

休眠期苹果树体不同器官氮素的分布

樊红柱¹,同延安²,吕世华¹

(1 四川省农业科学院 土壤肥料研究所,四川 成都 610066;2 西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探讨休眠期苹果树体不同器官生物量与氮素分布的规律。【方法】以 9 年生红富士苹果树为对象,对休眠期不同器官及其皮层和木质部的生物量、氮含量与氮累积量进行了详细分析。【结果】休眠期苹果树体地上部与根系的生物量分别占树体的生物量的 77.17%和 22.83%;树体皮层和木质部生物量分别占单株树体生物量的 21.29%和 77.96%;根系生物量随深度增加而降低,71.18%的根分布在 0~40 cm 土层中。树体各器官皮层的氮含量均高于其木质部;枝及其皮层和木质部氮含量随枝龄的增加而减少;同一土层细根的氮含量大于粗根。休眠期苹果树体 69.85%的氮累积在地上部,且主要贮藏在 3~8 年枝的木质部,而根系的氮素主要贮藏于 0~20 cm 的粗根木质部;根系氮累积量随深度增加而降低;在同一土层中,粗根氮累积量明显高于细根。【结论】苹果树休眠期氮素在树体内的储存量表现为地上部大于根系,木质部大于皮层。

【关键词】 苹果树;休眠期;生物量;氮素分布

【中图分类号】 S661.106+.2 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2008)01-0153-05

Study on nitrogen distribution in different organs
of apple tree at dormancy

FAN Hong-zhu¹, TONG Yan-an², LU Shi-hua¹

(1 Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agriculture Sciences, Chengdu, Sichuan 610066, China;
2 College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The objective of this study was to find biomass and nitrogen distribution in different parts of dormancy apple trees. 【Method】 9 year-old red “Fuji” apple trees were used as materials in the experiment. Biomass, nitrogen concentration and accumulation in organs and their cortex and xylem of dormancy apple trees were analyzed. 【Result】 The results show that above ground part and root system biomass account for 77.17% and 22.83%, respectively. Cortex and xylem dry weights are respectively 21.19% and 77.96% of a tree. With the depth, root system biomass reduces. And 71.18% roots distribute to 0—40 cm soil layer. Nitrogen concentration in cortex was higher than that in xylem. Nitrogen concentration of branches and their cortex and xylem fall, with branch age. And nitrogen content of fine roots is higher than that of large roots in the same soil layer. 69.85% total nitrogen in apple tress store in above ground part. And nitrogen mainly accumulates in 3—8 year branch xylem. But root system nitrogen accumulation mainly assigns to large roots xylem. Nitrogen accumulation of root system declines with soil layer. At the same soil layer, nitrogen accumulation in large roots is higher than that in fine roots. 【Conclusion】 Nitrogen accumulation and storage of the tree is higher in above ground and xylem than that in the roots and cortex.

* [收稿日期] 2007-01-15
[基金项目] 农业部“948”重大引进项目(2003-Z53);PPI/PPIC 资助项目
[作者简介] 樊红柱(1978—),男,陕西蓝田人,硕士,主要从事植物营养元素循环与调控研究。E-mail: fanhongzhu@tom.com
[通讯作者] 同延安(1956—),男,陕西华县人,教授,博士,博士生导师,主要从事土壤化学、植物营养、施肥与环境、农业生态、农业环境保护与食品安全等研究。E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn

Key words: apple tree;dormancy;biomass;nitrogen distribution

氮素对苹果树的生长发育有着非常重要的作用,其对苹果树营养生长、开花、坐果、产量形成及品质的效应促进已经得到了广泛的证实^[1-4]。然而 Olivier 等^[5] 研究报道,氮肥施用过多或不当,可导致果实品质下降、树体旺长等不良影响。果树不同于一年生植物,树体经过多年的吸收,枝干及根系内可贮藏大量的养分,这部分养分对果树翌年萌芽展叶、开花坐果、枝条生长、花芽分化和果实早期生长等非常重要,与果树的大小年也密切相关^[6-8]。以往在果树氮素营养方面的研究,大多属于定性研究^[9-12],关于定量的研究报道相对较少。本研究对休眠期苹果树不同器官及其皮层、木质部的生物量、氮含量与氮累积量进行定量分析,初步研究了休眠期苹果树不同器官氮素的贮藏分布特性,以期为果树生产上的科学施肥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试材选自陕西苹果产区岐山县扣村。果园中心位于东经 107°34'45",北纬 34°28'25"。该区属暖温带半湿润气候,多年平均降水量为 631.5 mm,平均气温为 11.9℃。供试品种为 9 年树龄红富士,砧木为八棱海棠(*M. micromalus. Makino*),株行距 2 m×3 m,土质为壤土,土壤碱解氮含量为 41.45 mg/kg,速效磷含量为 13.01 mg/kg,速效钾含量为 174.23 mg/kg,pH 值为 8.46,含有机质 11.5 g/kg。该地地势平坦,可灌溉。2004-10-20 每株苹果树施纯氮 381 g。

1.2 研究方法

试验于 2005-01-15(休眠期)进行。在园中选择 3 株长势基本一致、无病虫害的正常苹果树进行采样,即按 1 年枝、2 年枝、3~8 年枝、树干、粗根(直径>5 mm)和细根(直径≤5 mm)进行解体;其中根系按每 20 cm 为 1 层,收集距主干半径为 100 cm,深 0~100 cm 的所有根系。分别称量不同器官的总质量(鲜),并测定其含水量。

1.3 测定项目与方法

样品在 100~105℃ 温度下杀酶 15 min,然后在 70~80℃ 温度下烘干至恒重。样品粉碎后,用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解,Tector5020 流动注射分析仪测定全氮含量。氮累积量=器官生物量×全氮含量。所有数据均为 3 株树的平均值。

1.4 数据处理

数据采用 EXCEL 和 SAS 软件进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 休眠期苹果树体氮素的分布特性

2.1.1 苹果树体氮含量及其氮累积量 表 1 为休眠期苹果树体不同器官的生物量与氮含量、氮累积量的变化。由表 1 可知,休眠期苹果树不同器官生物量差异较大。苹果树体的生物量为 22.69 kg,地上部和根系生物量分别为 17.51 与 5.18 kg,分别占树体生物量的 77.17%和 22.83%。在果树各器官中,3~8 年枝的生物量最大,为 8.35 kg;树干次之,达 7.19 kg;细根最小,为 0.14 kg。方差分析结果表明,3~8 年枝与树干间及 1 年枝、2 年枝与细根生物量间均无显著差异;粗根与其他器官的生物量差异均达显著水平。

表 1 苹果树体不同器官生物量与氮含量、氮累积量的变化
Table 1 Change of biomass,N content and accumulation in different organs of apple trees

器官 Organs	生物量/kg Biomass	氮含量/(g·kg ⁻¹) N content	氮累积量/g N accumulation
1 年枝 1 year branch	1.17 c	7.89 ab	9.23 c (8.15)
2 年枝 2 year branch	0.80 c	6.83 b	5.46 c (4.82)
3~8 年枝 3—8 year branch	8.35 a	4.55 c	37.99 a (33.53)
树干 Trunk	7.19 a	3.68 c	26.46 b (23.35)
粗根 Large roots	5.04 b	6.53 b	32.91 a (29.04)
细根 Fine roots	0.14 c	8.99 a	1.26 d (1.11)

注:同列数据后标不同字母者表示差异显著($P<0.05$),下表同。括号内数值表示该器官氮累积量占单株树体氮累积总量的百分比(%),表 2 同。

Note: values followed by different letters in the column are significant at $P<0.05$,the same as in following table. The numbers in parentheses are percent of total N in apple trees;the same as in table 2.

由表 1 还可以看出,休眠期苹果树不同器官中的氮含量为 3.68~8.99 g/kg。1 年枝、2 年枝、3~8 年枝和树干的氮含量分别为 7.89,6.83,4.55 和 3.68 g/kg。表明随枝龄增加,氮含量减小,这与孙俊等^[13]在果梅上的研究结果相似。细根氮含量为各器官之首,为 8.99 g/kg,细根氮含量与 1 年枝无显

著差异,但与其他器官的差异达显著水平。

表 1 还表明,休眠期苹果树不同器官中的氮累积量差异较大。单株树体氮累积总量为 113.31 g,地上部和根系氮累积量分别为 79.14 和 34.17 g,分别占单株氮累积总量的 69.85%和 30.15%,说明苹果树休眠期绝大部分氮素分布在地上部。这与管长志等^[14]的研究结果一致。而 Neilsen 等^[15]的研究表明,苹果树休眠期氮素主要贮存于根系,这可能与果树氮素贮藏受树龄、枝根生长状况、施肥时期及施肥方式等因素的影响有关。不同器官中,3~8 年枝的氮累积量最多,为 37.99 g,占单株树体氮累积量的 33.53%;其次是粗根,氮累积量达 32.91 g;树干氮累积量(26.46 g)为第三;细根最小,为 1.26 g。说明休眠期苹果树氮素的主要贮藏器官是 3~8 年

表 2 苹果树体不同器官皮层、木质部生物量与氮含量、氮累积量的变化

Table 2 Change of biomass, N content and accumulation in cortex and xylem of different organs in apple trees

器官 Organs	皮层 Cortex			木质部 Xylem		
	生物量/kg Biomass	氮含量/(g·kg ⁻¹) N content	氮累积量/g N accumulation	生物量/kg Biomass	氮含量/(g·kg ⁻¹) N content	氮累积量/g N accumulation
1 年枝 1 year branch	0.35 d	12.35 a	4.32 c(3.81)	0.81 c	6.06 a	4.91 b(4.33)
2 年枝 2 year branch	0.24 d	11.32 ab	2.72 c(2.40)	0.56 c	4.91 b	2.75 b(2.43)
3~8 年枝 3~8 year branch	1.90 a	9.91 ab	18.83 a(16.62)	6.44 a	2.97 c	19.13 a(16.88)
树干 Trunk	1.02 c	9.64 ab	9.83 b(8.68)	6.17 a	2.69 c	16.60 a(14.65)
粗根 Large roots	1.32 b	9.05 b	11.95 b(10.54)	3.71 b	5.65 a	20.96 a(18.50)

表 2 还表明,各器官皮层氮含量以 1 年枝最高,为 12.35 g/kg;2 年枝次之,为 11.32 g/kg,3~8 年枝、树干、粗根的氮含量为 9.05~9.91 g/kg,表明枝皮层氮含量随枝龄增加而降低。各器官木质部氮含量为 2.69~6.06 g/kg,其中 1 年枝、2 年枝、3~8 年枝和树干氮含量分别为 6.06,4.91,2.97 和 2.69 g/kg,说明枝木质部氮含量随枝龄增加而下降。此外,同一器官皮层的氮含量均明显高于其木质部,表明养分回流期回流的氮素主要分配在皮层中。这与曾骧等^[11]对苹果叶片回流氮素贮藏规律的研究结果一致。方差分析结果表明,1 年枝与粗根皮层氮含量差异显著,其木质部氮含量无显著差异。2 年枝、3~8 年枝与树干皮层氮含量间无显著差异,而其 2 年枝木质部氮含量与 3~8 年枝和树干差异显著。

由表 2 还可知,休眠期苹果树皮层和木质部氮累积量分别为 47.65 和 64.35 g,分别占单株树体氮累积总量的 42.05%和 56.79%。说明休眠期木质部可能是氮素养分强大的贮藏“库”。3~8 年枝皮层氮素累积最高,为 18.83 g,占单株树体氮累积总量的 16.62%;粗根皮层氮素累积次之,为 11.95 g。说明休眠期苹果树皮层的氮素主要贮藏在 3~8 年枝与粗根中。在不同器官的木质部,粗根的氮累积量最

枝和粗根。不同器官氮累积量相比,3~8 年枝与粗根无显著差异,但与其他器官的差异均达显著水平。

2.1.2 皮层、木质部氮含量及其氮累积量 由表 2 可知,休眠期苹果树皮层、木质部的生物量分别为 4.83 和 17.69 kg,分别占单株树体生物量的 21.29%和 77.96%。在各器官皮层中,3~8 年枝的生物量最大,为 1.90 kg;粗根次之,为 1.32 kg;二年枝最小,为 0.24 kg。3~8 年枝与树干木质部的生物量分别为 6.44 和 6.17 kg,粗根木质部生物量为 3.17 kg,2 年枝木质部生物量最小,为 0.56 kg。方差分析结果表明,1 年枝和 2 年枝皮层和木质部生物量均无显著差异,3~8 年枝、树干和粗根皮层生物量差异显著;3~8 年枝与树干木质部生物量间无显著差异,而与粗根木质部差异显著。

多,为 20.96 g,占单株树体氮累积总量的 18.50%;3~8 年枝次之,为 19.13 g。说明休眠期苹果树木质部的氮素主要贮藏在 3~8 年枝与粗根中。方差分析结果表明,1 年枝与 2 年枝皮层及木质部中的氮累积量均无显著差异;3~8 年枝的氮累积量与树干、粗根在皮层差异显著,而在木质部无显著差异。

2.2 休眠期苹果树体根系氮素的分布特性

2.2.1 不同土层根系氮含量及其氮累积量 由表 3 可知,0~100 cm 土层根系生物量随土层深度的增加而降低,粗根生物量差异显著,细根生物量间无显著差异。0~40 cm 土层根系的生物量为 3.68 kg,占根系总生物量的 71.18%,所以该层是果园养分、水分管理的主要层次。

表 3 还表明,休眠期苹果树根系氮含量为 5.67~10.85 g/kg,同一土层中细根的氮含量均高于粗根。除 0~20 cm 土层外,其余各层粗根与细根的氮含量差异显著。不同器官中氮累积量差异较大,在 0~20,20~40,40~60,60~80 和 80~100 cm 土层中,根系氮累积量分别为 13.01,9.87,6.44,3.77 和 1.10 g,分别占根系氮累积量的 38.07%,28.86%,18.83%,11.04%和 3.20%,表明根系氮累积量随土层深度增加而降低,同时说明氮素主要贮藏在 0~

40 cm 土层的根系中。0~20 cm 土层粗根氮累积量最大,为 12.86 g,占根系氮累积量 37.62%;20~40 cm 土层粗根次之,为 9.47 g,这两个土层之间无显著差异。在同一土层粗根氮累积量明显高于细根,说明休眠期苹果树累积的氮素主要分布在 0~40 cm 土层的粗根中。

表 3 不同土层苹果树体根系生物量与氮含量、氮累积量的变化

Table 3 Change of biomass, N content and accumulation in roots of different soil layer in apple trees

土层深度/cm Depth	根系 Roots	生物量/kg Biomass	氮含量/(g·kg ⁻¹) N content	氮累积量/g N accumulation
0~20	粗根 Large roots	1.94 a	6.63 cd	12.86 a(37.62)
	细根 Fine roots	0.02 e	7.65 c	0.15 d(0.45)
20~40	粗根 Large roots	1.67 b	5.67d	9.47 a(27.69)
	细根 Fine roots	0.05 e	8.00 c	0.40 d(1.17)
40~60	粗根 Large roots	0.84 c	7.45 c	6.26 b(18.30)
	细根 Fine roots	0.02 e	9.02 b	0.18 d(0.53)
60~80	粗根 Large roots	0.43 d	7.77 c	3.34 c(9.77)
	细根 Fine roots	0.04 e	10.85 a	0.43 d(1.27)
80~100	粗根 Large roots	0.15 e	6.65 cd	1.00 d(2.92)
	细根 Fine roots	0.01 e	9.74 ab	0.10 d(0.28)

注:括号内数值表示各土层根系氮累积量占根系氮累积总量的百分比(%),下表同。
Note: the numbers in parentheses are percent of N accumulation in root system,the following table is the same.

2.2.2 不同土层粗根皮层、木质部氮含量及其氮累积量 从表 4 可以看出,除 0~20 cm 土层皮层外,随土层深度增加,粗根皮层与木质部生物量均逐渐降低,同一土层根系木质部的生物量明显高于皮层。休眠期苹果树粗根皮层和木质部总生物量分别为 1.32 和 3.72 kg,分别占单株根系的生物量的 25.48%和 71.81%。20~40 cm 土层的粗根皮层生物量最大,为 0.47 kg;0~20 cm 土层粗根次之,为 0.35 kg。粗根木质部生物量以 0~20 cm 土层最高,为 1.58 kg;20~40 cm 土层次之,为 1.21 kg。

表 4 不同土层苹果树体粗根皮层、木质部生物量与氮含量、氮累积量的变化

Table 4 Changes of biomass,N content and accumulation in cortex and xylem of large roots in different soil depth of apple trees

土层深度/cm Depth	皮层 Cortex			木质部 Xylem		
	生物量/kg Biomass	氮含量/(g·kg ⁻¹) N content	氮累积量/g N accumulation	生物量/kg Biomass	氮含量/(g·kg ⁻¹) N content	氮累积量/g N accumulation
0~20	0.35 b	10.91 a	3.82 a (11.17)	1.58 a	5.72 ab	9.04 a (26.43)
20~40	0.47 a	5.77 c	2.71 b (7.93)	1.21 b	5.59 b	6.76 b (19.78)
40~60	0.27 b	9.15 ab	2.47 b (7.23)	0.57 c	6.65 a	3.79 c (11.09)
60~80	0.17 c	10.58 a	1.80 b (5.26)	0.27 cd	5.71 ab	1.54 cd (4.51)
80~100	0.06 d	9.61 ab	0.58 c (1.69)	0.09 d	4.67 c	0.42 d (1.23)

在皮层中,0~20 cm 土层粗根的氮含量最高,为 10.91 g/kg;20~40 cm 土层粗根最小,为 5.77 g/kg。在木质部中,40~60 cm 土层粗根氮含量最大,为 6.65 g/kg;80~100 cm 土层粗根最小,为 4.67 g/kg。由表 4 还可知,粗根皮层、木质部氮累积量分别占单株根系氮累积量的 33.28%和 63.04%。不同土层间,以 0~20 cm 土层的粗根氮素积累量最高,其中皮层为 3.82 g,占单株根系氮累积量的11.17%;木质部为 9.04 g,占单株根系氮累积量的 26.43%。表明休眠期苹果树,根系 0~20 cm 土层的粗根木质部是主要的氮素贮藏“库”。

及其皮层和木质部生物量、氮素分布规律的分析,初步取得以下主要结果:

1)本试验条件下,休眠期苹果树体的总生物量为 22.69 kg,其地上部生物量和根系生物量分别占树体总生物量的 77.17%和 22.83%,树体皮层、木质部生物量分别占单株树体生物量的 21.29%和 77.96%。在各部分生物量中,均以 3~8 年枝最大。根系生物量的变化规律为:0~100 cm 土层的根系生物量随土层深度的增加而降低;不同土层间粗根生物量差异显著,细根生物量无显著差异;0~40 cm 土层的根系生物量占根系总生物量的 71.18%;同一土层根系的木质部生物量明显高于其皮层。

3 小 结

通过对 9 年树龄红富士苹果树休眠期不同器官 2)休眠期苹果树不同器官中的氮含量为3.68~8.99 g/kg。随着枝龄的增加,枝及其皮层和木质部

中的氮含量逐渐降低。细根氮含量为各器官之首,达 8.99 g/kg,细根与 1 年枝氮含量无显著差异,但与其他器官的差异达显著水平。各器官皮层氮含量均高于其木质部。根系氮含量为 5.67~10.85 g/kg,在同一土层中,细根氮含量均高于粗根。除 0~20 cm 土层外,其余各层粗根与细根的氮含量差异显著。

3)休眠期苹果树体绝大部分氮素分配在其地上部,地上部的氮累积量占单株氮累积总量(113.31 g)的69.85%。地上部的氮素主要贮藏在3~8年枝的木质部,根系氮素主要贮藏在粗根的木质部。根系氮累积量随土层深度的增加而降低,在同一土层中,粗根的氮累积量明显高于细根。休眠期苹果树根系中,0~20 cm 土层的粗根木质部是主要的氮素贮藏“库”。

[参考文献]

[1] Keller M, Arnink K J, Hrazdina G. Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. I. Effects on grapevine growth, fruit development, and ripening [J]. American Journal of Enology and Viticulturae, 1998, 49 (3):333-340.

[2] Nakhlla F G, Ismail A E, Aboul H Z. Effect of some organic and inorganic nitrogen fertilizers on growth and productivity of Balady orange trees in relation to infection of citrus nematode tylenchulus semipenetrans[J]. Pakistan Journal of Nematology, 1998, 16(2):111-126.

[3] Daane K M, Johnson R S. Excess nitrogen raises nectarine susceptibility to disease and insects [J]. California Agriculture, 1995, 49(4):13-18.

[4] Obreza T A, Rouse R E. Fertilizer effects on early growth and yield of ‘Hamlin’orange trees[J]. Hort Science, 1993, 28(2):111-114.

[5] Olivier C M, Wooldridge J. Apple quality as related to nitrogen and phosphorus nutrition[J]. Journal of Plant Nutrition, 1994, 17(6):1005-1015.

[6] 彭福田,姜远茂,顾曼茹,等.落叶果树氮素营养研究进展[J].果树学报,2003,20(1):54-58.

Peng F T, Jiang Y M, Gu M R, et al. Advances in research on nitrogen nutrition of deciduous fruit crop[J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(1):54-58. (in Chinese)

[7] Tagliavini M, Millard P, Quartieri M. Storage of foliar absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectar-

ine (*Prumus persica* var. nectarina) trees[J]. Tree Physiology, 1998, 18:203-207.

[8] Quartieri M, Millard P, Tagliavini M. Storage and remobilization of nitrogen by pear (*Pyrus communis* L.) trees as affected by timing of N supply[J]. European Journal of Agronomy, 2002, 17(2):105-110.

[9] 李文庆,张民,束怀瑞.氮素在果树上的生理作用[J].山东农业大学学报:自然科学版,2002,33(1):96-100.

Li W Q, Zhang M, She H R. The physiological effects of nitrogen on fruit trees[J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition, 2002, 33(1):96-100. (in Chinese)

[10] 郝中宁,韩振海.秋季叶施尿素及乙烯利对枣树贮藏氮素的影响[J].园艺学报,1991,18(2):102-106.

Hao Z N, Han Z H. Effects of foliar spray of urea and ethephon in autumn on nitrogen storage and reutilization *Jujube* Trees[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1991, 18(2):102-106. (in Chinese)

[11] 曾骧,郝中宁.枣树(*Zizy phus Jujube* Mill)叶片内氮素贮藏和循环利用的研究[J].核农学报,1991,17(2):97-102.

Zeng X, Hao Z N. Storage and recycling utilization of leaf-nitrogen of *Jujube* tree[J]. Acta Agriculturae Nuclaetae Sinica, 1991, 17(2):97-102. (in Chiese)

[12] 杨兴洪,罗新书.萌芽前苹果枝条对¹⁵N-尿素的吸收与分配利用[J].园艺学报,1991,18(2):126-129.

Yang X H, Luo X S. The assimilation, partition and utilization of apple branches to ¹⁵N-urea before sprout[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1991, 18(2):126-129. (in Chinese)

[13] 孙俊,章镇,盛炳成,等.果梅对秋施¹⁵N-硫酸铵的吸收与利用[J].园艺学报,2002,29(4):317-320.

Sun J, Zhang Z, Sheng B C, et al. Studies on the absorption and distribution of ¹⁵N-labelled ammonium calcium to *Prunus mume* following autumn application [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(4):317-320. (in Chinese)

[14] 管长志,曾骧,孟昭清.山葡萄(*Vitis amurensis* Rupr)晚秋叶施¹⁵N-尿素的吸收、转运、贮藏及再分配的研究[J].核农学报,1992,6(3):153-158.

Guan C Z, Zeng X, Meng Z Q. Effect of autumn foliar application of ¹⁵N-urea on absorption, translocation, storage and redistribution of ¹⁵N in young *Vitis amurensis* Rupr[J]. Acta Agriculture Nucleatae Sinica, 1992, 6(3):153-158. (in Chinese)

[15] Neilsen D, Millard P, Herbertl C. Remobilization and uptake of N by newly planted apple (*Malus domestica*) trees in response to irrigation method and timing of N application[J]. Tree Physiology, 2001, 21:513.