的  $^{15}\text{N}$  可大量迁移至新生器官用于其生长的需要, 根系仍为  $^{15}\text{N}$  主要贮藏器官, 表明翌年春无论是贮藏的还是当年吸收的  $^{15}\text{N}$  都向新生器官运输。萌芽前施肥, 肥料  $^{15}\text{N}$  先贮藏再分配<sup>[5]</sup>, 贮藏器官 (根系) 在盛花期  $^{15}\text{N}$  的分配率仍较大。

表 3 不同施肥时期对翌年盛花期各器官中 Ndff% 和  $^{15}\text{N}$  分配率的影响

Table 3 Effect of timing of fertilizer N application on Ndff% and  $^{15}\text{N}$  partition rate in full bloom

测定项目 Determined items	新生枣头枝 New growth branch				多年生枣头枝 Perennial branch				主干 Trunk		粗根 Coarse root	细根 Fine root
	木质部 Xylem		皮部 Cortex		木质部 Xylem		皮部 Cortex		木质部 Xylem	皮部 Cortex		
			枣吊 Deciduous spur	叶片 Leaf			枣吊 Deciduous spur	叶片 Leaf				
肥料氮 (Ndff%)												
I	1.17	1.18	1.12	1.04	1.2	1.14	1.10	1.02	0.87	0.86	0.99	1.28
II	4.19	4.23	4.13	4.12	2.77	2.89	4.01	4.08	2.4	2.4	3.92	4.14
III	4.61	4.21	4.72	5.1	2.56	2.03	4.73	5.25	2.06	1.49	3.23	3.64
$^{15}\text{N}$ 分配率 ( $^{15}\text{N}$ partition rate)												
I	1.71	1.54	1.29	5.86	5.17	6.45	3.64	18.34	7.47	8.67	22.95	16.89
II	0.52	1.02	1.71	10.97	3.08	3.38	2.16	13.23	6.23	6.54	31.94	18.58
III	2.7	1.74	3.29	12.08	2.81	1.83	2.82	17.66	5.67	6.04	25.27	18.11

叶片和花混合 Leaf and flower mixed together

## 3 讨论

### 3.1 不同施肥时期追肥氮素的利用效率及土壤中氮素的残留

冬枣施氮时期不同, 氮素翌年的吸收利用不同。与萌芽前、果实速长期施肥处理相比, 果实硬核期施

肥处理植物在休眠期, 翌年盛花期氮素的吸收利用效率高, 更有利于冬季贮藏氮的积累和翌年生长发育。Huett 和 Stewart<sup>[11]</sup>研究表明不同时期施用氮肥后两年同一生长季节, 桃树氮肥利用效率各为 14.9% 和 18%。冬枣施肥后 1 年土壤中氮肥仍有残留, 且可被植物吸收利用。Nario 等<sup>[10]</sup>研究也表明桃树对当年施用氮肥

的利用效率低 (<13%)，休眠期氮肥大量残留在土壤中，第 2 年仍可被植株吸收利用。张进等<sup>[5]</sup> 研究了不同时期施肥冬枣当年对氮素营养的吸收、利用，认为果实硬核期可以不施氮；在果实速长期施氮肥有利于提高树体贮藏氮营养水平。考虑到贮藏氮的积累和氮肥利用效率，笔者建议：冬枣可在果实硬核期、果实速长期施用一定量的氮肥，尤其在果实膨大期。沾化冬枣果实硬核期施肥直接用于树体营养生长和生殖生长<sup>[5]</sup>，可能对果实品质有负面效应，需要进一步研究确定适宜的施肥量，在保证树体当年生长的同时有利于贮藏营养的积累。

### 3.2 冬枣休眠期氮素的贮藏部位

冬枣 <sup>15</sup>N-尿素施用时期影响贮藏氮的积累，不同施肥时期贮藏 <sup>15</sup>N 水平不同，后期（果实发育期）施肥更利于贮藏氮的积累，尤其是根部的贮藏 N 积累。这与 Kraimer 等<sup>[23]</sup>研究一致，美洲山核桃晚秋施肥主要贮藏于多年生器官，用于第 2 年的生长发育，很少用于当年新生器官的发育。与萌芽前、果实硬核期相比，果实速长期施肥根系（2.59%~3.08%）中 Ndff% 明显高于地上部器官（1.11%~1.55%）。前人在苹果上研究表明秋季施氮第 2 年早春重点在地下部，占整个植株的 55%<sup>[15]</sup>，其它研究结果也表明施氮时期不同，氮素分配存在差异<sup>[16-18]</sup>。Titus 等<sup>[8]</sup>认为多年生落叶果树冬季贮藏氮的主要部位是细枝和树干的皮层，根系能否作为贮藏氮的重要部位，不同研究者观点不一<sup>[9]</sup>，根系作为休眠期氮素营养贮藏器官可能是更强大的贮藏“库”<sup>[13,17,18]</sup>。就冬枣而言，休眠期 <sup>15</sup>N 主要贮藏于根系和主干，粗根 <sup>15</sup>N 的分配率最高，3 个施肥时期处理分别为：萌芽前 30.43%，果实硬核期 38.61%，果实速长期 40.62%，细根也是重要的贮藏 <sup>15</sup>N 器官。

### 3.3 冬枣翌年春季贮藏氮的再分配利用

不同施肥时期影响冬枣贮藏 <sup>15</sup>N 翌年在植株各器官中的分配利用。落叶果树早春的 生长主要依靠树体中的贮藏氮营养的再分配<sup>[2-4, 6-8]</sup>，Tagliavini 等<sup>[6,18]</sup>在油桃、Toselli 等<sup>[20]</sup>在苹果上研究表明翌年春季氮再分配主要为根部的贮藏氮。冬枣翌年盛花期，萌芽前处理，树体多年生器官（主干、粗根）中的 Ndff% 较低，其它器官中的 Ndff% 差异较小，以细根中最高为 1.28%；果实硬核期、果实速长期处理后，新生器官中的 Ndff% 较高，主干中最低。萌芽前、果实硬核期、果实膨大期处理主干中的 <sup>15</sup>N 向新生器官迁移最快，而果实速长期处理，根系中的 <sup>15</sup>N 可大量迁移至新生器官用于其生长的需要，根系仍为 N 主要贮藏器官，这与沾化

冬枣萌芽前施 <sup>15</sup>N-尿素的吸收利用特性相一致<sup>[5]</sup>。

## 4 结论

本试验主要研究了不同施肥时期对冬枣贮藏氮的积累和翌年贮藏氮的再利用特性。不同施肥时期对于休眠期贮藏氮的积累都有一定的作用；以果实硬核期施肥更有利于休眠期多年生器官中贮藏氮的积累。休眠期冬枣氮素的主要贮藏部位为根系和主干，施肥时期推迟，氮素在根器官中的积累增加，粗根作为贮藏氮的主要器官，在冬枣的整个生长发育期的作用更加重要。果实硬核期和果实速长期施肥，翌年氮素在植株各器官中的分配利用相似。考虑到贮藏氮的积累和再利用，应该在果实硬核期到果实速长期追施一定量的氮肥。

由于试验中肥料的氮素利用效率较低，易造成地下水的肥料污染，可以在生产允许的条件下，分次施肥以提高肥料的利用效率。本试验主要研究了氮素的贮藏和再利用，需要进一步研究不同施肥时期、施肥量、施肥方法对于冬枣树体生长发育和果实品质的影响。

致谢：承蒙山东省滨州市冬枣研究院提供试验场所和试验材料，谨致谢忱。

## References

- [1] Huett D O, Stewart G R. Timing of <sup>15</sup>N fertilizer application, partitioning to reproductive and vegetative tissue, and nutrient removal by field-grown low-chill peaches in the subtropics. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1999, 50: 211-215.
- [2] 顾曼如, 张若杼, 束怀瑞, 黎文文, 黄化成. 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*, 1981, 8(4): 21-28.
- [3] Gu M R, Zhang R S, Shu H R, Li W W, Huang H C. A study of the nitrogen nutrition of apple tree and variation of nitrogen nutrition within the plant in a year's cycles. *Acta Horticulturae Sinica*, 1981, 8(4): 21-28. (in Chinese)
- [4] 束怀瑞, 顾曼如, 黄化成, 周宏伟, 温传富, 翟衡, 苏荣存. 苹果氮素营养研究 II 施氮效应. *山东农学院学报*, 1981, (2): 21-31.
- [5] Shu H R, Gu M R, Huang H C, Zhou H W, Wen C F, Zhai H, Su R C. A study of the nitrogen nutrition of apple tree II urea application effect. *Journal of Shandong Agricultural College*, 1981, (2): 21-31. (in Chinese)
- [6] Sanchez E E, Righetti T. L., Sugar D, Lombard P B. Seasonal

- differences, soil texture and uptake of newly absorbed nitrogen in field-grown pear trees. *Journal of Horticultural Science*, 1990, 65: 395-400.
- [5] 张进, 姜远茂, 束怀瑞, 赵登超, 张序, 刘文娥, 吴良欢. 不同施肥期沾化冬枣对<sup>15</sup>N的吸收、分配及利用特性. *园艺学报*, 2005, 32: 288-291.
- Zhang J, Jiang Y M, Shu H R, Zhao D C, Zhang X, Liu W E, Wu L H. Characteristics of absorption, distribution and utilization of 'Zhanhuadongzao' jujube to <sup>15</sup>N in different fertilizer application stages. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32: 288-291. (in Chinese)
- [6] Tagliavini M, Millard P, Quartieri M. Storage of foliar-absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectarine (*Prunus persica* var. *nectarina*) trees. *Tree Physiology*, 1998, 18: 203-207.
- [7] Weinbaum S A, Klein I, Broadbent F E, Micke W C, Muraoka T T. Use of isotopic nitrogen to demonstrate dependence of mature almond trees on annual uptake of soil nitrogen [*Prunus dulcis*]. *Journal of Plant Nutrition*, 1984, 7: 975-990.
- [8] Titus J S, Kang S M. Nitrogen metabolism, translocation, and recycling in apple trees. *Horticultural Reviews*, 1982, 4: 204-246.
- [9] Millard P. Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernah*, 1996, 159: 1-10.
- [10] Nario A, Pino I, Zapata F, Albornoz M P, Baherle P. Nitrogen (<sup>15</sup>N) fertilizer use efficiency in peach (*Prunus persica* L.) cv. Goldencrest trees in Chile. *Scientia Horticulturae*, 2003, 97: 279-287.
- [11] 顾曼如. <sup>15</sup>N 在苹果氮素营养研究中的应用. *中国果树*, 1991, (2): 46-48.
- Gu M R. The application of <sup>15</sup>N in the research of nitrogen nutrition on apples. *China Fruits*, 1991, (2): 46-48. (in Chinese)
- [12] 徐季娥, 林裕益, 吕瑞江, 陈良, 高占峰. 鸭梨秋施<sup>15</sup>N-尿素的吸收与分配. *园艺学报*, 1993, 20: 145-149.
- Xu J E, Lin Y Y, Lü R J, Chen L, Gao Z F. Studies on the absorption and the distribution of <sup>15</sup>N-Labelled urea to 'Yali' pear trees following autumn application. *Acta Horticulturae Sinica*, 1993, 20: 145-149. (in Chinese)
- [13] 孙俊, 章镇, 盛炳成, 孙其宝. 果梅对秋施<sup>15</sup>N-硫酸铵的吸收与利用. *园艺学报*, 2000, 29: 317-320.
- Sun J, Zhang Z, Sheng B C, Sun Q B. Studies on the absorption and distribution of <sup>15</sup>N-labelled ammonium calcium to *Prunus mume* following autumn application. *Acta Horticulturae Sinica*, 2002, 29: 317-320. (in Chinese)
- [14] Millard P. Internal cycling of nitrogen in trees. *Acta Horticulturae*, 1995, 383: 3-14.
- [15] 顾曼如, 束怀瑞, 周宏伟. 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*, 1986, 13(1): 25-29.
- Gu M R, Shu H R, Zhou H W. A study on the nitrogen nutrition of apple trees IV. The characters of translocation and distribution of the reserved <sup>15</sup>N. *Acta Horticulturae Sinica*, 1986, 13(1): 25-29. (in Chinese)
- [16] 姜丽娜, 李春喜, 代西梅, 尚玉磊, 吴勇. 超高产小麦氮素吸收、积累及分配规律的研究. *麦类作物学报*, 2000, 20(2): 53-59.
- Jiang L N, Li C X, Dai X M, Shang Y L, Wu Y. Study on the absorption, accumulation and distribution of nitrogen in super high yielding wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2000, 20(2): 53-59. (in Chinese)
- [17] Khemira H, Righetti TL, Azarenko A N. Nitrogen partitioning in apple as affected by timing and tree growth habit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 1998, 73: 217-223.
- [18] Tagliavini M, Millard P, Quartieri M, Marangoni B. Timing of nitrogen uptake affects winter storage and spring remobilisation of nitrogen in nectarine (*Prunus persica* var. *nectarina*) trees. *Plant and Soil*, 1999, 211: 149-153.
- [19] Quartieri M, Tagliavini M, Marangoni B, Millard P. Storage and remobilisation of nitrogen in nectarine trees is affected by the timing of N uptake. *Acta Horticulturae*, 1998, 465: 319-326.
- [20] Toselli M, Flore J A, Zavalloni C, Marangoni B. Nitrogen partitioning in apple trees as affected by application time. *HortTechnology*, 2000, 10 (1): 136-141.
- [21] Quartieri M, Millard P, Tagliavini M. Storage and remobilisation of nitrogen by pear (*Pyrus communis* L.) trees as affected by timing of N supply. *European Journal of Agronomy*, 2002, 17: 105-110.
- [22] Smith M W, Cheary B, Carroll B. Time of nitrogen application and phosphorus effects on growth, yield, and fruit quality of pecan. *HortScience*, 1995, 30: 532-534.
- [23] Kraimer R A, Lindemann W C, Herrera E A. Recovery of late-season <sup>15</sup>N-labeled fertilizer applied to pecan. *HortScience*, 2004, 39: 256-260.

(责任编辑 曲来娥)