植物营养与肥料学报 2012,18(4):1013-1018
Plant Nutrition and Fertilizer Science

滴灌施氮对苹果氮素吸收和利用的影响

张大鹏,姜远茂*,彭福田,魏绍冲,葛顺峰,李 艳,周恩达
(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)

摘要:以8年生嘎富苹果/八棱海棠(*Malus robusta* Rehd.)为试材,研究了滴灌施肥下不同滴头数量对其滴施^{15}N-尿素的吸收、分配与利用特性。结果表明:不同滴头数量处理,果实成熟期植株各器官Ndff差异显著,DF2(两个滴头滴灌施肥处理)各器官Ndff显著高于DF1(一个滴头滴灌施肥处理)和CK,DF1和CK差异不显著。3个处理均以果实的Ndff值最高,分别为3.84%、3.14%和3.16%;新梢旺长期和果实膨大期DF2处理果实的Ndff%低于DF1和CK,但在果实成熟期Ndff超过DF1和CK,DF1和CK差异不显著。果实成熟期生殖器官分配率最高,营养器官和贮藏器官均较低,处理间差异不显著。DF2处理的^{15}N利用率为38.95%,显著高于DF1(27.68%)和CK(23.69%)。随生长期的推移,各处理间0—20 cm和20—40 cm土层硝态氮含量变化趋势一致,均呈双峰趋势,峰值分别出现在新梢旺长期和果实膨大期;60—80 cm和80—100 cm土层硝态氮含量变化趋势也一致,均变化较为平缓,而40—60 cm土层硝态氮含量变化差异显著,DF2处理明显高于DF1和CK。

关键词:嘎富苹果;滴灌施氮;^{15}N;吸收;利用;硝态氮含量
中图分类号:S661.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2012)04-1013-06

Effects of N application with dripping irrigation on N absorption and utilization of apple

ZHANG Da-peng, JIANG Yuan-mao*, PENG Fu-tian, WEI Shao-chong, GE Shun-feng, LI Yan, ZHOU En-da
(*State Key Laboratory of Crop Biology/College of Horticulture Science and Engineering of Shandong Agricultural University, Taiân, Shandong 271018, China*)

Abstract: The characteristics of absorption, distribution and utilization of ^{15}N-urea with different numbers of drip irrigation emitters applied to eight-year-old Kiazshi/*Malus prunifolia* (Willd.) Borkh. were studied. The results show that the Ndff values in plant organs are significantly different at fruit maturity with different numbers of emitters, the Ndff values with DF2(fertigation treatment with two emitter) are significantly higher than those of DF1 (fertigation treatment with single emitter) and CK. The Ndff values of fruits in all the three samples (or in 3 different treatments) are the maxima, 3.84%, 3.14% and 3.16%, respectively, while the fruit Ndff values at the shoot growing and fruit swelling stage DF2 are lower than those of DF1 and CK. At the fruit maturity stage, the highest distribution (of ^{15}N-urea) is in reproductive organs and then in vegetative organs and storage organs, and there are not significant differences between the treatments. The utilization of DF2 ^{15}N utilization is 38.95%, and is significantly higher than those of DF1 (27.68%) and CK (23.69%). As the growth of the plants, the nitrate contents in the 0—20 cm and 20—40 cm soil layers show the same bimodal peaks which appear at the shoot growing and fruit swelling stages, and those of the 60—80 cm, 80—100 cm soil layers also show similar, mild trends. The soil nitrate contents in 40—60 cm soil layers are significantly different, and the soil nitrate contents of DF2 are significantly higher than those of DF1 and CK.

Key words: Kiazshi apple; fertigation; ^{15}N; absorption; utilization; nitrate content

收稿日期:2011-08-05　　**接受日期**:2012-01-07
基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-28);公益性行业(农业)科研专项资金(201103003);山东省农业重大应用创新课题(201009)资助。
作者简介:张大鹏(1986—),男,山东昌乐人,硕士研究生,主要从事苹果氮素营养研究。E-mail:lyzdp_1986@126.com
*通讯作者 Tel:0538-8249778, E-mail:ymjiang@sdau.edu.cn

环渤海湾是我国两大苹果优势产区之一,目前该地区纯氮施用量已达400～600 kg/hm^2,是国外施氮量的4～5倍[1],氮肥当季只有30%左右被吸收利用[2],氮肥损失严重,其中很大一部分是由于大水漫灌等引起。目前开始在生产上广泛应用的滴灌施肥技术不仅可以有效地控制灌水的数量和频率,而且可调控施用肥料的种类、比例、数量及时期,并将肥料施于根区,从而减少水分的损耗和养分的淋失,显著提高了水分和肥料养分的利用效率[3-5]。近年来,我国滴灌施肥技术研究主要集中在小麦[6]、棉花[7-8]、香蕉[9]和蔬菜[10-11]等作物上,在苹果上研究较少。苹果树由于个体较大,蔬菜等作物上普遍采用的单管单头滴灌模式可能不能满足苹果个体发育的需求,为此,本研究设计一个滴头和两个滴头分别模拟生产上的单管单头滴灌施肥模式和双管双头滴灌施肥模式,利用^{15}N示踪技术研究了滴灌施肥条件下一个滴头和两个滴头处理嘎富苹果对^{15}N的吸收、分配及利用特性的影响,以期为果园滴灌施肥技术的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2010年3月～8月在山东烟台市莱山镇官庄果园进行。试材为8年生嘎富苹果/八棱海棠(*Malus robusta* Rehd.),株行距为3 m×4 m。试验地土壤有机碳含量8.11 g/kg,硝态氮23.72 mg/kg,铵态氮57.41 mg/kg,速效磷31.86 mg/kg,速效钾248.35 mg/kg。

试验采取完全随机设计,共设3个处理,每个处理3株。分别为:常规施肥(CK)、一个滴头滴灌施肥(DF1)、两个滴头滴灌施肥(DF2),每个处理3次重复,所施氮肥为尿素(含氮46%)和^{15}N-尿素(上海化工研究院生产,^{15}N丰度为10.22%),于2010年3月20日进行施肥处理,CK的施肥方法是距中心树干60 cm处挖深和宽各为25cm的环状沟,肥料均匀撒施于沟内后覆土,每株施加纯氮190.99 g,立即浇水5 L/株。DF1处理的施肥方法是在植株的一侧设置1个滴头,用来模拟单管单头滴灌施肥模式,滴头与树干的横向距离为60 cm,分别于3月20日,4月15日,5月10日,5月30日,6月20日,7月10日每株滴施^{15}N-尿素2.5 g和纯氮31.83 g,即每次滴施5 L/株。DF2处理的施肥方法同DF1,不同的是在植株东西两侧分别设置一个滴头。用来模拟双管双头滴灌施肥模式。DF1和DF2处理每个滴头速率保持一致。滴头速率为2.2 L/h。同时于3月20日3个处理每株一次性土施入K_2O 256.5 g、P_2O_5 134.47 g。

1.2 测定项目及方法

于2010年8月1日进行整株解析,样品分为细根(d≤0.2 cm)、粗根(d>0.2 cm)、中心干、多年生枝、一年生枝、叶片、果、中心干分为木质部和韧皮部。样品按清水→洗涤剂→清水→1%盐酸→3次去离子水顺序冲洗后,于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。

样品的全氮含量用凯氏定氮法[12]测定;^{15}N丰度用ZHT-03(北京分析仪器厂)质谱计(在河北省农林科学院遗传生理研究所)测定;计算公式为:

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,

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,它反映了植株器官对肥料^{15}N的吸收征调能力[13]。

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%

土壤剖面硝态氮含量用紫外分光光度计法测定,分别于盛花期、新梢旺长期、花芽分化期、果实膨大期、果实成熟期进行土壤样品采集。在距离树干50 cm处,用土钻分层取土,进行多点取样。取土深度为100 cm,每20 cm一层。

1.3 数据处理

应用Microsoft Excel 2003软件绘制图表,DPS 7.05软件进行统计分析,采用单因素方差分析和差异性显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同滴头数量滴施^{15}N尿素对苹果植株吸收和利用^{15}N的影响

从表1可以看出,DF1、DF2和CK处理的植株总氮量分别为395.22、400.94和300.04 g。DF1处理植株吸收的^{15}N量为4.15 g,占植株总氮量的1.05%,而DF2处理的植株吸收的^{15}N量为5.84 g,占植株总氮量的1.46%。可见DF2处理的^{15}N利用率显著高于DF1和CK,DF1和CK差异不显著。DF2处理的^{15}N利用率在果实成熟期高达38.95%,比DF1(27.68%)高出11.27个百分点。表明在果

表 1　果实成熟期整株植株^{15}N 利用率

Table 1　^{15}N utilization rate at the fruit maturity stage

处理 Treatment	植株总氮量(g/plant) Total N content of plants	吸收的^{15}N 量(g/plant) ^{15}N absorbed from ^{15}N-urea	^{15}N 肥料利用率(%) ^{15}N-urea utilization rate
CK	300.04 ±72.59 bA	3.55 ±0.37 bB	23.69 ±2.44 bB
DF1	395.22 ±23.76 abA	4.15 ±0.33 bB	27.68 ±2.16 bB
DF2	400.94 ±39.91 aA	5.84 ±0.34 aA	38.95 ±2.30 aA

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 three replication ± SE; 同行不同的小、大写字母表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Different small and capital letters in the same column indicate significant at the 5% and 1% levels, respectively.

树生产中双管双头滴灌施肥模式(DF2)能显著提高植株的氮肥利用率,而单管单头滴灌施肥模式(DF1 处理)与常规施肥方法(CK)差异不明显。

2.2　不同滴头数量滴施^{15}N 尿素对苹果果实成熟期各器官 Ndff 的影响

由表 2 可知,3 个处理均以果实的 Ndff 值最高,CK、DF1 和 DF2 处理果实中的 Ndff 分别为 3.16%、3.14% 和 3.84% ,DF2 明显高于 DF1 和 CK。DF2 和 DF1、CK 处理间果实成熟期植株各器官的 Ndff 差异显著,DF2 处理普遍高于 DF1 和 CK,其差异达显著或极显著水平; DF2 处理细根中的 Ndff 是 DF1 的 1.43 倍,DF1 和 CK 之间差异不显著。表明 DF2 处理植株各器官对氮素的吸收能力更强,在生产中使用双管双头滴灌施肥模式有利于植株对^{15}N 的吸收。

表 2　果实成熟期各器官的 Ndff(%)

Table 2　The Ndff of different organs at the fruit maturity stage

器官 Organ	常规施肥 Conventional fertilization	滴灌施肥 Fetigation	
		DF1	DF2
果实 Fruits	3.16 ±0.16 bA	3.14 ±0.03 bA	3.84 ±0.56 aA
叶片 Leaves	0.82 ±0.04 bB	0.83 ±0.03 bB	1.17 ±0.02 aA
一年生枝 Annual branch	0.80 ±0.015 bB	0.79 ±0.03 bB	1.08 ±0.02 aA
多年生枝 Perennial branch	0.15 ±0.027 bA	0.16 ±0.02 bA	0.22 ±0.02 abA
中心干木质部 Xylem of trunk	0.31 ±0.02 bB	0.32 ±0.06 bB	0.41 ±0.03 aA
中心干韧皮部 Cortex of trunk	0.12 ±0.06 aA	0.12 ±0.01 aA	0.18 ±0.01 aA
粗根 Large roots	0.14 ±0.02 bB	0.16 ±0.006 bB	0.21 ±0.02 aA
细根 Fine roots	0.75 ±0.07 bB	0.75 ±0.05 bB	1.07 ±0.05 aA

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 three replication ± SE; 同行不同的小、大写字母表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Different small and capital letters in the same row indicate significant at the 5% and 1% levels, respectively.

2.3　不同滴头数量滴施^{15}N 尿素对苹果植株年周期果实和细根 Ndff 的影响

图 1 显示,随生长期的推移,3 个处理苹果果实 Ndff 值均呈逐渐上升的趋势,新梢旺长期和果实膨大期 DF1 处理的果实 Ndff 高于 DF2; 从果实膨大期到果实成熟期,DF2 处理的果实 Ndff 增加更加显著,DF2 果实的 Ndff 超过 DF1,达 3.84% ,是 DF1 处理的 1.22 倍。

DF1 处理细根的 Ndff 呈逐渐下降的趋势,新梢旺长期 DF1 细根的 Ndff 最高为 1.47% ,是 DF2 处理的 1.96 倍。随着生长期的推移,DF2 细根的 Ndff 逐渐升高,到果实成熟期,DF2 处理细根的 Ndff 值高于 DF1,达 1.07% 。

2.4　不同滴头数量滴施^{15}N 尿素对植株各器官^{15}N 分配率的影响

从图 2 看出,果实成熟期解析,生殖器官的^{15}N 分配率分配率最高,营养器官和贮藏器官较低,表明此期生殖器官是生长中心, 氮素主要供应果实生长

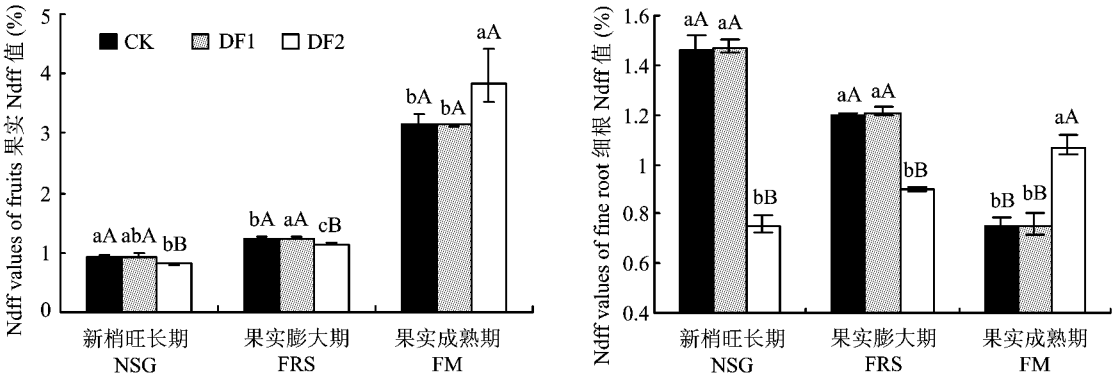

图1 关键生长期植株果实和细根的 Ndff

Fig. 1 The Ndff of fruits and fine roots at the key growing stages

[注(Note): NSG—New shoot growing stage; FRS—Fruit rapid-swelling stage; FM—Fruit maturity stage. 柱上不同的小、大写字母表示同一时期处理间差异达5%和1%显著水平 Different capital and small letters at the same stage above the bars indicate significant at the 5% and 1% levels, respectively.]

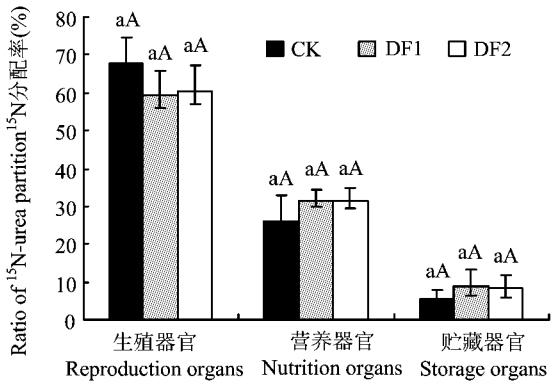

图2 果实成熟期各器官的^{15}N分配率

Fig. 2 Ratio of ^{15}N-urea partition in different organs at the fruit maturity stages

[注(Note): 柱上不同的小、大写字母表示同一时期处理间差异达5%和1%显著水平 Different capital and small letters and at the same stage above the bars indicate significant at the 5% and 1% levels, respectively.]

发育的需要。DF1处理生殖器官^{15}N分配率略低于DF2和CK,而营养器官和贮藏器官均略高于DF2和CK,但3个处理差异不显著,表明DF1、DF2和CK 3种施肥模式对^{15}N在各器官的分配率影响很小。

2.5 不同滴头数量滴施^{15}N尿素对苹果园土壤硝态氮年周期变化的影响

由图3可知,3种处理下,随生长期的推移,土壤0—20 cm,20—40 cm土层硝态氮含量变化趋势一致,均呈双峰趋势,峰值分别出现在新梢旺长期和果实膨大期。这主要是因为新梢旺长期后随着苹果生物量的增大,根系活动加强,对土壤硝态氮的吸收加大,同时由于在花芽分化期灌水1次,土壤含水量较大,苹果对下层土壤硝态氮的淋吸[14]作用微弱,导致新梢旺长期后硝态氮含量减小。随着土壤水分的不断消耗,下层土壤中的水分不断向上运移,补充苹果所需水分,引起硝态氮随水分不断上移,此时根系对下层土壤水分和硝态氮的淋洗效应较强,所以上层土壤硝态氮含量在果实膨大期表现为升高趋势,而下层土壤硝态氮含量继续降低,在果实成熟期,苹果生长旺盛,大量吸收硝态氮,硝态氮在0—20 cm和20—40 cm土层的分布再次下降。

在3种处理条件下,随着生长期的推移,60—80 cm和80—100 cm土层硝态氮含量的变化也呈相同的趋势,并且均较平缓,这主要是因为苹果根系主要集中在0—60 cm土层,硝态氮大部分集中在这个土层,供苹果根系吸收利用。60—80 cm和80—100 cm土层硝态氮含量较小,在不同物候期变化平缓。40—60 cm土层硝态氮含量变化差异显著,DF2处理明显高于DF1和CK,DF1和CK之间差异不显著。

3 讨论

苹果的养分吸收取决于根系的截获能力、土壤养分的有效性和树体的养分需求特性[15],苹果的根系密度很低,土壤中养分的移动性是决定养分有效性的关键因素,而尿素极易在土壤溶液中溶解,迁移到根系。因此良好的氮肥管理需要综合考虑氮肥供

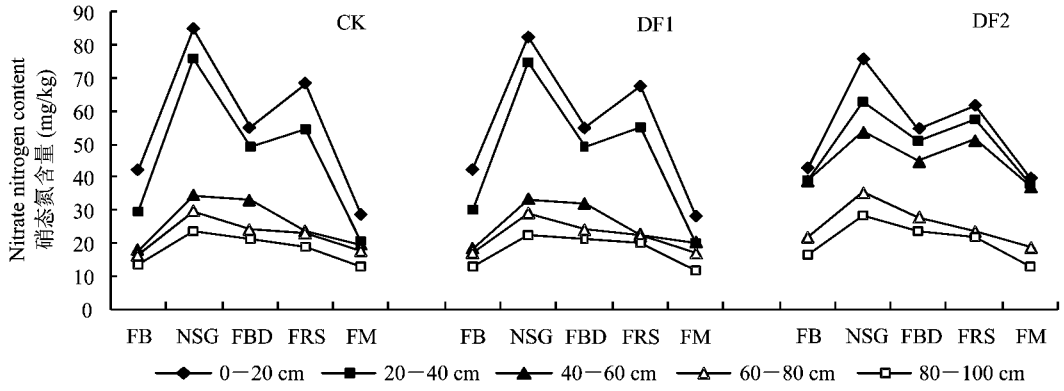

图 3　苹果园土壤硝态氮年周期变化

Fig. 3　Yearly soil nitrate nitrogen changes in the apple orchard

[注(Note)：FB—盛花期 Full-bloom stage；NSG—新梢旺长期 New shoot growing stage；FBD—花芽分化期 Flower bud differentiation stage；FRS—果实膨大期 Fruit rapid-swelling stage；FM—果实成熟期 Fruit maturity stage.]

应数量、时间与土壤根际的保持力，并保证养分位于根系吸收范围内，使养分达到供需平衡，滴灌施肥能灵活地控制施肥的供应位置和精度。

然而在蔬菜、花卉体系中应用的单管单滴头(DF1)模式在果树中可能不能适应根系对养分的截获，使养分不能充分被吸收和利用。本试验在果树根区分别设置了单管单头滴灌施肥模式(DF1)和双管双头滴灌施肥模式(DF2)，对适用于果园的滴灌模式进行了探索，其结果表明，在相同供氮水平下双管双头滴灌施肥模式的氮肥利用率显著高于单管单头滴灌施肥模式和常规施肥模式，这充分说明双管双头滴灌施肥模式可使局部土体中的养分的化学势显著增高，形成一个高化学势的肥料中心，从而促进根系的发生，显著提高氮肥的利用率，稳定了果树根系的局部环境，使其部分根系的结构和功能得以持续、稳定地发挥，保证树体整体的生长发育。

Ndff 反映了器官对新吸收氮的竞争能力，DF1 和对照处理在新梢旺长期和果实膨大期根系和幼果的 Ndff% 高于 DF2，表明早期局部集中供应养分可以促进早春器官建造，但在果实成熟期，DF2 处理显著高于 DF1 和对照，表明增加滴头数量有利于保证后期养分供应。因此，要根据树体发育状况，在年周期中调节供肥强度以保证稳健树势。从果实采收期生殖器官、营养器官和贮藏器官的氮的分配率来看，3 个处理对 N^{15} 在各个器官的分配影响不大。

在土壤比较贫瘠的苹果园中进行滴灌施肥时，在树周围设定两个滴头比较合适，这样更有利于根系的生长及硝态氮在土壤各层次中的合理分布，进而提高氮肥的利用效率。本试验中只是进行了一个滴头和两个滴头施肥模式的比较，至于更合适的滴头数量还有待进一步研究。

参 考 文 献：

[1] 彭福田，姜远茂，顾曼如，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.* Nitrogen nutrition in deciduous fruit trees[J]. Fruit Sci., 2003, 20(1): 54-58.

[2] 李庆逵. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌：江西科学技术出版社，1997.
Li Q K. Sustainable development of agriculture in China's fertilizer [M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 1997.

[3] 周建斌，陈竹君，李生秀. Fertigation—水肥调控的有效措施[J]. 干旱地区农业研究，2001，19(4)：16-21.
Zhou J B, Chen Z J, Li S X. Fertigation—Effective measures to control water and fertilizer[J]. Agric. Res. Dry Areas, 2001, 19(4): 16-21.

[4] 李伏生，陆申年. 灌溉施肥的研究和应用[J]. 植物营养与肥料学报，2000，6(2)：233-240.
Li F S, Lu S N. Research and application of irrigation and fertilization[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2000, 6(2): 233-240.

[5] Bar-Yosef B. Advances in fertigation[J]. Adv. Agron., 1999, 65: 1-77.

[6] 王建东，龚时宏，高占义，等. 滴灌模式对农田土壤水氮空间分布及冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报，2009，25(11)：68-73.
Wang J D, Gong S H, Gao Z Y *et al.* Effects of drip irrigation mode on spatial distribution of soil water and nitrogen and winter wheat yield[J]. Trans. Clin Soc. Agric. Eng., 2009, 25(11): 68-73.

[7] 侯振安，李品芳，龚江，王艳娜. 不同滴灌施肥策略对棉花氮素吸收和氮肥利用率的影响[J]. 土壤学报，2007，44(4)：702-708.
Hou Z A, Li P F, Gong J, Wang Y N. Effects of fertigation

strategy on nitrogen uptake by cotton and use efficiency of N fertiliser[J]. Acta Pedol. Sin., 2007, 44(4): 702-708.

[8] 龚江，吕宁，茹思博，侯振安. 滴灌条件下盐分对棉花养分及盐离子吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2009,15(3): 670-676.
Gong J, Lü N, Ru S B, Huo Z A. Effects of soil salinity on nutrients and ions uptake in cotton with drip irrigation under film [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(3): 670-676.

[9] 臧小平，邓兰生，郑良永，等. 不同灌溉施肥方式对香蕉生长和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2009, 15(2): 484-487.
Zang X P, Deng L S, Zheng L Y *et al*. Effects of different fertigation methods on growth and yield of banana[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(2): 484-487.

[10] 张学军，赵营，陈晓群，等. 滴灌施肥中施氮量对两年蔬菜产量、氮素平衡及土壤硝态氮累积的影响[J]. 中国农业科学，2007, 40(11): 2535-2545.
Zhang X J, Zhao Y, Chen X Q *et al*. Effects of application of nitrogen on vegetable yield, nitrogen balance and soil nitrogen accumulation under two years' drip fertigation[J]. Sci. Agric. Sin., 2007, 40(11): 2535-2545.

[11] 李俊良，刘洪对，张晓晟，等. 灌溉方式对露地菠菜的生长及氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2004, 10(4): 398-402.
Li J L, Liu H D, Zhang X S. Effects of different irrigation patterns on growth and nitrogen utilization of spinach under open field cultivation[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(4): 398-402.

[12] 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 Agriculture Press, 2000.

[13] 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. Application of ^{15}N on the nitrogen nutritional study in apple trees[J]. China Fruits, 1990, (2): 46-48.

[14] 吕殿青，杨进荣，马林英. 灌溉对土壤硝态氮淋吸效应影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报，1999, 5(4): 307-315.
Lü D Q, Yang J R, Ma L Y. Irrigation effects on soil nitrate leaching effects the research absorption[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1999, 5(4): 307-315.

[15] Neilsen D, Neilsen G. Fertigation of deciduous fruit trees: Apple and sweet cherry[A]. Imas P. Fertigation proceedings: selected paper presented at the joint [C]. Beijing: China Agriculture Press, 2005. 78-88.