

# 冬枣果实硬核期对<sup>15</sup>N-尿素吸收、分配及再利用特性研究\*

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> 巨晓棠<sup>3</sup> 张福锁<sup>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> 中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

**【摘要】** 以盆栽冬枣为试材,研究了冬枣果实硬核期土施<sup>15</sup>N-尿素条件下N的吸收、分配和再利用特性。结果表明,果实膨大期,细根中的肥料氮比率(Ndff%)最高为10.64%,其次为新生营养器官。果实采收后,叶片和枣吊中的<sup>15</sup>N回撤;翌年萌芽前,粗根中的Ndff%最高(3.69%);盛花期,新生营养器官(当年生枣头枝、枣吊、叶片和花)中的Ndff%最高。果实硬核期施肥后,当年根系吸收的<sup>15</sup>N-尿素主要用于营养生长(叶片、枣吊、根系),回撤<sup>15</sup>N优先贮藏于根系,休眠季节根系(54.01%)贮藏<sup>15</sup>N略高于地上部器官(45.99%),主要的<sup>15</sup>N贮藏器官为粗根(38.61%)。地上部枝干中的贮藏<sup>15</sup>N从采果后到萌芽前含量变化剧烈,可作为贮藏<sup>15</sup>N营养诊断的“靶器官”,同期粗根中贮藏<sup>15</sup>N变幅较小,属长期“库”。贮藏<sup>15</sup>N具有就近利用的特性,其分配随生长中心的转移而转移。

**关键词** 冬枣 果实硬核期 <sup>15</sup>N-尿素 吸收 分配 再利用

**文章编号** 1001-9332(2006)01-0027-04 **中图分类号** S665.1 **文献标识码** A

**Absorption and distribution of nitrogen from <sup>15</sup>N labelled urea applied at core-hardening stage in winter jujube.** ZHAO Dengchao<sup>1</sup>, JIANG Yuanmao<sup>1</sup>, PENG Futian<sup>1</sup>, ZHANG Jin<sup>2</sup>, ZHANG Xu<sup>1</sup>, JU Xiaotang<sup>3</sup>, ZHANG Fusuo<sup>3</sup> (<sup>1</sup>College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; <sup>2</sup>College of Environmental and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; <sup>3</sup>Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(1):27-30.

The study with pot experiment showed that at the rapid-swelling stage of winter jujube fruit, the percent of nitrogen derived from fertilizer (Ndff%) was the highest (10.64%) in fine roots, followed by new-growth nutritive organs. The absorbed urea-<sup>15</sup>N decreased in leaves and deciduous supers, and accumulated preferentially in root systems after harvest. The Ndff% in coarse roots was the highest (3.69%) before budding stage, while that in new-growth organs (new branches, deciduous supers, leaves and flowers) was the highest at full-blooming stage. The urea-<sup>15</sup>N applied at core-hardening stage mainly allocated in nutritive organs (leaves, deciduous supers, roots) in the first year, with the distribution rate 54.01% in root systems in winter, which was higher than that in branches (45.99%). The <sup>15</sup>N stored in main branches changed drastically from post-harvest to budding stage. Main branches could be regarded as the 'target organs' of N storage, while coarse roots were the 'long-term sink' of N storage. The N reserve distributed preferentially in contiguity organs, and the distribution center changed with the growth and development of winter jujube in next spring.

**Key words** *Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* Rehd. (winter jujube), Fruit core-hardening stage, <sup>15</sup>N Labeled urea, Absorption, Distribution, Reutilization.

## 1 引言

冬枣 (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* Rehd.) 是品质优良的晚熟鲜食枣品种之一。据2003年统计,全国栽培面积已达190 000 hm<sup>2</sup>。作为近十几年迅速发展起来的新兴优良果树品种,对冬枣的研究仅局限于品种介绍、栽培技术、贮藏保鲜<sup>[1,6,14,22]</sup>等,而有关冬枣的基础研究明显滞后于生产。

氮是植物合成蛋白质、核酸及各种生理活性物质的重要成分<sup>[9,15,16]</sup>,落叶果树早春生长、开花等

主要依赖树体的贮藏营养<sup>[7,18,19]</sup>。冬枣果实采收晚,养分回流时间短,萌芽后生殖器官和营养器官交叠建造,对贮藏氮营养要求更高。研究表明,土壤温度影响果树营养和水分的吸收、根系和枝条的生长等<sup>[2,10,20]</sup>。枣树原产于亚热带,其根系生长温度要求较高,而晚秋和早春温度低,影响根系的生长和对养分的吸收,导致树体贮藏营养不足,加剧了器官间

\* 国家农业部948资助项目(2003-Z53)。

\*\* 通讯联系人。

2004-12-27收稿,2005-04-19接受。

的营养竞争,是冬枣座果率较低的原因之一<sup>[7]</sup>.为此,我们在温度较高,且冬枣对养分需求较多的果实硬核期(8月1日)进行了土施<sup>15</sup>N-尿素试验,研究<sup>15</sup>N当年的吸收、分配、冬季贮藏及翌年春的再利用特性,以期为冬枣施肥提供理论依据.

## 2 材料与方法

试验在山东滨州冬枣研究院试验田进行,试材为4年生初果期冬枣,砧木为金丝小枣.选生长势基本一致、无病虫害的树15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 kg·盆<sup>-1</sup>)内,浇水后把盆埋于土中.盆内土壤理化性状为:pH 8.00,有机质0.95%,碱解氮50.34 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷30.97 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾50.65 mg·kg<sup>-1</sup>.

于2003年果实硬核期(8月1日)选用生长势一致的树12株,树高约1.2 m,树干直径约2.5 cm,冠幅约0.8 m.每株施用丰度为10.22%的<sup>15</sup>N-尿素(上海化工研究院生产)3 g,同时施入尿素7 g、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 10 g,施肥后立即浇水,常规管理.分别在果实速长期(2003年9月1日)、果实采收期(2003年10月5日)、翌年萌芽前(2004年3月6日)、盛花期(2004年6月9日)取整株树解析分析,包括粗根(直径0.2~2.5 cm)、细根(直径≤0.2 cm)、主干(中心干)、多年生枣头枝、新生枣头枝、枣吊、叶片和果实,枝干分离木质部、皮部.每次取样3株,3次重复.样品用蒸馏水洗净,于105~110℃下杀青30 min,80℃烘干,不锈钢电磨粉碎后过0.25 mm筛,混合后装袋待测.

凯氏定氮法测定全氮, MAT-251质谱仪测定<sup>15</sup>N丰度.

## 3 结果与分析

### 3.1 不同物候期植株与器官全氮的积累与分布

植株全氮在各器官中的分布随物候期的变化而变化(表1).果实膨大期植株氮素主要分布在营养

器官(叶片、枣吊、新生枣头枝),叶片的积累量最高,为35.36%,其次为细根(19.61%).果实采收期,叶片中积累的氮素下降,仅占总量的14.84%,与果实膨大期相比下降了20.52%,而贮藏器官(粗根、枝干)氮素累积量上升,特别是粗根,从13.43%增加到31.81%,表明叶片中的氮在果实采收前已开始回流,并优先贮藏于粗根.翌年萌芽前,地上部氮素主要分布在主干(32.69%),地下部主要贮藏于粗根(34.72%).到盛花期,贮藏器官中的氮素开始向新生器官转移,有26.28%的氮用于地上部新生营养器官(枣吊、叶片、新生枣头枝)的建造.这部分氮主要来源于枝干,粗根中氮的下降幅度较小.

### 3.2 不同物候期植株各器官的 Ndff%

器官的 Ndff%<sup>[4]</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.不同物候期各器官的 Ndff%差异较大(表2),果实膨大期新生营养器官(细根、枣吊、叶片、新生枣头枝)对<sup>15</sup>N的竞争能力较强,其中细根的 Ndff%最大,为10.64%,表明土壤<sup>15</sup>N-尿素由细根吸收后主要用于营养生长.果实采收期,细根中 Ndff%仍为最高,粗根对<sup>15</sup>N吸收竞争能力与果实膨大期相比增强,叶片、枣吊对<sup>15</sup>N吸收竞争能力与果实膨大期相比有所下降,表明细根吸收的<sup>15</sup>N外运量减少,且叶片、枣吊营养器官中<sup>15</sup>N已开始回流并优先贮藏于粗根.翌年萌芽前,植株吸收的<sup>15</sup>N在粗根中 Ndff%最高(3.69%),其次为新生枣头枝(木质部3.51%,皮部3.56%).盛花期,新生营养器官(细根、叶片、枣吊、新生枣头枝)的 Ndff%最高,多年生枝干中的 Ndff%明显降低,而粗根中的 Ndff%并未下降,表明

表1 不同物候期植株与器官全氮的积累与分布

Table 1 Total N accumulation and distribution in the tree and organs at different phenological periods

器官 Organ		全氮 Total N (mg, %)			
		I	II	III	IV
主干 Trunk	木质部 Xylem	555.43(9.07)	526.09(8.74)	542.68(13.18)	593.22(9.47)
	皮部 Cortex	530.88(8.67)	536.46(8.91)	803.24(19.51)	622.13(9.93)
多年生枣头枝 Perennial branch	木质部 Xylem	92.01(1.50)	122.18(2.03)	237.60(5.77)	253.24(4.04)
	皮部 Cortex	93.46(1.53)	176.18(2.93)	295.53(7.18)	265.99(4.25)
	枣吊 Deciduous spur	161.38(2.64)	109.11(1.81)	-	122.98(1.96)
新生枣头枝 New growth branch	叶片 Leaf	1103.89(18.03)	418.07(6.94)	-	739.17*(11.80)
	木质部 Xylem	94.20(1.54)	100.40(1.67)	41.28(1.00)	28.25(0.45)
果实 Fruit	皮部 Cortex	121.18(1.98)	93.79(1.56)	56.72(1.38)	54.85(0.88)
	枣吊 Deciduous spur	122.66(2.00)	74.73(1.24)	-	94.15(1.50)
	叶片 Leaf	1060.90(17.33)	453.71(7.54)	-	607.08*(9.69)
粗根 Coarse root		162.50(2.65)	297.71(4.94)	-	-
细根 Fine root		821.98(13.43)	1915.10(31.81)	1429.93(34.72)	1858.71(29.68)
植株 Tree		1200.36(19.61)	1197.30(19.89)	710.91(17.26)	1022.77(16.33)
		6120.83	6020.83	4117.89	6262.53

I. 果实速长期 Fruit rapid-swelling stage; II. 果实采收期 Harvest stage; III. 萌芽前 Before budding; IV. 盛花期 Full-blooming stage. \* 叶片和花混合 Leaf and flower mixed together. 下同 The same below.

表2 不同物候期各器官 Ndff%和<sup>15</sup>N分配率Table 2 Ndff% and <sup>15</sup>N partition percentage of different organs at different phenological periods

器官 Organ		Ndff %				<sup>15</sup> N 分配率 <sup>15</sup> N partition percentage (%)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
主干 Trunk	木质部 Xylem	7.30	4.61	3.46	2.40	8.01	8.06	13.73	6.23
	皮部 Cortex	6.83	4.23	2.99	2.40	7.17	7.55	17.58	6.54
多年生枣头枝 Perennial branch	木质部 Xylem	7.61	4.43	3.06	2.77	1.38	1.80	5.32	3.08
	皮部 Cortex	7.21	4.39	3.17	2.89	1.33	2.57	6.84	3.38
	枣吊 Deciduous spur	8.27	5.04	-	4.01	2.64	1.83	-	2.16
	叶片 Leaf	7.31	5.18	-	4.08	15.95	7.19	-	13.23
新生枣头枝 New growth branch	木质部 Xylem	8.58	4.54	3.51	4.19	1.60	1.51	1.06	0.52
	皮部 Cortex	7.62	4.41	3.56	4.23	1.82	1.38	1.48	1.02
	枣吊 Deciduous spur	8.47	5.10	-	4.13	2.06	1.27	-	1.71
	叶片 Leaf	8.17	5.00	-	4.12	17.14	7.55	-	10.98
果实 Fruit		7.41	4.83	-	-	2.38	4.78	-	-
粗根 Coarse root		8.18	5.06	3.69	3.92	13.29	32.19	38.61	31.94
细根 Fine root		10.64	5.61	2.96	4.14	25.23	22.33	15.40	18.58

冬枣早期生长发育所需贮藏<sup>15</sup>N 主要来源于地上部贮藏器官,贮藏<sup>15</sup>N 的利用随生长中心的转移而转移.果实硬核期施<sup>15</sup>N 后,植株各器官 Ndff% 随时间的推移而呈下降趋势,可能是非示踪氮的稀释作用<sup>[12]</sup>和土壤中残留<sup>15</sup>N-尿素量减少共同作用的结果.

### 3.3 不同物候期植株各器官中<sup>15</sup>N 的分配率

各器官中<sup>15</sup>N 占全株<sup>15</sup>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>[21]</sup>.冬枣果实硬核期施肥后,不同物候期<sup>15</sup>N 的分配率不同(表2).果实膨大期树体内的<sup>15</sup>N 有 63.01% 分配在当年新生营养器官(枣吊、叶片、细根),分配率最高的器官是叶片(33.09%),其次是细根(25.23%)、主干(15.18%)和粗根(13.29%),表明此时期<sup>15</sup>N 主要用于营养生长;果实采收期,粗根和多年生枝干中的分配率增加,其中粗根中<sup>15</sup>N 分配率由果实膨大期的 13.29% 上升到 32.19%,叶片、枣吊中的<sup>15</sup>N 分配率由果实膨大期的 33.09% 和 4.70% 下降到 14.74% 和 3.10%,表明果实采收后地上部营养器官(叶片、枣吊)中的<sup>15</sup>N 已经回流到贮藏器官;翌年萌芽前,<sup>15</sup>N 分配在地上部、地下部各半,而<sup>15</sup>N 绝大部分(82.02%)贮藏于粗根和多年生枝干;盛花期,新生枣头枝、枣吊、叶片和花中<sup>15</sup>N 分配率显著增加,至 6 月 9 号采样时分配到叶片、枣吊和花中<sup>15</sup>N 量已达植株 28.07%,根系<sup>15</sup>N 分配率为 50.51%,较萌芽前的 54.00% 并无明显下降,而多年生枝干<sup>15</sup>N 分配百分比由萌芽前的 43.36% 降为 19.21%,表明春季冬枣树体生长发育需要的贮藏<sup>15</sup>N 营养主要来源于地上部,从萌芽前到盛花期,其贮藏<sup>15</sup>N 变化剧烈,为贮藏营养的临时“库”,可视为<sup>15</sup>N 贮藏营养诊断的“靶器官”,粗根中<sup>15</sup>N 贮藏营养变幅较少,

为<sup>15</sup>N 贮藏器官的长期贮藏“库”.

## 4 讨 论

冬枣果实硬核期施用<sup>15</sup>N-尿素,果实膨大期当年新生营养器官中的 Ndff% 明显高于贮藏器官,其中细根中的 Ndff% 最高可达 10.64%,其次为新生营养器官,贮藏器官较低;果实中的 Ndff% 为 7.41%,低于新生营养器官.果实采收期细根中 Ndff% 仍为最高,粗根对<sup>15</sup>N 吸收竞争能力与果实膨大期相比增强,叶片、枣吊对<sup>15</sup>N 吸收竞争能力与果实膨大期相比下降,叶片、枣吊中<sup>15</sup>N 已开始回流并优先贮藏于粗根.这与 Sugar 等<sup>[15]</sup>的建议相一致,即在‘Comice’梨采收前施用氮肥,不会增加果实氮浓度,而有利于增加氮素营养贮藏和促进贮藏氮素向花芽的运输.冬枣果实硬核期施用<sup>15</sup>N-尿素,肥料吸收后不仅可满足当年营养生长的需求,而且果实采收期地上部当年新生营养器官(叶片、枣吊)中<sup>15</sup>N 已经开始回流,有利于提高冬季树体贮藏氮水平.但此期施氮肥可促进营养生长,且部分氮会在果实中积累,因此需要进一步研究不同施氮量对果实品质和树体贮藏氮水平的影响,以确定最佳的氮肥用量.

Titus 等<sup>[19]</sup>认为,多年生落叶果树冬季贮藏氮主要部位是细枝和主干皮层,根系能否作为贮藏氮的重要部位则观点不一<sup>[11,17]</sup>.巨峰葡萄主要贮藏于根部,尤以粗根最多<sup>[5]</sup>;范志强等<sup>[3]</sup>在水曲柳上的研究也表明根系为氮的主要贮藏器官.就冬枣而言,果实硬核期施用氮肥后,休眠季节根系<sup>15</sup>N 贮藏略高于地上部器官,主要的氮素贮藏器官为粗根. Sanchez 等<sup>[13]</sup>也认为,梨树采收期施用氮肥大多贮藏于根部,只有一小部分贮藏在地上部的花芽等器

官. 翌年萌芽后, 冬枣生长发育所需的 $^{15}\text{N}$ 营养主要来源于地上部枝干, 因此枝干为 $^{15}\text{N}$ 贮藏的临时“库”, 可视作为 $^{15}\text{N}$ 营养贮藏诊断的“靶器官”, 而粗根为 $^{15}\text{N}$ 贮藏的长期“库”, 其作用更为重要. 翌年春, 贮藏 $^{15}\text{N}$ 再分配随生长中心的转移而转移, 粗根可作为新吸收氮的贮藏器官, 果实硬核期到果实膨大期, 吸收氮营养直接用于生长发育的需要. 考虑到地上部枝干作为冬枣 $^{15}\text{N}$ 营养贮藏诊断的“靶器官”, 建议生产中可与冬季采果后根外施用高浓度尿素以增加树体冬季的贮藏 $^{15}\text{N}$ 水平<sup>[8]</sup>, 或萌芽前枝条施用尿素增加枝干氮素水平<sup>[23]</sup>. 关于采果后根外施用尿素的吸收、分配及再利用特性有待于进一步研究.

#### 参考文献

- Chen X-G(陈学贵), Zhao Z-F(赵之峰). 1999. Elementary introduction on the resource of winter-date jujube in Shandong Province. *China Fruit Veg* (中国果菜), 1:28(in Chinese)
- Dong S, Scagel CF, Cheng L, et al. 2001. Soil temperature and plant growth stage influence nitrogen uptake and amino acid concentration of apple during early spring growth. *Tree Physiol*, 21(8):541~547
- Fan Z-Q(范志强), Wang Z-Q(王政权), Wu C(吴 楚), et al. 2004. Effect of different nitrogen supply on *Fraxinus mandshurica* seedling's biomass, N partitioning and their seasonal variation. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(9):1497~1501(in Chinese)
- Gu M-R(顾曼如). 1991. The application of  $^{15}\text{N}$  in the study of nitrogen nutrition on apples. *China Fruits* (中国果树), (2):46~48(in Chinese)
- Guan C-Z(管长志), Zeng X(曾 骥), Meng Z-Q(孟昭清). 1993. Effect of autumn foliar application of  $^{15}\text{N}$ -urea on absorption, translocation, storage and redistribution of fertilizer N in 'Kyoho' Grapevine. *Acta Hort Sin* (园艺学报), 20(3):237~242(in Chinese)
- Guo J-S(郭继胜). 2000. Elementary introduction on 'Lubei Dongzao' jujube. *Decid Fruits* (落叶果树), 5:12~13(in Chinese)
- Hao Z-N(郝中宁), Zeng X(曾 骥). 1991. Effect of foliar spray and ethephon in autumn on nitrogen storage and reutilization in jujube trees. *Acta Hort Sin* (园艺学报), 18(2):102~106(in Chinese)
- Johnson RS, Rosecrance R, Weinbaum S, et al. 2001. Can we approach complete dependence on foliar-applied urea nitrogen in an early-maturing peach? *J Am Soc Hort Sci*, 126(3):364~370
- Ma X-M(马新明), Wang Z-Q(王志强), Wang X-C(王小纯), et al. 2004. Effects of nitrogen forms on roots and N fertilizer efficiency of different wheat cultivars with specialized end-uses. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(4):655~658(in Chinese)
- McMichael BL, Burke JJ. 1988. Soil temperature and root growth. *Hortscience*, 33:947~951
- Miller RJ, Smith RB. 1976. Nitrogen balance in the southern San Joaquin Valley. *J Environ Qual*, 5:274~278
- Nario A, Pino I, Zapata F, et al. 2003. Nitrogen( $^{15}\text{N}$ ) fertilizer use efficiency in peach(*Prunus persica* L.) cv. Golden crest trees in Chile. *Sci Hort*, 97(3/4):279~287
- Sanchez EE, Righetti TL, Sugar D, et al. 1992. Effects of timing of nitrogen application on nitrogen partitioning between vegetative, reproductive, and structural components of mature Comice pears. *J Hort Sci*, 67:51~58
- Shan G-H(单公华), Guo Y-X(郭裕新), Zhou G-F(周广芳), et al. 2002. A late-ripening variety — 'Lubei Dongzao' jujube. *China Fruits* (中国果树), 1:54(in Chinese)
- Sugar D, Righetti TL, Sanchez EE, et al. 1992. Management of nitrogen and calcium in pear trees for enhancement of fruit resistance to postharvest decay. *Hort Technol*, 2(3):382~387
- Sui F-G(隋方功), Wang Y-H(王运华), Chang Y-C(长友诚), et al. 2002. Effect of fertilization on the qualities of sweet pepper in greenhouse culture. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(1):63~66(in Chinese)
- Sun J(孙 俊), Zhang Z(章 镇), Sheng B-C(盛炳成), et al. 2002. Studies on the absorption and distribution of  $^{15}\text{N}$ -labelled ammonium calcium to *Prunus mume* following autumn application. *Acta Hort Sin* (园艺学报), 29(4):317~320(in Chinese)
- Tagliavini M, Millard P, Quartieri M, et al. 1999. Timing of nitrogen uptake affects winter storage and spring remobilisation of nitrogen in nectarine. *Plant Soil*, 211(2):149~153
- Titus JS, Kang S. 1982. Nitrogen metabolism, translocation, and recycling in apple trees. *Hort Rev*, 4:204~246
- Toselli M, Flore JA, Marangoni B, et al. 1999. Effects of root-zone temperature on nitrogen accumulation by non-bearing apple trees. *J Hort Sci Biotechnol*, 74(1):118~124
- Xu J-E(徐季娥), Lin Y-Y(林欲益), Lü R-J(吕瑞江), et al. 1993. Studies on the absorption and the distribution of  $^{15}\text{N}$ -labelled urea to 'Yali' pear trees following autumn application. *Acta Hort Sin* (园艺学报), 20(2):145~149(in Chinese)
- Xu X-Q(徐秀琴), Guan Y-Y(管跃义), Jia Z-K(贾宗谔). 2000. Biological characteristics of Dongzao jujube and its cultivation and management techniques. *Hebei J For Orchard Res* (河北林果研究), 15(5):162~163(in Chinese)
- Zhang J(张 进), Jiang Y-M(姜远茂), Zhao D-C(赵登超), et al. 2004. The characteristics of absorption, distribution and utilization to urea in branches before sprout of Zhanhua winter-date jujube (*Z. jujuba* Mill. var. *inermis* Rehd.). *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 10(6):671~673(in Chinese)

作者简介 赵登超,男,1980年生,硕士研究生.主要从事果树营养生理研究. E-mail:zdc-1@163.com

责任编辑 肖 红