

不同负荷水平下氮素对苹果果实生长发育的影响

彭福田, 姜远茂, 顾曼如, 束怀瑞

(山东农业大学园艺学院, 泰安 271018)

摘要:以8年生红富士/平邑甜茶(*Malus domestica* Borkh.cv.Red Fuji/*M.hupehensis* Rhed)盛果期树为材料,进行土壤施氮与疏果、摘叶处理,探讨氮素对苹果果实发育影响。结果表明,对重疏果树而言,无论施氮与否,摘叶处理后果实蔗糖合酶(SS)活性无显著变化,表明在碳水化合物供应方面,不存在源对库活性的制约,施氮处理与不施氮处理的果实生长速率(库活性)没有显著差异,但施氮使果实生长期延长,从而使平均单果重比不施氮处理增加20.8%(鲜重)与14.1%(干重);而不疏果树施氮显著提高了果实SS活性,摘叶处理果实SS活性下降,表明库活性受源供应碳水化合物水平的制约,施氮可提高果实生长速率并延长果实生长期,使平均单果重增加28.2%(鲜重)与19.4%(干重)。施氮处理果实可溶性糖与果皮花青苷浓度下降。

关键词:苹果;氮;果实发育;蔗糖合酶

Effect of Nitrogen on Apple Fruit Development in Different Load

PENG Fu-tian, JIANG Yuan-mao, GU Man-ru, SHU Hua-rui

(Department of Horticulture, Shandong Agricultural University, Taian 271018)

Abstract: The effect of N on fruit development was studied by using soil application N, thinned and priming leaf treatment, and eight-year-old apple trees (*Malus domestica* Borkh.cv.Red Fuji/*M.hupehensis* Rhed). The main results are as follows: on heavily thinned trees, SS activity were independent of N and priming leaves treatments. The results showed that the carbohydrate restriction of source to sink activity did not exist. N application did not stimulate fruit growth rates relative to those of nonfertilized trees. However, N fertilization resulted in a longer fruit development period and increased the growth potential of individual fruit by 20.8% (fresh weight) and 14.1% (dry weight) vs. controls. In unthinned trees, SS activity was increased by N fertilization but decreased by priming leaves treatment, so the carbohydrate restriction of source to sink activity existed. N fertilization increased the average single fruit weight both by extending the fruit development period and by increasing fruit growth rate, and the increasing rates were 28.2% (fresh weight) and 19.4% (dry weight) compared with the unthinned nonfertilized controls. Fruit soluble sugar and pericarp anthocyanin concentration was decreased by N fertilization.

Key words: Apple; Nitrogen; Fruit development; Sucrose synthase

氮是矿质元素中的核心元素,对果树适量施用氮肥不仅能提高叶片的光合速率^[1,2],增加光合叶面积^[3,4],还能促进花芽分化,提高坐果率^[5,6]。束怀瑞等对山东省12个不同类型的苹果园调查,其产量与土壤、细根的氮素水平呈正相关^[7]。适量、适时施氮能提高果实品质^[8,9],但施用氮肥不当可以导致果实品质下降、树体旺长等不良后果^[10,11]。前

人对果树施氮效应虽然报道不少,但在施氮对果实发育的影响方面报道不多,而果实发育进程与产量品质密切相关。施氮可以通过提高单果重来提高产量^[12],但人们并不明确氮的这种影响是由于增加碳水化合物的供应水平(增加源强度),从而提高果实生长速率(提高库活性)引起的,还是由于延长果实生长期(增加库容量)产生的。果实作为代谢库^[13]

收稿日期:2001-06-15

作者简介:彭福田(1969-),男,山东莒南人,副教授,博士,现在山东农业大学博士后流动站从事研究工作。Tel:0538-8249778; E-mail:ftianp@

其生长发育主要靠叶片制造的光合产物维持,并且果实在与其它“库”竞争光合产物时,处于优势地位,一般认为在竞争光合产物的能力方面种子>果肉>新梢生长点与幼叶>形成层>根系>贮藏^[14]。果实负荷过大,叶果比低时,果实之间的养分竞争加剧,从而限制了果实的生长,使单果重下降^[15]。幼果期进行重疏果,可能使果实间的养分竞争降低到最小限度,使保留果实有可能达到该品种遗传潜力决定的重量^[16]。本研究目的是观测不同疏果水平下,氮素对果实发育的调控机制,为合理施氮提高产量与品质提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验处理

1.1.1 土壤施氮与疏果试验 以泰安市郊区红庙果园8年生短枝红富士/平邑甜茶(*Malus domestica* Borkh.cv.spur Red Fuji/*M. hupehensis* Rehd)为试材,株行距 3 m × 4 m,果园土壤为褐土,土层厚度 60 cm,土壤有机质含量 0.81%,碱解氮含量 43.2 μg/g 土,速效磷(P₂O₅) 24.3 μg/g 土,速效钾(K₂O) 55.1 μg/g 土。试验前一般每年每株施 15-15-15(N-P-K)复合肥 500 g,产量在 2 500 kg 左右。

试验共设 9 个处理(3 个 N 素水平,3 个疏果水平)。1998 年秋开始进行施氮处理,共 3 个 N 素水平:(1)不施氮;(2)中氮,株年施尿素 500 g;(3)高氮,株年施尿素 1 000 g。尿素按 1:1:0.5 的比例分秋(9 月份)、春(3 月份)、夏(6 月份)施用,施肥采用放射沟法。秋季施尿素时株施 400 g KH₂PO₄ 作底肥。2000 年 5 月进行疏果处理,3 个疏果水平为:(1)正常疏果。按生产中一般疏果水平进行,即每 20 cm 左右留 1 果,每株约留 230 果;(2)重疏果。

每株约留 110 果;(3)不疏果。试验采用完全随机区组设计,每 4 株为一小区,每区组 36 株树,重复 5 次,整个试验共计 180 株树。

1999 年 9 月至 2000 年 8 月采植株叶片、细根、花芽等器官测定全氮含量,2000 年花期观察不同氮素处理的开花物候期,将 50% 的花开放定为盛花期。此后每周采重疏果处理果实样品(每次每株 1 个),测定果实鲜重、干重、蔗糖合酶(SS)活性、可溶性糖与可滴定酸浓度、果皮叶绿素与花青苷浓度。9 月中旬后,每株标记 1 果,每天测量果实的横径,把横径相对增长量小于 0.1% 的日期定为果实生长结束的日期。根据果实生长结束的时间与盛花时间推算出果实生长期。果实采收的时间与商品果园正常采收时间一致(10 月 25 日),采收时测定每株产量,平均单果重。

1.1.2 摘叶试验 试材与 1.1.1 相同,氮素设两水平(不施氮,中氮),负荷设两水平(重疏果,不疏果),摘叶设摘叶(2000 年 8 月摘去 15% 的叶片)与不摘叶两水平,共 8 个处理,施氮和疏果方法与 1.1.1 相同,单株小区,完全随机设计,重复 3 次。

1.2 测定方法

植株全氮采用半微量凯氏定氮法^[17],蔗糖合酶(SS)按参考文献[18]中於新建的方法测定。

2 结果与分析

2.1 土壤施氮对果实生长期与产量、品质的影响

土壤施氮不同程度地提高了植株细根、花芽和叶片的全氮含量,尤其是处理后第 3 年叶片,各处理间差异显著(表 1)。植株氮素营养状况的变化对果实生长发育可能会产生影响,本研究的结果证明了这一点。

表 1 施氮对各器官全氮含量的影响¹⁾

Table 1 Effect of N fertilization on N concentration of some plant parts (total N % DW)

采样时间 Sampling date	1999-9-4		1999-10-20		2000-4-1		2000-6-20		2000-8-20	
	叶片 Leaf		细根 Fine root		花芽 Flower bud		叶片 Leaf		叶片 Leaf	
不施氮 No N	1.85a		0.61a		1.42a		2.01a		1.78a	
中氮 Middle N	1.87a		1.30b		1.81b		2.42b		2.17b	
高氮 High N	1.99b		1.42b		1.83b		2.70c		2.45c	

¹⁾ 不同字母表示处理间存在显著差异 $P < 0.05$,下同 Different letters indicate significant differences $P < 0.05$ between N treatments, the same as below

施氮与疏果处理均影响果实发育的物候期。施氮或增加负荷,使果实生长期延长,延迟果实成熟。施氮处理花期提前 2 d,并使果实生长期结束延迟 6

~10 d。施氮对果实生长期的影响大于负荷对果实生长期的影响,施氮延长果实生长期最长达 12 d,而负荷的影响最长只有 7 d(表 2)。果实负荷相同的情

况下,施氮提高了收获时果实的单果重与单株产量,但中氮与高氮两处理间差异不显著。不疏果树,施氮(中氮与高氮处理)可提高收获时单果重 28.2%(鲜重)与 19.4%(干重);重疏果树,施氮处理提高 20.8%(鲜重)与 14.1%(干重)(表 2)。可见,施氮处理果实鲜重增加的比例显著高于干重增加的比例。

果实发育过程中可溶性糖的浓度不施氮处理显著高于中氮与高氮处理,而果实可滴定酸浓度仅在采收时(10 月份)高氮处理显著高于不施氮处理;施氮处理果皮叶绿素浓度较高,花青苷浓度较低,使花青苷/叶绿素比值下降,从而影响了红色品种的外观品质(表 3)。

表 2 疏果与氮肥处理对果实发育期、单果重、单株产量的影响¹⁾

Table 2 Effect of thinning severity and N fertilization on length of fruit growth period, fruit mass per fruit and tree

疏果程度 Thinning severity	氮肥处理 Nitrogen treatment	单株果个数 No. fruit/ tree	果实发育期(d) Fruit develop- ment period	单果重(g) Mass/ fruit		单株产量(kg) Fruit mass/ tree	
				干重 Dry	鲜重 Fresh	干重 Dry	鲜重 Fresh
				重 Heavy	不施氮 No N	90.5a	167.2a
	中氮 Middle N	91.0a	175.5b	43.2b	265.3b	3.9b	24.1b
	高氮 High N	89.1a	176.8b	42.8b	266.8b	3.8b	23.8b
正常 Normal	不施氮 No N	198.4a	169.8a	27.3a	170.8a	5.4a	33.9a
	中氮 Middle N	207.8a	178.3b	31.5b	208.9b	6.6b	43.4b
	高氮 High N	216.2a	180b	32.1b	215.6b	6.9b	46.6b
不疏 Unthinned	不施氮 No N	428.2a	170.5a	15.5a	102.5a	6.6a	43.9a
	中氮 Middle N	450.9a	182.6b	18.4b	130.4b	8.2b	58.3b
	高氮 High N	435.1a	182.9b	18.6b	132.5b	8.1b	57.7b

¹⁾ 经 F 测验各处理间存在显著差异,本表按各负荷比较不同施氮量的差异

There exists significant difference between treatments using F test, the letters in this table indicate difference between N treatments within each thinning level

表 3 土壤施氮对果实品质的影响

Table 3 Effect of N fertilization on fruit quality

处理 Treat ment	果皮叶绿素($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) Pericarp chlorophyll content			果皮花青苷(nmol/cm^2) Pericarp anthocyanin			可溶性糖($\text{g}/100\text{gFW}$) Soluble sugar			可滴定酸($\text{g}/100\text{gFW}$) Titratable acid concentration		
	8 月份 August	9 月份 September	10 月份 October	8 月份 August	9 月份 September	10 月份 October	8 月份 August	9 月份 September	10 月份 October	8 月份 August	9 月份 September	10 月份 October
	不施氮 No N	1.01a	0.98a	0.96a	0.45a	2.11a	2.92a	11.0a	12.6a	14.7a	0.41a	0.36a
中氮 Middle N	1.35b	1.25b	1.10b	0.41ab	1.72b	2.23b	9.0b	11.4b	13.0b	0.42a	0.39a	0.41ab
高氮 High N	1.51c	1.32b	1.18b	0.37b	1.51c	2.10c	8.7b	10.9b	12.1b	0.45a	0.43a	0.42b

2.2 土壤施氮对果实生长动态的影响

从重疏果树果实生长动态看,不施氮处理与中氮处理果实单果干重在花后 7~112d 无显著差异,但此后 21~28d 不施氮处理果实单果干重高于中氮处理,在这段时间内不施氮处理果实相对生长素率(RGR)也较高(图 1)。

根据果实发育过程中干重的变化计算出果实干重的相对生长速率(RGR)。花后 77d 前果实的 RGR 波动大,但处理间差异很小。果实干重的 RGR 在花后 105d 前处理间差异也不大,而 112~126d,不施氮处理 RGR 高于中氮处理,而 133d 后中氮处理的 RGR 一直高于不施氮处理(图 1)。果实鲜重的 RGR 与干重的 RGR 变化趋势相似,只是两

处理出现差异的时间提前 7d 左右(图未给出)。由于不施氮处理果实停长早,施氮处理果实生长期长,最终导致处理间单果重的差异。

2.3 土壤施氮对果实 SS 活性的影响

SS 是控制苹果果实库强度与库活性的关键酶之一^[19],它通过降解蔗糖生成 UDPG(尿苷二磷酸葡萄糖)用于多糖合成等生物体中的合成反应^[20]。从重疏果树的 SS 活性变化动态看,中氮与不施氮处理花后 84d 前 SS 活性差异不大,84d 后不施氮处理迅速升高,并于花后 119d 达到高峰,之后逐渐下降。而中氮处理 SS 活性峰值于花后 126d 出现,126d 后也逐渐下降,但其活性值一直高于不施氮处理(图 2),这与果实 RGR 的变化动态基本一致。

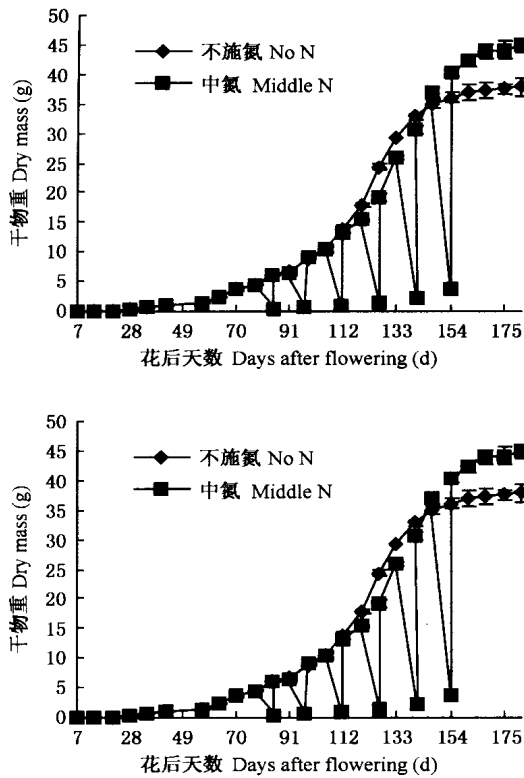


图 1 重疏果树果实发育过程中干重与相对生长率的变化
Fig.1 Seasonal patterns of mean fruit dry mass and relative growth rate of heavily thinned trees

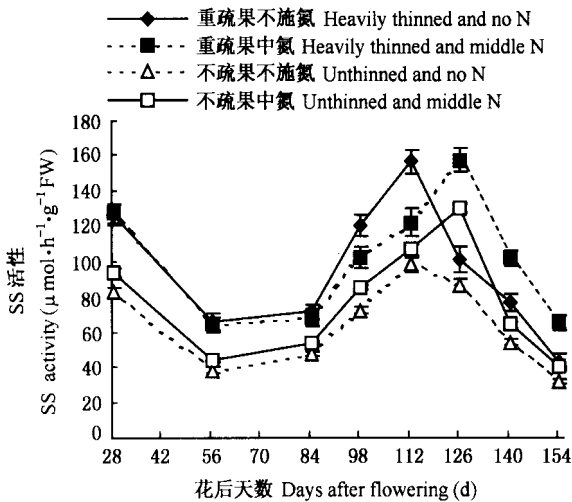


图 2 施氮对果实 SS 活性的影响
Fig.2 Effect of N application on fruit SS activity

对不疏果树而言,其果实 SS 活性始终低于重疏果树果实,且中氮处理 SS 活性始终高于不施氮处理(图 3),这与施氮提高了光合产物对果实的供应水平有关,测定结果表明,不疏果树中氮处理与不施氮处理比较,叶面积增加 12.3%,比叶重增加 7.6%。Minchin 等^[21]认为果实库活性随光合产物

的供应水平的提高而增强。

重疏果树果实生长后期,中氮处理 RGR 与 SS 活性高于不施氮处理,是由于两处理果实处于不同生长阶段造成的,而不是由施氮提高了光合产物的供应水平引起的,摘叶处理的结果可进一步证明这一点。不论施氮与否,重疏果株摘叶对 SS 活性影响不大,而不疏果株摘叶后 SS 活性下降(图 3)。因此,在本试验中不疏果株果实库活性受源供应光合产物水平的制约,而重疏果株,不存在源对库活性的制约。

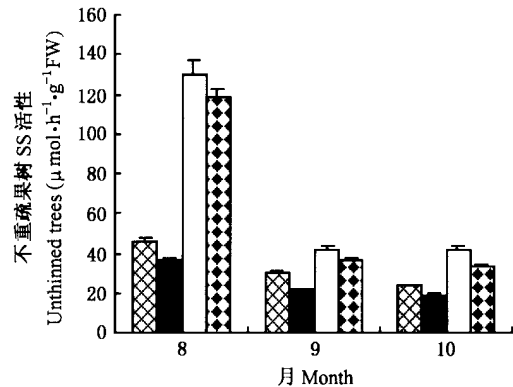
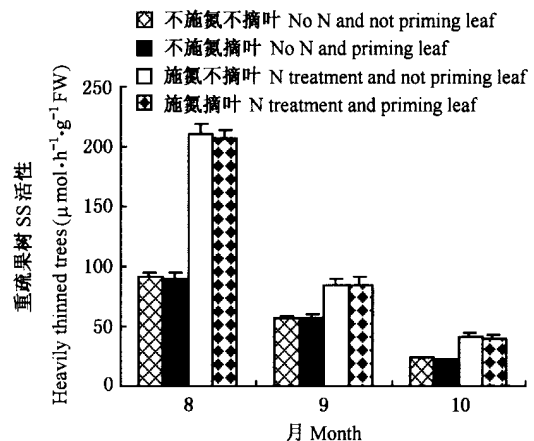


图 3 摘叶对果实 SS 活性的影响
Fig.3 Effect of priming on fruit SS activity

3 讨论

氮对果实发育的影响包括其直接影响(作为养分)与间接影响(影响光合产物或植物激素的水平),果实细胞分裂期为大量需氮期^[22],此期缺氮可能会影响细胞分裂,但本试验条件下,对重疏果处理而言,停止施用氮肥 1 年的植株果实细胞分裂期 RGR 与施氮树无显著差异,表明不施氮株体内的氮素没有下降到影响果实细胞分裂的水平,这可能由于低负荷下果实之间对氮素的竞争较小有关。

但本研究中氮对果实发育的间接影响是明显的。施氮可以通过影响碳水化合物对果实的供应从而影响果实发育。氮的这种影响与果实负荷有关,对重疏果树而言,由于不存在源供应碳水化合物的限制,氮的影响不明显,而对不疏果树而言,施氮由于提高了源供应碳水化合物的能力,果实 SS 活性增强,即库活性增强。这与 Saenz 等^[23]在梨树上研究结果一致,他们认为施氮提高了高负荷梨树的库活性。氮素水平相同时,随负荷量增加果实生长期延长,这可能是果实间碳水化合物竞争加剧,果实自动调节的结果^[16]。在相同负荷下,随施氮量增加果实的生长期延长,如果氮对果实生长期的影响与其对果实碳水化合物供应的影响有关,那么,不疏果株施氮增加了对果实碳水化合物的供应,果实生长期应缩短,而试验结果恰恰相反,因此氮对果实生长期的影响与其对果实碳水化合物供应的影响,二者是相互独立的。

对多年生的果树来说, 树体贮藏营养与土壤基础肥力对试验结果会产生较大影响, 磷、钾等元素的供应状况对试验结果的影响也不容忽视。为此, 本研究从 1998 年秋开始进行氮肥预处理, 2000 年正式采样测定, 并施用 KH_2PO_4 作底肥, 以保证磷、钾的供应充分, 尽管如此, 由于大田试验影响因素较多, 本研究的结论仅供生产参考。

References

- [1] DeJong T M. Leaf nitrogen content and CO_2 assimilation capacity in peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1982, 107: 955 - 959.
- [2] DeJong T M, Day K R, Johnson R S. Partitioning of leaf nitrogen with respect to within canopy light exposure and nitrogen availability in peach. *Trees*, 1989, 3: 89 - 95.
- [3] Taylor B K, van den Ende B. The nitrogen nutrition of the peach trees. IV. Storage and mobilization of nitrogen in mature trees. *Austral. J. Agr. Res.* 1969, 20: 869 - 881.
- [4] Stassen P J C, Terblanche J H, Strydom D K. The effect of time and rate of nitrogen application on development and composition of peach trees. *Agoplantae*, 1981, 13: 55 - 61.
- [5] Williams R R. The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossom. *J. Hort. Sci.* 1965, 40: 31 - 41.
- [6] Khe mira H. Influence of canopy orientation on fruiting of "Anjou" pears and postharvest urea spray on ovule longevity and fruit set of "comice" pears. M.S. thesis, Oregon State University, Corvallis, OR. 1991.
- [7] Shu H R, Gu M R, Huang H C. Study on nitrogen nutrition of apple II Effect of nitrogen. *J. of Shandong Agricultural Institute*, 1981, (2): 23 - 31. (in Chinese)
束怀瑞, 顾曼如, 黄化成. 苹果氮素营养研究 II 施氮效应. 山东农学院学报, 1981, (2): 23 - 31.
- [8] Zhang C S. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on fruit yield and quality of Laiyang pears. *J. of Laiyang Agricultural Institute*, 1992, 9(3): 226 - 230. (in Chinese)
张春胜. 氮磷钾对莱阳梨产量和品质的影响研究. 莱阳农学院学报, 1992, 9(3): 226 - 230.
- [9] Wang J Y. New technology of increasing apple fruit appearance quality. *J. of Fruit Science*, 1995, 12(3): 200 - 202. (in Chinese)
汪景彦. 提高苹果外观质量新技术. 果树科学, 1995, 12(3): 200 - 202.
- [10] Zhang S L. Effect of nitrogen application amount on growth and fruit quality of different vigorous 'Fuji' apple trees. *Henan Journal of Agricultural Sciences*, 1993, (5): 28 - 30. (in Chinese)
张绍玲. 施氮量对不同树势富士苹果生长和果实品质的影响. 河南农业科学, 1993, (5): 28 - 30.
- [11] Zhang K J. Nitrogen nutrition characteristics and application technology of apple trees. *Northwest Horticulture*, 1996, (1): 41. (in Chinese)
张克俊. 苹果树的氮素营养和施肥措施. 西北园艺, 1996, (1): 41.
- [12] Taylor B K, van den Ende B. The nitrogen nutrition of the peach trees. V. Influence of rate of application of calcium ammonium nitrate fertilizer on yield, tree growth and nitrogen content of fruit. *Austral. J. Expt. Agr. Animal Husbandry*, 1970, 10: 214 - 217.
- [13] Coombe B G. The development of fleshy fruits. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 1976, 27: 207 - 228.
- [14] Wardlaw I F. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytologist*, 1990, 116: 341 - 381.
- [15] DeJong T M, Grossman Y L. Quantifying sink and source limitations on dry matter partitioning to fruit growth in peach trees. *Physiol. Plant*, 1995, 95: 437 - 443.
- [16] Grossman Y L, DeJong T M. Maximum fruit growth potential following resource limitation during peach growth. *Ann. Bot.* 1995, 75: 561 - 567.
- [17] Nanjing Agricultural University. *Analytical Methods for Soil Agrochemistry*. Beijing: Agricultural Press, 1980. (in Chinese)
南京农业大学. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1980.
- [18] Shanghai Plant Physiology Academy. *Plant Physiology Experiment Handbook*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985. (in Chinese)
上海植物生理学会. 植物生理学实验手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [19] Zhou R. Study on carbohydrates translocation and metabolism in leaf and fruits of Starking' apple trees. Shandong Agricultural University Ph.D. Dissertation, 1995. (in Chinese)
周睿. 新红星苹果叶果内碳水化合物运输和代谢的研究. 山东农业大学博士论文, 1995.
- [20] Hawke wr J S. Sucrose. *Biochemistry of Storage Carbohydrates in Green Plants*. Dey P M and Dixon R A eds. New York: Academic Press, 1985.
- [21] Minchin P E H, Thorpe M R, Wünche J N. Carbon partition between apple fruits: Short and long term response to availability of photosynthate. *J. Exp. Exp. Bot.* 1997, 48: 1401 - 1406.
- [22] Gu M R, Shu H R, Zhang R Z, et al. Primary study on nitrogen study of apple trees-nitrogen changing characteristic in plant. *Acta Hort.* 1981, (4): 21 - 28. (in Chinese)
顾曼如, 束怀瑞, 张若杼, 等. 苹果氮素营养研究初报-植株中氮素营养的变化特性. 园艺学报, 1981, (4): 21 - 28.
- [23] Saenz J L, DeJong T M, Weinbaum S A. Nitrogen stimulated increases in peach yield are associated with extended fruit development period and increased fruit sink capacity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1997, 122 (6): 772 - 777.