

果实膨大期分次施氮对苹果氮素吸收利用及土壤累积动态的影响

彭玲, 王芬, 田歌, 于波, 葛顺峰, 姜远茂

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 以6 a生苹果为试材, 采用 ^{15}N 同位素示踪技术, 研究了果实膨大期等氮量分次(1次, 2次, 8次)追施N肥对 ^{15}N -尿素吸收、利用、损失及0—60 cm土层氮素累积动态的影响。结果表明: 随着果实的膨大, 植株新生器官(叶片、新梢和果实)Ndff值以8次施氮处理最高, 1次施氮处理最低; 果实成熟期, 8次施氮处理 ^{15}N 吸收量分别是2次和1次施氮处理的1.61倍和2.10倍; 植株营养器官和生殖器官 ^{15}N 分配率均以8次施氮处理最高, 1次施氮处理最低; 随时间推移, 8次施氮处理0—60 cm土层 ^{15}N 残留量逐渐高于2次和1次施氮处理, 且主要集中在0—40 cm土层; 在果实成熟期, 8次施氮处理 ^{15}N 肥料利用率为17.65%, 显著高于2次(10.99%)和1次施氮处理(8.37%), 而 ^{15}N 损失率为47.54%, 显著低于2次(59.05%)和1次施氮处理(67.92%)。综合考虑, 果实膨大期8次施氮处理效果最佳, 可使氮肥在树体需肥的关键期充分发挥作用, 能显著降低氮肥损失, 保证稳定充足氮素供应, 提高氮素利用率。

关键词: 苹果; 分次施氮; ^{15}N -尿素; 氮素吸收; 氮素损失

中图分类号: S147.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0287-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.05.044

Effects of Topdressing Nitrogen Application During Apple Swollen Stage on Absorption, Utilization and Soil Accumulation of Nitrogen

PENG Ling, WANG Fen, TIAN Ge, YU Bo, GE Shunfeng, JIANG Yuanmao

(State Key Laboratory of Crop Biology, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract: A field experiment was carried out in a six-year apple orchard to explore effects of ^{15}N -urea absorption, utilization, loss and residue in the 0—60 cm soil layer of the orchard under different topdressing nitrogen applications (once, twice and other eight times) at fruit swollen stage using the ^{15}N -labeled tracer method. Results showed that the highest Ndff value of different newborn organs (leaf, new shoots and fruits) were in the treatment received eight-time topdressing nitrogen application, and the lowest were found in the treatment received one-time topdressing nitrogen application at fruit expanding stage. At fruit maturity stage, the ^{15}N absorption of the treatment received eight-time topdressing nitrogen application were 1.61 times and 2.10 times of the treatment received two-time and one-time nitrogen topdressing application respectively. The highest distribution ratio of ^{15}N in vegetative and reproductive organs was in the treatment received eight-time topdressing nitrogen application, and the lowest was in the treatment received one-time topdressing nitrogen application at fruit maturity stage. With the passage of time, the amount of ^{15}N residue in 0—60 cm soil layer of the treatment received eight-time topdressing nitrogen application was gradually higher than the treatments received two-time and one-time topdressing nitrogen application, and it was found mainly in the 0—40 cm soil layer. At fruit maturity stage, the plant ^{15}N utilization rate of the treatment received eight-time topdressing nitrogen application was 17.65%, which was obviously higher than the treatment received two-time (10.99%) and one-time (8.37%) topdressing nitrogen application, and ^{15}N loss rate the treatment received eight-time topdressing nitrogen application was 47.54%, which was obviously lower than the treatments received two-time (59.05%) and one-time (67.92%) topdressing nitrogen application.

收稿日期: 2017-04-12

资助项目: 国家自然科学基金项目(31501713); 国家重点研发计划项目(2016YFD0201100); 山东省自然科学基金项目(ZR2015PC001); 国家现代农业产业技术体系建设资金项目(CARS-28)

第一作者: 彭玲(1988—), 女, 在读博士研究生, 主要从事苹果营养生理和土壤肥力研究。E-mail: zhushipink@163.com

通信作者: 葛顺峰(1985—), 男, 讲师, 主要从事果树营养生理与氮、磷循环研究。E-mail: geshunfeng210@126.com

姜远茂, (1964—)男, 教授, 博士生导师, 主要从事果树营养生理和土壤肥力研究。E-mail: ymjiang@sdau.edu.cn

In short, all the findings indicated that eight-time topdressing nitrogen application at fruit swollen stage achieved the optimal effect, which could significantly reduce nitrogen loss rate, ensure steady and adequate supply of nitrogen and consequently improve nitrogen utilization rate, so as to exert its effect on the highest nitrogen demand of fruit trees.

Keywords: apple; topdressing nitrogen application; ^{15}N -urea; N absorption; N loss

氮素对果实产量形成和品质提高具有重要作用, 适量、适时施用氮肥不仅能增强光合效能^[1-2], 增加养分积累, 还能促进花芽分化, 提高座果率, 增加平均单果重^[3]。不同时期追施氮肥, 果树对氮的吸收分配存在较大的差异, 施氮效果也不同。抓住树体需肥的关键时期, 不仅施肥效果好, 还能够显著降低施肥量^[4]。花期至果实成熟期这段时间的氮素营养状况与果实的生长发育密切相关, 而果实座果后的整个膨大期是氮素营养需求的关键时期, 也是当年施氮肥发挥作用的有效期^[5-6], 而此期恰逢夏季多雨, 易造成土壤氮素供应水平的剧烈变化, 从而加剧氮肥损失。近年来, 氮肥过量及不合理施用造成的硝态氮淋洗问题已受到广泛关注^[7]。因此, 保证树体需肥关键期氮素供应稳定、充足而不过量既是保障高产苹果氮素需求的关键, 又是降低氮素向环境损失的核心。

依据果树不同生育时期需肥规律科学合理施用氮肥是保证作物生长及丰产、稳产、产品优质的重要措施。在夏玉米、水稻等作物上的研究表明, 分次施肥方式较 1 次施肥可提高肥料利用率, 增加产量和改善品质^[8-9]。不同物候期分次施氮可增强苹果叶片吸氮能力, 延缓生长后期叶片衰老^[3]。桃树上 4 次分施较 1 次和 2 次施肥可明显增加果实纵横径和翌年开花量^[10]。这些研究均为果园制定合理施肥策略提供了理论依据。

目前, 有关土壤氮素供应对果树生长发育的影响主要集中在不同施氮期的研究上, 如早春施氮, 养分供应与苹果树体氮素需求不同步, 果树生育后期土壤有效氮供应不足导致树体吸收量有限^[11]; 花期施氮导致新梢和果实竞争光合产物的分配, 影响幼果发育^[12]; 而采收前施氮有利于增加树体贮藏氮营养和促进贮藏氮素向花芽的运输, 而不增加果实的氮浓度^[13]。然而, 关于果实膨大期施用氮肥的效果差异尚未阐明, 其合理施肥方式也未见系统研究。为此, 利用 ^{15}N 同位素示踪技术在果实膨大期相同施氮水平下, 研究了不同追氮方式对苹果 ^{15}N -尿素的吸收、利用特性及土壤氮素累积变化情况, 以期苹果等果树果实膨大期合理追肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2016 年 6 月 30 日—9 月 29 日在山东省烟

台市莱山镇官庄果园进行, 该地属温带大陆性半湿润季风气候区, 年均气温为 12.91℃, 无霜期约 196 d, 降水主要集中在 6—9 月, 6—9 月平均降水量 66.55 mm。供试材料为 6 a 生苹果, 品种为‘王林’/SH6(中间砧)/八棱海棠(砧木)(‘Orin’/SH6/ *M. micromalus* Makino), 株行距为 3 m×4 m。土壤质地为砂质壤土。试验前 0—60 cm 土层基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

土层 深度/cm	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	土壤容重/ (g·cm ⁻³)
0—20	18.01	69.64	31.76	73.13	1.16
20—40	15.62	50.23	17.34	63.05	1.29
40—60	10.23	31.02	15.42	51.62	1.40

选取生长势基本一致、无病虫害的苹果 12 株。设 3 个处理, 单株为 1 次重复, 重复 4 次。处理 1(1 次追肥, N1): 于 2016 年 6 月 30 日 1 次性每株土施 ^{15}N -尿素(上海化工研究院生产, 丰度为 10.16%。下同。)10 g 和普通尿素 145 g; 处理 2(2 次追肥, N2): 分别于 6 月 30 日、7 月 28 日每次每株土施 ^{15}N -尿素 5 g 和普通尿素 72.50 g; 处理 3(8 次追肥, N3): 从 6 月 30 日起每周进行 1 次施肥处理, 前 2 次每次每株土施 ^{15}N -尿素 2 g 和普通尿素 29 g, 后 6 次每次每株土施 ^{15}N -尿素 1 g 和普通尿素 14.50 g。施肥时距中心干 60 cm 处挖深和宽均为 10 cm 的环状沟, 将 ^{15}N -尿素和普通尿素用水溶解后均匀浇灌于环状沟内, 处理 1 和处理 2 不进行施肥处理时同样和处理 3 浇灌等量去离子水。

施肥后分 4 次进行局部取样, 每 2 周采集 1 次。在树体四周均匀取新梢、叶片, 果实每次随机取 3 个。并在果实成熟期(9 月 29 日)对 3 个施肥处理整株植株进行破坏性取样。整株样品解析为果实、叶片、新梢、多年生枝、中心干和根。同时每次取样在单株所占树冠投影面积内均匀布 12 个采样点, 避开施肥沟, 以 20 cm 为一个土层取样, 取至 60 cm, 随后将每层 12 点土样均匀混合, 按四分法取样。

1.2 测定项目及方法

植株样品按清水→洗涤剂→清水→1%盐酸→3 次去离子水顺序冲洗后, 105℃杀青 30 min, 随后在 80℃烘干至恒重, 电磨粉碎后过 60 目筛, 混匀后装袋备用。土样取回后自然风干、研磨、过筛、装袋待测。样品全氮用凯氏定氮法测定; ^{15}N 丰度采用

ZHT-03(北京分析仪器厂)质谱计(河北省农林科学院遗传生理研究所)测定;土壤容重采用环刀法测定;果实成熟期每株树采集 4 个果实测定果实品质,可溶性固形物含量用糖量计测定;可溶性糖含量和可滴定酸含量分别采用蒽酮比色法^[14]和指示剂滴定法测定;硬度用 HP-230 型硬度仪测定。

1.3 数据处理

植株器官从肥料中吸收分配到的¹⁵N 量对该器官全氮量的贡献率(Ndff,%)=(样品中¹⁵N 丰度-¹⁵N 自然丰度)/(肥料中¹⁵N 丰度-¹⁵N 自然丰度)×100%;氮肥利用率=(Ndff×器官全氮量(g))/施氮量(g)×100%;土壤质量(kg)=土壤体积(m³)×土壤容重(kg/m³);土层全氮量(g)=土壤质量(kg)×全氮含量(g/kg);0—60 cm 土层氮肥残留率=Ndff×土层全氮量/施氮量(g)×100%;氮肥损失率=100%-(苹果植株氮肥利用率)-(0—60 cm 土层氮肥残留率)。

本试验所有数据均采用 Microsoft Excel 2003 进行图表绘制,并利用 DPS 7.05 统计软件进行方差分析和 LSD 多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 分次施氮对植株新生器官(叶片、新梢、果实) Ndff 的影响

植株器官从肥料中吸收分配到的¹⁵N 量对该器官全氮量的贡献率(Ndff)反映了植株器官对肥料¹⁵N 的吸收征调能力^[15]。果实膨大期不同施氮处理后,¹⁵N 在各器官中的分配势(Ndff)差异显著(表 2)。随着果实的膨大,3 种施氮处理的新梢、叶片及果实的 Ndff 值均呈逐渐上升的趋势。N1 处理施肥 2 周后(7 月 14 日)新梢、叶片及果实的 Ndff 值显著高于 N2 和 N3 处理。随着时间的推移,N3 处理新生器官对肥料¹⁵N 的吸收征调能力逐渐强于 N1 和 N2 处理,其中以果实 Ndff 值增加更加显著,从第 2 次取样(7 月 28 日)起开始高于 N1 和 N2 处理,至第 4 次取样(8 月 26 日)N3 处理果实 Ndff 值达 1.22,分别比 N1 和 N2 处理高 52.50%和 31.18%。

表 2 分次施氮不同时期苹果新生器官 Ndff

器官	处理	7 月 14 日	7 月 28 日	8 月 12 日	8 月 26 日
叶片	N1	0.43±0.02a	0.54±0.02a	0.59±0.01c	0.63±0.02c
	N2	0.39±0.01b	0.42±0.01c	0.67±0.02b	0.72±0.03b
	N3	0.38±0.01b	0.50±0.03b	0.73±0.03a	0.89±0.03a
新梢	N1	0.47±0.03a	0.56±0.01a	0.64±0.02c	0.73±0.02c
	N2	0.43±0.02b	0.47±0.02b	0.72±0.05b	0.83±0.03b
	N3	0.42±0.01b	0.58±0.02a	0.80±0.04a	0.98±0.06a
果实	N1	0.57±0.03a	0.70±0.01b	0.76±0.03c	0.80±0.03c
	N2	0.50±0.01b	0.61±0.03c	0.87±0.06b	0.93±0.03b
	N3	0.47±0.03c	0.75±0.01a	0.99±0.02a	1.22±0.04a

注:表中数据为 4 次重复的平均值;同一列小写字母表示差异达 0.05 显著水平。下同。

2.2 分次施氮对植株各器官¹⁵N 分配率的影响

植株各器官中¹⁵N 占全株¹⁵N 总量的百分率反映了肥料在树体内的分布及在各器官中的迁移规律^[16]。由图 1 可知,不同施氮处理对果实成熟期同一器官¹⁵N 分配率存在显著差异,生殖器官(果实)和营养器官(新梢、叶片)¹⁵N 分配率均以 N3 处理最高,分别为 25.56%和 42.55%,N2 处理次之,N1 处理最小。而 N3 和 N2 处理贮藏器官(多年生枝、中心干、根)¹⁵N 分配率显著低于 N1 处理,分别比 N1 处理低 34.51%和 10.53%。

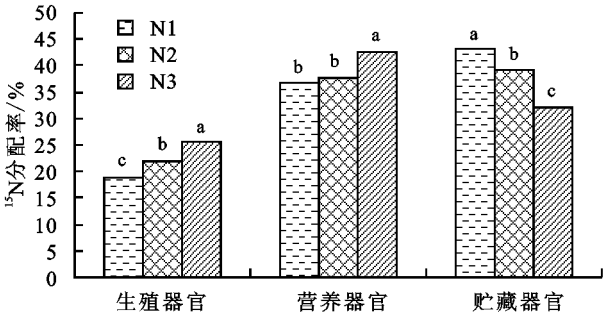


图 1 分次施氮果实成熟期苹果各器官的¹⁵N 分配率

2.3 分次施氮对植株¹⁵N—尿素吸收和¹⁵N 利用率的影响

由表 3 可知,果实成熟期 3 种施氮处理间苹果植株的总氮量、吸收¹⁵N 的量及¹⁵N 肥料利用率存在显著差异,N3 处理显著高于 N1 和 N2 处理,分别为 112.39 g,0.81 g 和 17.65%。N1 处理最小,其植株的总氮量、吸收¹⁵N 的量及¹⁵N 肥料利用率分别为 N3 处理的 70.45%,46.91%和 47.42%,N2 处理介于二者之间,表明果实膨大期增加施氮次数可提高植株氮素利用率,且 N3 处理效果明显优于 N2 处理。

表 3 分次施氮果实成熟期植株总氮量、¹⁵N 吸收总量及¹⁵N 利用率

处理	单株总氮量/g	吸收 ¹⁵ N 的量/g	¹⁵ N 肥料利用率/%
N1	79.18±3.16c	0.38±0.01c	8.37±0.66c
N2	87.45±2.81b	0.51±0.01b	10.99±1.21b
N3	112.39±5.75a	0.81±0.03a	17.65±1.50a

2.4 分次施氮对¹⁵N—尿素在 0—60 cm 土层累积动态的影响

果实膨大期不同施氮处理间 0—60 cm 土层¹⁵N 残留量变化趋势不同(图 2)。第 1 次取样(7 月 14 日)N1 处理 0—20 cm 土层¹⁵N 残留量显著高于 N2 和 N3 处理,达 0.71 g,然后随着时间的推移持续降低,到果实成熟期(9 月 29 日)最低为 0.18 g,降幅明显;施肥四周后(7 月 28 日),N2 处理 0—20 cm 土层¹⁵N 残留量略有降低,但随其第 2 次施肥,其¹⁵N 残留量迅速上升,达 0.76 g,显著高于 N1 和 N3 处理,然后随雨量增多,其 0—20 cm 土层¹⁵N 淋失迅速,到果实成熟期降为 0.39 g,波动性较大;相比于 N1 和 N2 处

理, N3 处理 0—20 cm 土层¹⁵N 残留量在整个物候期变化较为平稳, 呈缓慢上升然后又平缓降低的趋势, 从第 4 次取样(8 月 26 日)到果实成熟期, 其¹⁵N 残留量均显著高于 N1 和 N2 处理。

随表层氮素下渗, N1 处理 20—40 cm 土层¹⁵N 残留量在施肥 4 周后累积到最大值, 为 0.67 g, 但从 8 月后呈持续降低趋势, 到果实成熟期为 0.35 g, 显著低于 N2(0.46 g)和 N3 处理(0.56 g); 与 N1 和 N3 处理相比, 整个果实膨大期 N2 处理 20—40 cm 土层¹⁵N 残留量变幅最大, 呈迅速上升后下降趋势, 在果实膨大前期最低为 0.31 g, 第 4 次取样时最高为 0.61 g, 变幅达 99.31%; N3 处理 20—40 cm 土层¹⁵N

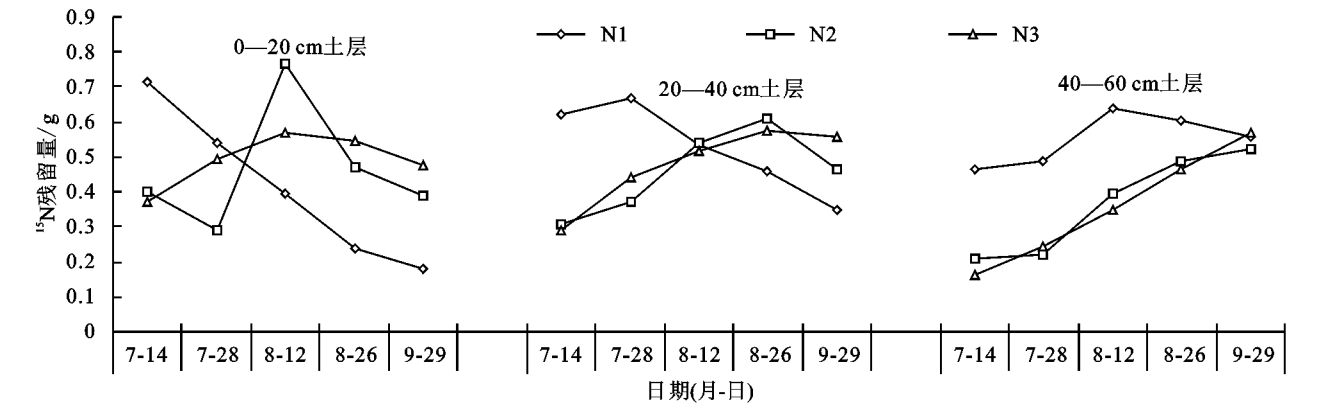


图 2 不同时期分次施氮 0—60 cm 土层¹⁵N 残留量

2.5 分次施氮对¹⁵N—尿素残留、损失的影响

由表 4 可知, 果实成熟期 3 种施氮处理间 0—60 cm 土层¹⁵N 总残留量及¹⁵N 总残留率差异显著, 以 N3 处理最高, 分别为 1.60 g 和 34.81%, N2 处理次之, N1 处理最低, 说明果实膨大期随施氮次数的增加累积在 0—60 cm 氮素量增多; 同时, 3 种施氮处理间土壤¹⁵N 损失率存在显著差异, 和 N1 处理相比, N2 和 N3 处理¹⁵N 损失率分别降低了 24.21% 和 42.87%, 表明 N2 和 N3 处理降低了氮素损失, 且以 N3 处理效果最好。

2.6 分次施氮对果实产量及品质的影响

由表 5 可知, 随果实膨大期施氮次数的增加, 到果实成熟期单果质量和单株产量随之增加。N3 处理单果质量分别比 N1 和 N2 处理增加了 17.92% 和

残留量在 3 种施氮处理间波动性最小, 果实膨大期一直呈平缓上升趋势, 在果实成熟期其 20—40 cm 土层¹⁵N 残留量略有降低, 分别是 N1 和 N2 处理的 1.21 倍和 1.60 倍。N1 处理 40—60 cm 土层¹⁵N 残留量在第 3 次取样(8 月 12 日)累积到最大值(0.64 g), 之后一直呈降低趋势, 说明有继续向 60 cm 土层以下淋溶的趋势, 而 N2 和 N3 处理 40—60 cm 土层¹⁵N 残留量随时间推移一直呈上升趋势。综合不同施氮处理间 0—60 cm¹⁵N 残留量发现, N3 处理氮素主要累积在 0—40 cm 土层, 且变化较为平稳, N2 处理氮素在 0—60 cm 土层波动性最大, 而 N1 处理随时间推移氮素持续向深层土壤移动。

8.59%, 其单株产量分别为 N1 和 N2 处理的 1.21 倍和 1.06 倍; 不同施氮处理果实可溶性固形物、硬度及可溶性糖均以 N3 处理最高, N2 处理次之, N1 处理最低; 果实中可溶性糖含量增加、可滴定酸含量降低, 适宜施氮范围内, 糖酸比升高可改善果实口感和风味, 3 种施氮处理间糖酸比差异显著, N3 处理最大, 其次为 N2 处理, N1 处理最小, 表明果实膨大期增加施氮次数可改善成熟期果实品质。

表 4 分次施氮果实成熟期土壤¹⁵N 残留量及损失率

处理	单株 ¹⁵ N 总残留量/g	¹⁵ N 总残留率/%	¹⁵ N 损失率/%
N1	1.09±0.03c	23.71±1.62c	67.92±3.22a
N2	1.38±0.06b	29.96±1.38b	59.05±2.98b
N3	1.60±0.04a	34.81±1.93a	47.54±2.32c

表 5 分次施氮果实成熟期产量及品质

处理	单果 质量/g	单株 产量/kg	可溶性固 形物/%	硬度/ (kg·cm ⁻²)	可溶 性糖/%	可滴 定酸/%	糖酸比
N1	206.18±7.14c	9.28±0.30c	15.11±0.65bc	8.93±0.20b	12.98±0.68b	0.38±0.01a	34.23±1.45c
N2	223.89±10.38b	10.54±0.22b	15.49±0.50b	9.32±0.37ab	13.34±0.98ab	0.37±0.02a	35.65±1.33b
N3	243.12±8.93a	11.19±0.88a	15.94±0.99a	10.10±0.29a	13.88±1.02a	0.35±0.02b	39.14±1.61a

3 讨论

果实膨大期生殖器官和营养器官对养分竞争异常激烈, 是氮素营养需求的关键时期, 需要稳定、适量的氮素供应来维持各器官正常功能及果实发育。而

此期正值夏季多雨期, 土壤缓冲性差, 养分易随雨水淋溶损失, 导致土壤养分供应不足影响树体生长。本试验在果实膨大期等氮量分次追施¹⁵N—尿素情况下发现, N1 处理 0—60 cm 土层¹⁵N 残留量成持续降低

趋势,且整个试验期间降幅最大。N1 处理导致短时间内土壤有效氮浓度急剧升高,超出果实发育所需,不能被植株迅速吸收,大量盈余氮素以氨挥发、硝化和反硝化作用损失,表层下渗氮素又易随雨水淋溶损失。随着果实膨大其 0—60 cm 土层¹⁵N 总残留量迅速降低,且缺少持续的氮素补充,导致果实膨大中后期 0—60 cm 土层氮素供应不足,难以被根系有效吸收利用,致使肥料利用率降低;N2 处理 0—60 cm 土层¹⁵N 残留量变化最为剧烈,果实膨大期其 0—20 cm 土层¹⁵N 残留量先呈下降后迅速上升最后又下降趋势,波动性较大。其 20—40 cm 土层¹⁵N 残留量在 3 种施氮处理间也变幅最明显,其结果容易导致氮素作为信号物质对植株细胞分裂素与赤霉素等内源激素水平的影响加大,从而加重了对果树生长的刺激,不仅会加剧植株营养生长和生殖生长竞争,且会抑制细根的生长^[17],氮素供应不稳定同样不利于氮素吸收和树体生长。

对苹果根系的调查发现,地表以下 40 cm 土层内为苹果根系集中分布区,该土层根系对氮素的吸收能力最强,施入的肥料能够快速高效地被吸收^[18]。本试验表明,和 N1、N2 处理相比,果实膨大期 N3 处理氮素主要累积在 0—40 cm 土层,且随其施肥次数的增加氮素在 0—40 cm 土层间的分布相对更均匀,较好的维持了 0—40 cm 土层稳定的氮素浓度,从而保证了根系集中分布区稳定、充足的氮素供应,增大了氮素和根系的接触面积,因而 N3 处理保障了苹果根系对氮素的吸收,满足了果实发育对氮素的需求。至果实成熟期 N3 处理¹⁵N—尿素利用率达 17.65%,分别是 N1 和 N2 处理的 1.61 倍和 2.11 倍,而¹⁵N—尿素损失率显著低于 N1 和 N2 处理,充分说明果实膨大期增加施氮次数可明显提高氮素利用率,降低氮素损失。

氮素营养状况影响着植株生长发育的全过程^[19-20],果实膨大期是植株氮素积累的主要时期,氮素能较快地吸收征调到新生器官中去,用于新生器官的形态建造。根据植物稳态矿质营养理论,养分稳定供应可实现植物的最适生长,充分挖掘植物的生长潜力^[21]。果实膨大期 N3 处理较好的实现了氮素的稳定供应,提高了氮素利用率,随着果实的膨大,N3 处理新生器官特别是果实的分配势(Ndff)逐渐高于 N1 和 N2 处理,说明果实膨大期增加施氮次数可增强新生器官对氮素的吸收征调能力,从而有利于氮素吸收和向上运输,满足果实膨大期器官发育对养分的需求。¹⁵N 分配受生长中心的支配和施氮方式的影响,进一步分析果实成熟期 3 种不同追肥处理¹⁵N 在各个器官分配的差异可见,N3 处理植株吸收的¹⁵N—尿素不再先分配到贮藏器官中,而是直接用于树体的营养生长和生殖生长,因而其生殖器官和营养器官的分

配率显著高于 N1 和 N2 处理,而贮藏器官分配率低于 N1 和 N2 处理,这更有利于地上部氮素分配的均衡和产量的增加,与张进等^[22]在冬枣、丁宁等^[23]在苹果上的研究结果一致。

养分供应是影响果实发育和果实产量品质的重要因素之一,果实膨大期 N3 处理养分更易达到平稳供应,根系在整个果实膨大期一直可以吸收到适量养分,其养分供应方式更接近果实发育树体生长对养分的需求。与 N1 和 N2 处理相比,其单果质量和单株产量显著增加,同时从果实品质测定结果来看,N3 处理的果实可溶性固形物、硬度、可溶性糖及糖酸比显著高于 N1 和 N2 处理,说明 N3 处理在促进当年新生器官生长同时提高了单株产量,改善了果实品质。

4 结论

(1)N3 处理¹⁵N 残留量主要集中在 0—40 cm 土层,且变化较为平稳。N2 处理¹⁵N 残留量在 0—60 cm 土层波动性最大,而 N1 处理 0—60 cm 土层¹⁵N 残留量持续降低。至果实成熟期 N3 处理 0—60 cm 土层¹⁵N 残留量分别是 N1 和 N2 处理的 1.47 倍和 1.16 倍。

(2)随着果实膨大,N3 处理新生器官 Ndff 值显著增大,至果实成熟期,其植株全氮量及¹⁵N 吸收量显著高于 N1 和 N2 处理,¹⁵N—尿素利用率分别是 N1 和 N2 处理的 1.61 倍和 2.11 倍,而¹⁵N—尿素损失率为 47.54%,显著低于 N1 和 N2 处理。

(3)与 N1 和 N2 处理相比,N3 处理显著提高了单果质量和单株产量,同时改善了果实品质。

参考文献:

- [1] 宋航,杨艳,周卫霞,等.光、氮及其互作对玉米光合特性与物质生产的影响[J].玉米科学,2017,25(1):121-126.
- [2] 丁宁,姜远茂,魏绍冲,等.分次追施 N 肥对苹果砧木—平邑甜茶吸收¹⁵N—尿素以及叶片衰老的影响[J].植物生态学报,2012,36(12):1286-1292.
- [3] 吴海华,盛建东,陈波浪,等.不同水氮组合对全立架栽培伽师瓜产量与品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):885-892.
- [4] Jordan M O, Wendler R, Millard P. The effect of autumn N supply on the architecture of young peach (*Prunus persica* L.) trees[J]. Trees, 2009,23(2):235-245.
- [5] 史祥宾,杨阳,翟衡,等.不同时期施用氮肥对巨峰葡萄氮素吸收、分配及利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(6):1444-1450.
- [6] 丁宁,彭玲,安欣,等.不同时期施氮矮化苹果对¹⁵N 的吸收、分配及利用[J].植物营养与肥料学报,2016,22(2):572-578.
- [7] 于亚莉,史东梅,蒋平,等.不同土壤管理措施对坡耕地土壤氮磷养分流失的控制效应[J].水土保持学报,2017,31(1):30-42.