植物营养与肥料学报 2009,15(6): 1439-1443
Plant Nutrition and Fertilizer Science

嘎拉苹果对春施^{15}N-尿素的吸收、利用与分配特性

赵 林[1], 姜远茂[1]*, 彭福田[1], 李盼盼[2], 王 磊[1], 李洪波[1]
(1 山东农业大学作物生物学国家重点实验室,山东农业大学园艺科学与工程学院,山东泰安 271018;
2 山东农业大学食品科学与工程学院,山东泰安 271018)

摘要: 以7年生嘎拉苹果(*Malus domestica*)/平邑甜茶(*Malus hupehensis*)为试材,研究了苹果对春季土施^{15}N-尿素的吸收、利用与分配特性。结果表明,盛花期以细根的Ndff值最高,粗根次之;新梢旺长期和果实膨大期根部吸收的^{15}N优先向新生营养器官运转;果实成熟期以果实中Ndff值最高,新生器官Ndff值普遍高于贮藏器官;果实采收后^{15}N在粗根和细根中的Ndff值最高,地上贮藏器官次之,新生营养器官下降到较低水平,树体吸收的^{15}N开始向贮藏器官回流、积累。不同物候期苹果吸收的^{15}N各器官的分配率存在显著差异,盛花期^{15}N优先分配在根系中;新梢旺长期和果实膨大期,根部^{15}N的分配率不断下降,^{15}N主要向新生营养器官分配;在果实成熟期果实成为新的分配中心;果实采收后^{15}N向贮藏器官回流、积累,^{15}N在树体内的运转随生长中心的转移而转移。春季土施^{15}N-尿素可被树体快速吸收、利用,氮肥利用率随物候期的推移逐渐提高,采收后的当季利用率为27.540%。

关键词: 苹果; ^{15}N-尿素; 吸收; 利用; 分配
中图分类号: S147.23; S661.1　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2009)06-1439-05

Characteristics of absorption, utilization and distribution of spring soil ^{15}N-urea application for Gala/*Malus hupehensis*

ZHAO Lin[1], JIANG Yuan-mao[1]*, PENG Fu-tian[1], LI Pan-pan[2], WANG Lei[1], LI Hong-bo[1]
(*1 State Key Laboratory of Crop Biology/College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 2 College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China*)

Abstract: The characteristics of nitrogen absorption, utilization and distribution of seven year old "Gala" apple trees (*Malus domestica*)/*Malus hupehensis* was studied by the ^{15}N-labelled urea application in soil in early spring. The results show that the Ndff is the highest in fine roots, and then in thick roots at the full-bloom stage. During the shoot rapid-growing and fruit rapid-expanding stages, the Ndff of new organs is higher than that of the storage organs. After the fruits are harvested, the Ndff of thick roots and fine roots is higher than that of the above-ground storage organs, and that of new organs is the lowest. These results indicate absorption of the trees is transferred to the storage organs. The characteristics of ^{15}N distribution are different at the different phenophases. At the full-bloom stage, ^{15}N absorption of the trees is mainly distributed to roots. At the shoot rapid-growing and fruit rapid-expanding stages, ^{15}N distribution ratio to roots is decreased continuously, and ^{15}N absorption of the trees is mainly distributed to new organs. At the maturity stage, fruit organs are the main destinations of ^{15}N. After the fruits are harvested, ^{15}N absorption of the trees is transferred back to the storage organs. The utilization ratio of the N fertilizer is improved gradually with the growth and development of the trees. After the fruits are harvested, the utilization ratio is 27.540%.

Key words: apple; ^{15}N-urea; absorption; utilization; distribution

收稿日期: 2008-12-19　　**接受日期**: 2009-03-16
基金项目: 苹果产业技术体系; 农业部行业计划项目(nyhyzx 07-024); 十一五科技支撑项目(2008BADA4B05)资助。
作者简介: 赵林(1981—),男,山东临沂人,硕士,主要从事果树矿物质营养研究。E-mail: zhao-20020347@163.com
* 通讯作者 Tel: 0538-8249778, E-mail: ymjiang@sdau.edu.cn

氮素是果树的必需营养元素,氮素供应充足与否直接影响果树器官的分化、形成以及树体形态建成。落叶果树在春季用于器官建造的氮素主要来源于贮藏氮和当年吸收的氮。在根系明显吸收之前,新生组织主要利用贮藏氮素[1-3]。随着季节推进,根系对树体氮素需求所起的作用越来越重要[4-6]。许多研究表明了不同果树树种上贮藏氮素营养对树体翌年生长发育的重要性[7-11]。Faust[12]报道,苹果春季施肥可以促进生长发育,增加花芽饱满度;顾曼如等[13]研究了苹果对春季根外追^{15}N 的吸收、利用特性。根据 2008 年我们对烟台、青岛、淄博等地 312 个果农的调查,有 60%的果农习惯于春季施肥,而对春季土施^{15}N-尿素后,^{15}N 在苹果树体内不同时期的运转、分配、利用报道较少。为此,我们利用^{15}N 示踪技术,研究了嘎拉苹果对春施^{15}N 尿素的吸收、分配及利用特性,为苹果的科学施用氮肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在山东烟台市莱山镇官庄村果园进行。试材为 7 年生嘎啦苹果/平邑甜茶,株行距为 3 m×4 m。试验地有机碳 8 g/kg、硝态氮 24.12 mg/kg、铵态氮 55.28 mg/kg、速效磷 32.48 mg/kg、速效钾 218.4 mg/kg。

选取生长势基本一致,无病虫害的植株 15 株。于 2008 年 3 月 7 日进行施肥处理,施肥方法是距中心干 60 cm 处挖深和宽均为 25 cm 左右的环状沟,在沟内每株均匀施^{15}N-尿素(上海化工研究院生产,丰度 10.22%)15 g,同时施入普通尿素 277.5 g,硫酸钾 266.46 g,磷酸氢二铵 150 g,施肥后立即浇水 4 L/株。分别于盛花期(4 月 20 日)、新梢旺长期(5 月 24 日)、果实膨大期(6 月 26 日)、果实成熟期(8 月 25 日)、采收后(10 月 12 日)进行整株采样分析,每次分析 3 株,每株为一次重复。

1.2 测定方法及计算公式

整株解析为细根(d≤0.2 cm)、粗根(d>0.2 cm)、中心干、多年生枝、二年生枝、二年生枝叶、中长梢(l≥20 cm)、中长梢叶、短梢(l <20 cm)、短梢叶、果苔梢、果苔梢叶、果(花),多年生枝与中心干分为木质部和皮部。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℃下杀青 30 min,随后在 80℃下烘干至恒重,电磨粉碎后过 0.25 mm 筛,混匀后装袋备用。

样品全氮用凯氏定氮法测定[14]。^{15}N 丰度用 ZHT-03(北京分析仪器厂)质谱计测定(河北省农林科学院遗传生理研究所)。

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

氮肥分配率 = 各器官从氮肥中吸收的氮量(g)/总吸收氮量(g)×100%;

氮肥利用率 =[Ndff × 器官全氮量(g)]/施肥量(g) ×100%。

数据采用 SAS 9.1 系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 年周期苹果不同器官 Ndff%的变化动态

Ndff 指植株器官从肥料中吸收分配到的^{15}N 量对该器官全氮量的贡献率,反映了植株器官对肥料^{15}N 的吸收征调能力[15]。

表 1 看出,春季土施^{15}N-尿素,盛花期以细根中 Ndff 值最高为 2.443% ± 0.064%,其次为粗根和中心干木质部;地上部新生器官 Ndff 值较低,均在 0.207% ± 0.035%以下。表明春季土施^{15}N-尿素,在盛花期植株吸收的^{15}N 主要积累在根系中,而花、叶片等新生器官^{15}N 积累很少。新梢旺长期以粗根中 Ndff 值最高,为 1.786% ± 0.002%,其次为中长梢叶和果苔叶。与盛花期相比,根系的 Ndff 值开始下降,而地上部新生器官的 Ndff 值快速提高,表明植株在新梢旺长期吸收的^{15}N 主要分配供给新生器官形态建成,其中,叶片对^{15}N 的征调能力高于果实。

果实膨大期以中长梢中 Ndff 值最高为 2.895% ± 0.03%,其次是中心干皮部和中长梢叶,地上部新生营养器官的 Ndff 值均处于较高水平。可见,春季土施^{15}N-尿素,到果实膨大期植株吸收的^{15}N 优先分配到生长中心(新生营养器官)。果实成熟期果实中 Ndff 值最高,达 2.848% ± 0.386%,其次是中长梢叶片为 1.524% ± 0.033%,新生器官 Ndff 值普遍高于贮藏器官。表明春季土施^{15}N-尿素,到果实成熟期植株吸收的^{15}N 主要分配给果实,果实成为新的生长中心,而新梢营养器官也有较强的竞争力。

果实采收后粗根和细根中的 Ndff 值最高,分别为 2.140% ± 0.103%和 1.976% ± 0.088%;地上贮藏器官(二年生枝、中心干、多年生枝)次之,新生营养器官(新梢、新梢叶片)均下降到较低水平。表明果实采收后^{15}N 开始在根系中积累,叶片中^{15}N 向根系、枝条中回流。

表1　关键物候期不同器官的 Ndff%

Table 1　The Ndff% of the different organs during key phenological phases of the apple trees

器官 Organ	盛花期 Full-bloom	新梢旺长期 New shoot growing	果实膨大期 Fruit rapid-swelling	果实成熟期 Fruit maturity	采收后 After harvest
果(花) Fruit (flower)	0.207 ± 0.035	0.979 ± 0.007	1.229 ± 0.049	2.848 ± 0.386	
果苔(新梢) New shoot	0.132 ± 0.024	1.199 ± 0.024	2.297 ± 0.018	1.280 ± 0.029	0.389 ± 0.052
果苔叶(新梢叶) New shoot leaves	0.144 ± 0.017	1.497 ± 0.013	0.807 ± 0.053	1.304 ± 0.025	0.310 ± 0.060
短梢(短枝) Short cane (Spur)	0.083 ± 0.021	1.197 ± 0.043	2.309 ± 0.047	1.324 ± 0.057	0.323 ± 0.026
短(枝)梢叶 Short cane leaves	0.145 ± 0.013	0.782 ± 0.005	1.181 ± 0.007	0.796 ± 0.020	0.518 ± 0.045
中长(枝)梢 Mid and long shoots	0.088 ± 0.016	1.480 ± 0.005	2.895 ± 0.030	1.269 ± 0.020	0.438 ± 0.074
中长(枝)梢叶 Leaf of mid and long shoots	0.200 ± 0.035	1.487 ± 0.005	2.438 ± 0.039	1.524 ± 0.033	0.448 ± 0.079
二年生枝 Biennial branch		1.021 ± 0.030	1.639 ± 0.032	0.626 ± 0.053	0.942 ± 0.049
二年生枝叶 Leaf of biennial branch		1.102 ± 0.011	1.333 ± 0.034	0.780 ± 0.010	0.419 ± 0.043
多年生枝木质部 Xylem of perennial branches	0.331 ± 0.043	0.434 ± 0.024	0.948 ± 0.015	0.571 ± 0.007	0.261 ± 0.043
多年生枝皮部 Cortex of perennial branches	0.180 ± 0.015	0.881 ± 0.030	1.201 ± 0.090	0.464 ± 0.006	0.770 ± 0.052
中心干木质部 Xylem of trunk	0.420 ± 0.030	0.186 ± 0.045	0.666 ± 0.015	0.555 ± 0.016	0.324 ± 0.105
中心干皮部 Cortex of trunk	0.289 ± 0.016	0.270 ± 0.009	2.622 ± 0.039	0.557 ± 0.013	0.619 ± 0.060
粗根 Large root	2.082 ± 0.025	1.786 ± 0.002	1.064 ± 0.062	0.641 ± 0.015	2.140 ± 0.103
细根 Fine root	2.443 ± 0.064	1.222 ± 0.036	1.992 ± 0.004	1.009 ± 0.041	1.976 ± 0.088

注(Note)：表中数据为三次重复的平均值 ± 标准误差 Each value is the mean of the three replications ± S.E.

2.2　年周期各器官^{15}N 的分配率

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[16]。图1看出，春季土施^{15}N-尿素后，盛花期树体吸收的^{15}N主要积累在根部，占植株吸收总量的 88.071%，主干、多年生枝等非新生器官的分配率为 10.729%，新生营养器官、花的分配率较低，分别为 0.889%、0.311%。表明春季施氮对树体早春开花、生长发育影响较小。新梢旺长期，吸收的^{15}N 在根部的分配率迅速下降到58.431%，新梢营养器官的分配率较盛花期提高23.251%，而生殖器官和非新生器官略有提高，分别为5.398%和 12.030%。新梢旺长期，根部吸收、利用的氮素主要向地上新梢营养器官运转、分配，而果实对氮肥的分配率依然维持在较低水平。

果实膨大期，新生营养器官中^{15}N 分配率达46.703%，较新梢旺长期提高 22.563%；根系分配率较新梢旺长期下降 29.543%，非新生器官为20.475%，果实的分配率最低，仅为 3.933%。果实膨大期根系吸收的^{15}N 继续供应地上部分器官，新梢营养器官成为氮素分配中心。果实成熟期果实中的分配率最高，达 57.482%，新生营养器官下降为24.271%，而主干、多年生枝等非新生器官和根部贮藏器官的分配率分别为 9.476%和 8.770%。表明果实成为氮素分配中心，春季施氮对树体当年产量形成有

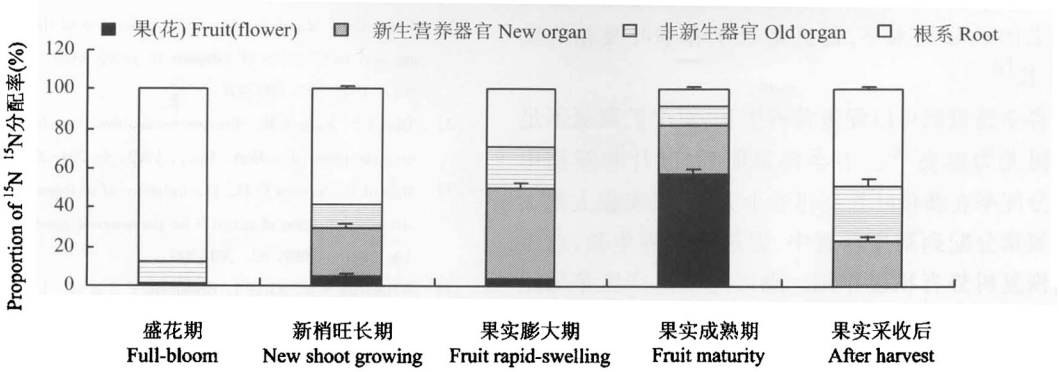

图1　不同关键物候期各器官^{15}N 的分配率

Fig.1　Proportion of ^{15}N in the different organs to total ^{15}N uptake in the key phonological phases

重要影响。

果实采收后，根部贮藏器官、非新生器官分配率分别为48.297%、28.427%，较果实成熟期提高39.526%、18.951%，而新生营养器官下降为23.276%。表明果实采收后，树体氮素营养开始向根部和主干、多年生枝等贮藏器官回流、积累。

2.3 年周期关键物候期整株^{15}N利用率

春季土施^{15}N-尿素，可被树体快速吸收、利用。在盛花期氮肥利用率达11.379%；随着物候期的推移，苹果对春季土施尿素的利用率逐渐提高；采收后氮肥利用率最高，达27.540%(图2)。经方差分析，各时期的氮肥利用率差异显著。表明，春季土施^{15}N-尿素，可被树体快速吸收、利用，氮肥利用率随物候期的推移逐渐提高，春施氮肥对树体当年新梢生长和果实发育有重要影响。

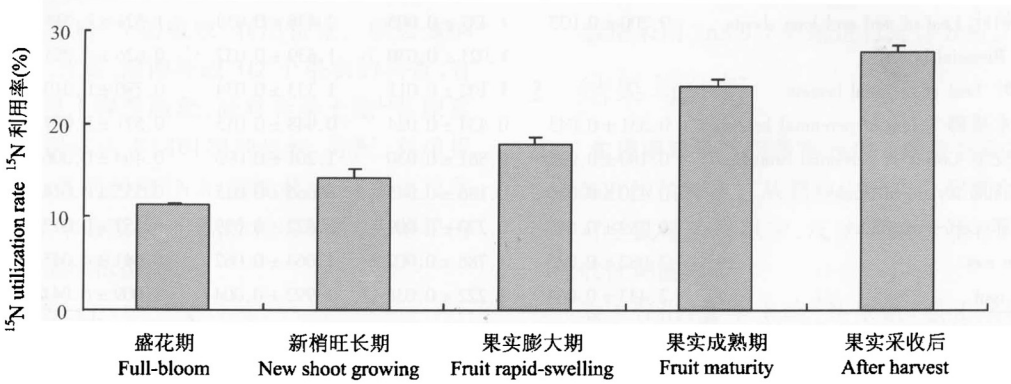

图2 不同物候期整株植株^{15}N利用率

Fig.2 ^{15}N utilization rate of the key phonological phases

3 讨论与结论

Millard和Nielsen[3]认为，春季苹果新生器官建成所需的氮主要来源于贮藏氮而与当年吸收氮无关。当年吸收氮只能促进树体生长而不能提高氮贮藏水平，因此在果实成熟前后施氮比春季效果好。

本试验结果看出，在盛花期花、叶片等新生器官的Ndff值均在0.2%以下，新吸收氮的分配率合计不足2%，表明春季施入的氮肥对苹果春季萌芽、开花和新梢生长等器官发生的作用很小。而秋施氮肥能提高苹果的贮藏氮水平，促进第二年春季叶及花的发育、生长[17]。

春季施氮肥可以促进营养生长，对于贮藏氮不足的果树尤为重要[18]。春季施氮肥后，叶片和新梢中氮的分配率在新梢旺长期迅速上升，至果实膨大期大部分氮素分配到新生器官中，促进了营养生长，对于弱树恢复树势有积极作用。渤海湾苹果产区苹果主要分布在山丘地上，连续高产造成树势衰弱，这是当地果农倾向春季施肥的主要原因。

春季施氮肥可以促进果实的膨大，本试验表明，从果实膨大期到成熟期果实中氮的分配率迅速上升，这一方面有利于果实的膨大，另一方面氮在果实中积累，增加了N/Ca比，可能导致苦痘病等生理性病害发生[19]。因此，春季施氮量应十分慎重。

苹果土施氮肥的利用率较低。Khemira等报道，土施氮肥利用率在25%～35%之间[20]；Hill等[17]报道，秋季土施氮肥，约有16%的氮肥可以被吸收；早春施肥，苹果幼树对土施氮肥的利用率不足20%[21]。本试验氮肥的当季利用率为27.54%。因此，如何提高春季施用肥料的利用率需要进一步研究。

参考文献：

[1] Taylor B K, May L H. The nitrogen nutrition of the peach tree II. Storage and mobilization of nitrogen in young trees [J]. Aust. J. Biol. Sci., 1967, 20: 389-411.

[2] Titus J S, Kang S M. Nitrogen metabolism, translocation, and recycling in apple trees [J]. Hort. Rev., 1982, 4: 204-206.

[3] Millard P, Neilsen G H. The influence of nitrogen supply on the uptake and remobilization of stored N for the seasonal growth of apple trees [J]. Ann. Bot., 1989, 63: 301-309.

[4] Weinbaum S A, Klein I, Broadbent F E *et al*. Use of isotope nitrogen to demonstrate dependence of mature almond trees on annual uptake of soil nitrogen [J]. J. Plant Nutr., 1984, 7: 975-990.

[5] Sanchez E E, Righetti T L, Sugar D, Lombard P B. Seasonal differences and soil texture alter uptake of newly absorbed nitrogen in field-grown pear trees [J]. J. Hort. Sci., 1990, 65: 395-400.

[6] Rufat J, Dejong T M. Estimating seasonal nitrogen dynamics in peach

trees in response to nitrogen availability [J]. Tree Physiol., 2001, 21: 1133-1140.

[7] 顾曼如，束怀瑞，周宏伟. 苹果氮素营养研究 Ⅳ. 贮藏^{15}N 的运转、分配特性[J]. 园艺学报，1986，13(1)：25-30.
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 translocation [J]. Acta Hort. Sin., 1986, 13(1): 25-30.

[8] 张进，姜远茂，彭福田，等. 沾化冬枣萌芽前枝条对尿素的吸收、分配及再利用特性[J]. 植物营养与肥料学报，2004，10(6)：671-673.
Zhang J, Jiang Y M, Peng F T *et al*. The characteristics of absorption, distribution and utilization to urea in branches before sprout of Zhanhua winter-date (*Zizyphus jujuba* Mill. var. inermis Rehd.)[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(6): 671-673.

[9] Weinbaum S A, Merwin M L, Muraoka T T. Seasonal variation in nitrate uptake efficiency in non-bearing prune trees [J]. J. Am. Soc. Hort. Sci., 1978, 103: 516-519.

[10] Bi G, Scagel C F, Fuchigami L H. Effects of spring soil nitrogen application on nitrogen remobilization, uptake, and partitioning for new growth in almond nursery plants[J]. J. Hort. Sci. Biotech., 2004, 79 (3): 431-436.

[11] Sanchez E E, Righetti T L, Sugau D *et al*. Seasonal differences and soil texture alter uptake of newly absorbed nitrogen in field grown pear trees [J]. J. Hort. Sci., 1990, 65: 395-400.

[12] Faust M. Physiology of temperate zone fruit trees [M]. Wiley Interscience, New York, USA. 1989.

[13] 顾曼如，束怀瑞，周宏伟. 苹果氮素营养研究Ⅲ.根外追^{15}N 及其吸收、运转特性[J]. 园艺学报，1985，12(2)：89-94.
Gu M R, Shu H R, Zhou H W. A study on the nitrogen nutrition of apple tress Ⅲ. The characters of absorption and translocation of ^{15}N filially application [J]. Acta Hort. Sin., 1985, 12(2): 89-94.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京：中国农业出版社，2000.
Bao S D. Analytical methods for soil agro-chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.

[15] 顾曼如. ^{15}N 在苹果氮素营养研究中的应用[J]. 中国果树，1990，(2)：46-48.
Gu M R. The application of ^{15}N in the study of nitrogen nutrition on apples [J]. China Fruits, 1990, (2): 46-48.

[16] 徐季娥，林裕益，吕瑞江，等. 鸭梨秋施^{15}N-尿素的吸收与分配[J]. 园艺学报，1993，20：145-149.
Xu J E, Lin Y Y, Lü R J *et al*. Studies on the absorption and the distribution of ^{15}N-Labelled urea to "Yali" pear trees following autumn application [J]. Acta Hort. Sin., 1993, 20: 145-149.

[17] Hill-Cottingham D G, Lloyd-Jones C P. Nitrogen-15 in apple nutrition investigations [J]. J. Sci. Food Agric., 1975, 26:165-173.

[18] 孙俊，章镇，盛炳成，等. 果梅幼树对春施^{15}N－硫铵的吸收与分配[J]. 果树学报，2003，20(4)：280-283.
Sun J, Zhang Z, Sheng B C *et al*. Studies on the absorption and distribution of ^{15}N-labelled ammonium calcium applied to prunus mume trees in spring [J]. J. Fruit Sci., 2003, 20(4): 280-283.

[19] 于绍夫. 苹果的氮、钙营养与苦痘病相关性的研究[J]. 烟台果树，1987，(1)：11-18.
Yu S F. Study of relativity between nitrogen, calcium nutrition and apple bitter pit disease [J]. Yantai Fruits, 1987, (1): 11-18.

[20] Khemira H. Nitrogen partitioning and remobilization in field-grown apple trees[R]. Corvallis, OR, USA: PhD thesis Oregon State University, 1995.

[21] Dong S, Scagel C F, Cheng L *et al*. Soil temperature and plant growth stage influence nitrogen uptake and amino acid concentration of apple during early spring growth[J]. Tree Physiol., 2001, 21: 541-547.