植物营养与肥料学报 2014,20(6):1460-1467
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0616

# SH6 中间砧不同埋土深度对苹果幼树内源激素和氮素利用的影响

李洪娜,季萌萌,彭 玲,姜 翰,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:【目的】**苹果矮化密植集约化栽培已成为国内外现代苹果生产发展的主流和方向。应用矮化中间砧是当前我国果树生产上采用的主要致矮手段,但矮化中间砧苹果存在氮素吸收利用率低、树势弱、易衰老等问题,目前我国对于矮化中间砧的栽培标准尚不统一,生产上大都采用的中间砧埋深 1/2 的措施也缺乏一定的理论依据。因此,研究中间砧不同埋土深度对苹果幼树内源激素和氮素利用的影响,以期为确定 SH6 中间砧埋土的最适深度提供理论依据。**【方法】**利用$^{15}$N 同位素示踪技术,以两年生宫藤富士/SH6/平邑甜茶(*Borkh cv. Fuji*/SH6/*M. hupehensis Rehd*)为试材,于春梢萌芽前,设置 3 个埋土深度,其中 T1 为中间砧全埋,T2 为中间砧埋深 1/2,T3 为中间砧全露,同时每棵施 0.5 g$^{15}$N-尿素,5 次重复。于春梢旺长期、春梢停长期,采用酶联免疫法测定茎尖和细根的激素含量;植株停止生长时,整株解析,称量各部分鲜重、干重,测定植株全氮及其$^{15}$N 丰度。**【结果】**中间砧埋土深度与植株生长关系密切,株高、茎粗、鲜重、细根生物量均以全埋(T1)最高,全露(T3)最低,且两者差异显著。中间砧不同埋土深度影响植株内源激素含量,不同处理间存在差异,新梢旺长期和新梢停长期茎尖、新梢中赤霉素(GA)和生长素(IAA)含量均表现为 T1 > T2 > T3,而脱落酸(ABA)的含量则相反;新梢停长期,T2 处理茎尖的玉米素核苷(ZR)/赤霉素(GA)比值比 T1 和 T3 处理分别升高了 8.53%、6.06%;各时期茎尖和细根的 ABA/GA 和 ABA/IAA 比值均为 T3 > T2 > T1;新梢旺长期,T1、T2 和 T3 处理茎尖(GA + ZR + IAA)/ABA 比值分别为 1.66、0.83 和 0.71。植株全氮、$^{15}$N 吸收量、氮肥利用率均以 T1 处理最大,T2 处理次之,T3 最小;同一器官不同处理间 Ndff% 值也存在差异,T3 处理显著高于其他处理。**【结论】**SH6 中间砧埋深 1/2 处理的生长促进型激素 GA 和 IAA 的含量以及(GA + ZR + IAA)/ABA 比值均降低,并且与花芽分化有关的 ZR/GA 比值明显升高。中间砧埋深 1/2 处理既能调节植株体内激素平衡,起到矮化效果,又能促进根系对氮的吸收利用、提早花芽分化。因此生产上 SH6 苹果中间砧以埋深 1/2 的效果最好。

**关键词:** 中间砧; 埋土深度; 苹果幼树; 内源激素; 氮素利用
**中图分类号:** S661.1.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2014)06-1460-08

# Effect of different SH6 buried depths on hormone and $^{15}$N-urea utilization of dwarf apple trees

LI Hong-na, JI Meng-meng, PENG Ling, JIANG Han, GE Shun-feng, JIANG Yuan-mao*
(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China*)

**Abstract:【Objectives】**Intensive cultivation of dwarfed apple rootstocks is becoming a direction of efficient cultivation for apple at home and abroad. The application of dwarfed interstocks is the main routine in dwarfed apple cultivation, and because of the lack of standard cultivation technique and theoretical basis in 1/2 buried of interstocks, dwarfed apple trees are in low nitrogen utilization, weak tree vigor and fast senescence. Therefore, the effect of different buried depths of interstocks on nitrogen absorption and utilization of dwarfed interstocks and the

**收稿日期:** 2013-11-26 **接受日期:** 2014-06-30
**基金项目:** 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-28);公益性行业(农业)科研专项(201103003);山东省农业重大应用创新课题(201009)资助。
**作者简介:** 李洪娜(1987—),女,山东日照人,硕士研究生,主要从事果树营养诊断和施肥研究。E-mail: jing_jingbest@126.com
* 通信作者 Tel: 0538-8249778, E-mail: ymjiang@sdau.edu.cn

endogenous hormone was studied, aiming to provide a scientific basis on appropriate buried depth of the interstocks in apple production. 【**Methods**】Two-year-old Fuji/SH6/malus hupehensis Rehd trees were selected as materials for studying the nitrogen absorption and utilization by using the $^{15}N$ isotope tracer technique. The buried depths were interstocks entirely buried(T1), interstocks 1/2 buried(T2) and interstocks entirely bared(T3) respectively. There were 5 replicates, and 0.5 g $^{15}N$-urea was applied respectively. At the vigorous growing stage and stop growing stage, the hormones in stem tips and fine roots were measured using the method of enzyme-linked immunoassay (ELISA). The whole plants were sampled when the shoot stop growing, and the fresh weight and dry weight of each part were weighed, and the plant total nitrogen and $^{15}N$ abundance were detemined. 【**Results**】The results show that the plant growth of interstocks is significantly related with the buried depth, and the height and diameter of plant, total fresh weight and fine root biomass of the T1 treatment are the highest, while those of the T3 treatment are the lowest. The content of endogenous hormone varies with the buried depth of interstocks, and the contents of gibberellin (GA) and auxin(IAA) of different buried depths are in order of T1 > T2 > T3 at the vigorous growing stage and the stop growing stage of the new shoot, while the abscisic acid (ABA) contents show an adverse tendency. The ratio of trans-zeatin-riboside(ZR)/gibberellin(GA) in shoot tips of T2 is 8.53% and 6.06% more than those of T1 and T3 at the new shoot stop growing period. The ratios of ABA/GA and ratios of ABA/IAA of stem tips and fine roots during the period are in order of T3 > T2 > T1. The values of (GA + ZR + IAA)/ABA of T1, T2 and T3 in shoot tips are 1.66, 0.83 and 0.71 at the new shoot growing stage. The plant total nitrogen, $^{15}N$ uptake and fertilizer utilization rate of T1 treatment are the highest, those of the T2 treatment are in the second place and those of the T3 treatment are the lowest. The Ndff values also varied among treatments, and the value of the T3 treatment is significantly higher than those of the others. 【**Conclusions**】The interstocks 1/2 buried of SH6 reduces the content of growth promoting hormone(IAA and GA) and (GA + ZR + IAA)/ABA ratio, and increases the ZR/GA ratio which relates to flower bud differentiation significantly. The interstocks buried 1/2 treatment can balance the hormone in plant, dwarf the tree, promote the bud differentiation and then increase the absorption and utilization of nitrogen, therefore, the interstocks buried 1/2 of SH6 apple trees present the best in production.

**Key words:** interstock; buried depth; young apple tree; hormone; nitrogen utilization

苹果树矮化密植具有结果早、产量高、果实品质好、管理方便[1]、更新品种快、节约土地、投资回收快的特点,应用矮化中间砧是当前我国果树生产上采用的主要致矮手段,也是世界上果树栽培的发展趋势[2-3]。但矮化中间砧苹果存在氮素吸收利用率低、树势弱、易衰老等问题,目前我国对于矮化中间砧的栽培标准尚不统一,生产上大都采用的中间砧埋深 1/2 的措施也缺乏一定的理论依据。因此确定合理的中间砧的埋土深度对于在生产上大力推广矮化密植栽培具有重要的意义。氮素是果树必需的重要的矿质元素[4],对果树的产量、品质[5]、激素水平[6]有重要的调节作用。激素作为果树生长的重要调节物质,影响果树的生长[7]、枝梢形成[8]和成花结果[9-10],激素类物质在苹果矮化砧木致矮机理中也占有重要的地位[11]。而郭金丽等[12]、李丙智[13]的研究表明,矮化中间砧的埋土深度与树体生长、矮化程度关系十分密切。前人关于中间砧埋土深度的研究主要集中在树体外部长势上[14-16],而中间砧埋土深度的作用机理特别是对树体氮素吸收以及内源激素的影响尚缺乏系统的研究。因此,本研究应用$^{15}N$ 同位素示踪技术,以两年生宫藤富士/SH6/平邑甜茶为材料,研究中间砧不同埋土深度对苹果幼树内源激素和氮素利用的影响,以期为确定 SH6 中间砧最适的埋土深度提供理论依据。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验设计

试验在山东省泰安市山东农业大学园艺试验站进行。以两年生宫藤富士/SH6/平邑甜茶(*Borkh cv. Fuji*/SH6/*M. hupehensis Rehd*)为试材,株行距 1 m×2 m,试验地土壤为黏质棕壤土,0—20 cm 土层有机质含量 9.83 g/kg、全氮 0.82g/kg、碱解氮 86.97mg/kg、速效磷 22.57 mg/kg、速效钾 125.37

mg/kg,pH 6.80。

选取生长势基本一致、中间砧长度约 20 cm、无病虫害的两年生宫藤富士/SH6/平邑甜茶 15 株,设 3 个处理:中间砧全埋(T1)、中间砧埋深 1/2(T2)、中间砧全露(T3)。每个处理5 次重复。分别于 4 月中旬,每棵施 0.5 g $^{15}$N-尿素 +13.1 g 普通尿素,20 g 磷酸二铵和 18.5 g 硫酸钾。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 植株内源激素及根系活力的测定 于 2012 年 5 月 15 日、6 月 25 日分别采集植株的茎尖和细根,每个处理重复 3 次,分别称取 0.5 g 样品,放入液氮罐中,带回实验室放入超低温冰箱保存。细根和茎尖中生长素(IAA)、赤霉素(GA)、脱落酸(ABA)及玉米素核苷(ZR)含量的测定采用酶联免疫分析方法(ELISA)[17]。

1.2.2 植株样品的解析和测定 于 2012 年 9 月 20 日植株停止生长时,整株解析,称量各部分鲜重、干重。整株解析为细根(d≤0.2 cm)、粗根(d>0.2 cm)、根砧、中间砧、枝干、新梢、叶片。样品按清水→洗涤剂→清水→0.1% 盐酸→3 次去离子水的顺序冲洗后,于 105℃杀青 30 min 后在 80℃烘干至恒重,电磨粉碎后过 0.3 mm 筛,混匀后装袋备用。

样品全氮用凯氏定氮法测定[18];MAT-251 质谱仪测定$^{15}$N 丰度,样品在中国农业科学院原子能利用研究所测试。

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

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

试验数据采用 SAS 9.1 系统进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 中间砧不同埋土深度对植株生长的影响

中间砧不同埋土深度显著影响苹果幼树的生长状况,其中株高、茎粗、总鲜重等指标均存在显著差异(表 1),其中 T1 处理的株高、茎粗、总鲜重最大,其次为 T2,T3 最小。T1 处理细根生物量显著高于其他处理,约为 T2 的 1.35 倍,T3 的 1.73 倍。3 个处理间根冠比以 T3 最大,T1 最小,且两者差异显著,T2 处理与其他处理间的差异不显著。结果表明中间砧全埋(T1)处理的植株旺长,失去矮化效果,而中间砧全露(T3)的长势太弱。

**表 1 不同埋土深度株高、茎粗、细根生物量、根冠比及鲜重**

**Table 1 The plant height, stem diameter, fine root biomass, root to shoot ratio and fresh weight under different buried soil depths**

| 处理 Treatment | 株高(cm) Plant height | 茎粗(cm) Stem diameter | 细根干重(g/plant) Fine root dry weight | 根冠比 Root/shoot | 总鲜重(g/plant) Fresh weight |
|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 148.3±8.02 a | 1.39±0.06 a | 6.92±0.82 a | 0.43±0.08 b | 237.2±14.73 a |
| T2 | 124.7±1.53 b | 1.16±0.08 b | 5.14±0.20 b | 0.47±0.03 ab | 177.4±14.62 b |
| T3 | 112.0±6.00 c | 0.98±0.06 c | 4.00±0.30 b | 0.54±0.03 a | 143.3±10.43 c |

注(Note):T1—中间砧全埋 Interstocks entirely buried;T2—中间砧埋1/2 Interstocks 1/2 buried;T3—中间砧全露 Interstocks entirely bared. 同列数据后不同字母表示处理间差异达5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

### 2.2 不同埋土深度对植株内源激素含量的影响

2.2.1 对苹果茎尖和细根内源激素含量的影响 由表 2 可以看出,中间砧不同埋土深度影响植株内源激素的变化,不同处理间存在差异,各时期茎尖和细根中赤霉素(GA)和生长素(IAA)的含量表现一致,均为 T1>T2>T3;脱落酸(ABA)的含量则相反,表现为 T1<T2<T3。新梢旺长期,茎尖和细根中的玉米素核苷(ZR)含量以 T3 处理最大,T2 次之,T1 最小;新梢停长期,即花芽分化期,茎尖和细根中 ZR 含量均为 T1>T2>T3。新梢停长期较新梢旺长期茎尖中的 GA、IAA 含量略有降低,IAA 含量明显降低。与茎尖不同,新梢停长期根系中 GA、IAA 含量的均值较新梢旺长期有所升高,而 ABA 含量有所降低。

表 2　不同埋土深度植株的内源激素含量 (ng/g, Fw)

Table 2　Endogenous hormone contents of different buried soil depths

| 生长期 Growth period | 部位 Position | 处理 Treatment | 赤霉素 GA | 玉米素核苷 ZR | 生长素 IAA | 脱落酸 ABA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 新梢旺长期 New shoot growing | 茎尖 Shoot tips | T1 | 10.90 ±0.92 a | 11.68 ±0.07 c | 101.19 ±8.05 a | 74.45 ±1.99 c |
| | | T2 | 10.84 ±0.21 a | 12.49 ±0.54 b | 80.35 ±3.33 b | 125.08 ±4.65 b |
| | | T3 | 9.71 ±0.79 a | 13.39 ±0.18 a | 74.91 ±2.35 b | 137.36 ±6.13 a |
| | 细根 Fine roots | T1 | 6.77 ±0.11 a | 6.56 ±0.14 b | 71.99 ±0.19 a | 39.03 ±0.60 c |
| | | T2 | 4.79 ±0.11 b | 7.09 ±0.47 b | 70.85 ±0.47 b | 41.34 ±0.82 b |
| | | T3 | 4.66 ±0.10 b | 10.62 ±0.06 a | 53.30 ±0.36 c | 45.15 ±0.36 a |
| 新梢停长期 New shoot stop growing | 茎尖 Shoot tips | T1 | 9.69 ±0.46 a | 12.51 ±0.50 a | 80.70 ±4.18 a | 171.98 ±5.79 b |
| | | T2 | 7.39 ±0.05 b | 10.34 ±0.05 b | 74.49 ±0.80 b | 181.95 ±3.46 b |
| | | T3 | 7.04 ±0.22 b | 9.28 ±0.25 c | 71.37 ±1.37 b | 195.42 ±7.83 a |
| | 细根 Fine roots | T1 | 9.36 ±0.48 a | 10.57 ±0.48 a | 76.67 ±2.30 a | 35.81 ±0.47 b |
| | | T2 | 6.30 ±0.38 b | 8.09 ±0.35 b | 71.56 ±1.65 b | 36.17 ±0.22 b |
| | | T3 | 5.48 ±0.09 c | 6.79 ±0.19 c | 66.53 ±1.97 c | 55.85 ±0.68 a |

注(Note): T1—中间砧全埋 Interstocks entirely buried; T2—中间砧埋 1/2 Interstocks 1/2 buried; T3—中间砧全露 Interstocks entirely bared. GA—Gibberellin; ZR—Trans-zeatin-riboside; IAA—Indole-3-acetic acid; ABA—Abscisic acid. 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

2.2.2 对苹果茎尖和细根内源激素比值的影响　近年来,很多研究表明,果树的生长发育不仅与激素含量有关,更重要的是激素间的相互作用,特别是生长促进激素和生长抑制激素之间的比例和平衡。由表 3 可以看出,在新梢旺长期茎尖和细根的 ZR/GA 比值以 T3 处理最大,T2 次之,T1 最小,而新梢停长期,T2 处理的茎尖和细根中的 ZR/GA 比值略大于 T3,显著高于 T1。各时期茎尖和细根的 ABA/GA 和 ABA/IAA 比值均为 T3 > T2 > T1。而整个时期,茎尖和细根中生长促进型激素和生长抑制型激素的比值以 T1 处理最大,显著高于 T2 和 T3 处理,其中新梢旺长期,T1 处理茎尖的 (GA + ZR + IAA)/ABA 比值是 T2 的 2 倍,约为 T3 的 2.34 倍。

### 2.3　中间砧不同埋土深度对植株氮素吸收、分配的影响

2.3.1 植株各器官 $^{15}N$ 分配率的差异　器官中 $^{15}N$ 分配率反映了肥料在树体内的分布及在各器官中的迁移规律[19]。表 4 显示,T1 处理的 $^{15}N$ 分各配率为叶 > 新梢 > 根 > 主干,而 T2、T3 处理的 $^{15}N$ 分配率为叶 > 根 > 新梢 > 主干,不同埋土深度处理,$^{15}N$ 分配率均以叶中最高,占总分配率的 38% ~ 48%。其中氮素吸收量的 50% ~ 70% 分配到了叶和新梢,仅有 18% ~ 28% 分配到地下部。由此可见,对于两年生矮化富士苹果,树体主要进行营养生长,吸收的氮素主要分配到地上部,用于叶和新梢等新生器官营养的建造。

2.3.2 植株全氮和 $^{15}N$ 吸收量的差异　由表 5 可知,矮化富士苹果中间砧不同埋土深度具有不同的全氮和 $^{15}N$ 吸收量,随着中间砧埋土深度的增加,氮素的吸收量呈上升的趋势,其中 T1 处理的植株全氮含量和 $^{15}N$ 吸收量最大,分别为 1.37 g/plant、0.028 g/plant, T2 次之,分别为 0.96 g/plant、0.021 g/plant,T3 最低。由此可见,在施氮量相同的情况下,T2 相比 T3 处理更有利于植株对氮素的吸收,植株全氮量较高。

2.3.3 植株 $^{15}N$ 利用率的差异　中间砧不同埋土深度处理的矮化苹果幼树氮肥利用率差异显著,其中 T1 处理的生长势最好(表 1),对 $^{15}N$ 的利用率最高为 11.99%;其次为 T2(9.05%);T3 处理的 $^{15}N$ 利用率最小,仅为 6.64%,并且各处理之间差异显著。由此可见,T1 和 T2 处理均能显著提高矮化苹果幼树的氮肥利用率。

表3 不同埋土深度植株的内源激素含量比值

Table 3 Ratios of endogenous hormone contents of different buried soil depths

| 生长期 Growth period | 部位 Position | 处理 Treatment | ZR/GA | ABA/GA | ABA/IAA | (GA+ZR+IAA)/ABA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 新梢旺长期 New shoot growing | 茎尖 Shoot tips | T1 | 1.08±0.10 b | 6.85±0.40 c | 0.74±0.08 c | 1.66±0.14 a |
| | | T2 | 1.15±0.07 b | 11.55±0.65 b | 1.56±0.12 b | 0.83±0.06 b |
| | | T3 | 1.38±0.10 a | 14.18±0.54 a | 1.83±0.03 a | 0.71±0.01 b |
| | 细根 Fine roots | T1 | 0.97±0.01 c | 5.77±0.16 c | 0.54±0.01 c | 2.19±0.04 a |
| | | T2 | 1.48±0.06 b | 8.63±0.17 b | 0.58±0.02 b | 2.00±0.04 b |
| | | T3 | 2.28±0.06 a | 9.70±0.28 a | 0.85±0.01 a | 1.52±0.02 c |
| 新梢停长期 New shoot stop growing | 茎尖 Shoot tips | T1 | 1.29±0.01 c | 17.80±1.44 c | 2.14±0.18 c | 0.60±0.05 a |
| | | T2 | 1.40±0.01 a | 24.61±0.63 b | 2.44±0.07 b | 0.51±0.01 b |
| | | T3 | 1.32±0.01 b | 27.77±0.40 a | 2.74±0.06 a | 0.45±0.01 b |
| | 细根 Fine roots | T1 | 1.13±0.01 c | 3.83±0.16 c | 0.46±0.01 b | 2.70±0.05 a |
| | | T2 | 1.29±0.02 a | 5.76±0.38 b | 0.51±0.01 b | 2.38±0.08 b |
| | | T3 | 1.24±0.02 b | 10.20±0.17 a | 0.84±0.03 a | 1.41±0.05 c |

注(Note): T1—中间砧全埋 Interstocks entirely buried; T2—中间砧埋1/2 Interstocks 1/2 buried; T3—中间砧全露 Interstocks entirely bared. GA—Gibberellin; ZR—Trans-zeatin-riboside; IAA—Indole-3-acetic acid; ABA—Abscisic acid. 同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

表4 不同埋土深度矮化富士苹果各器官$^{15}$N分配率的差异(%)

Table 4 $^{15}$N allocation rate of each organ in dwarfed 'Fuji' apples of different buried soil depths

| 处理 Treatment | 叶 Leaves | 新梢 Shoots | 主干 Stems | 根 Roots |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 45.13±0.74 a | 21.23±2.02 a | 13.78±0.16 b | 19.86±2.59 b |
| T2 | 42.42±2.36 ab | 19.77±0.10 ab | 16.55±0.23 a | 21.27±2.65 ab |
| T3 | 39.92±2.21 b | 17.74±0.80 b | 17.17±0.79 a | 25.17±2.33 a |

注(Note): T1—中间砧全埋 Interstocks entirely buried; T2—中间砧埋1/2 Interstocks 1/2 buried; T3—中间砧全露 Interstocks entirely bared. 同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

表5 不同埋土深度矮化富士苹果植株全氮、总吸$^{15}$N量、氮肥利用率差异

Table 5 Total N content, total $^{15}$N uptake and N fertilizer utilization rate in 'Fuji' apple trees under different buried soil depths

| 处理 Treatment | 全氮含量(g/plant) Total N content of plant | 总吸$^{15}$N量(g/plant) Total $^{15}$N uptake | 氮肥利用率(%) N fertilizer utilization rate |
|---|---|---|---|
| T1 | 1.37±0.09 a | 0.028±0.001 a | 11.99±0.47 a |
| T2 | 0.96±0.05 b | 0.021±0.002 b | 9.05±0.28 b |
| T3 | 0.67±0.09 c | 0.015±0.000 c | 6.64±0.89 c |

注(Note): T1—中间砧全埋 Interstocks entirely buried; T2—中间砧埋1/2 Interstocks 1/2 buried; T3—中间砧全露 Interstocks entirely bared. 同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

## 2.4 不同埋土深度苹果各器官的Ndff%

器官的Ndff[20]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,反映植株器官对肥料$^{15}$N的吸收和征调能力。由表6可以看

出,不同中间砧埋土深度处理均以新梢和叶中的 Ndff 值最高,其次为基砧、细根和枝干,而粗根、中间砧器官的 Ndff 值相对较低, 3 个处理间基砧和枝干的 Ndff 值无显著差异。由此可见,中间砧不同埋土深度对基砧、枝干的氮素征调能力并无影响。不同处理的 Ndff 值均表现出一致的规律,即地上部 > 地下部,因此对于两年生的矮化富士苹果幼树,地上部对氮素的吸收竞争能力高于地下部,吸收的氮素主要用于地上部的营养生长,与上文提到的氮素分配率相一致。同一器官不同处理间的 Ndff 值存在差异,均以 T3 处理最高,且显著高于 T1 和 T2 处理。

**表 6　不同埋土深度对苹果各器官 Ndff 的影响(%)**

**Table 6　Effect of different buried soil depths on Ndff in apple organs**

| 处理 Treatment | 细根 Fine roots | 粗根 Thick roots | 基砧 Rootstocks | 中间砧 Interstocks | 枝干 Stems | 新梢 New shoots | 叶 Leaves |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 1.71 ±0.14 b | 1.51 ±0.11 b | 1.73 ±0.10 a | 1.50 ±0.10 c | 1.79 ±0.10 a | 2.51 ±0.06 b | 2.46 ±0.09 b |
| T2 | 1.89 ±0.09 ab | 1.60 ±0.05 b | 1.93 ±0.19 a | 1.64 ±0.04 b | 1.84 ±0.09 a | 2.61 ±0.04 ab | 2.51 ±0.09 ab |
| T3 | 2.09 ±0.14 a | 1.84 ±0.06 a | 2.02 ±0.12 a | 1.76 ±0.01 a | 1.95 ±0.09 a | 2.70 ±0.09 a | 2.67 ±0.09 a |

注(Note): T1—中间砧全埋 Interstocks entirely buried; T2—中间砧埋 1/2 Interstocks 1/2 buried; T3—中间砧全露 Interstocks entirely bared. 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

## 3　讨论与结论

激素在植物的生长发育中起着重要的调控作用,它作为信号分子在时间和空间上调控植物发育的许多过程[21]。果树树体的大小受激素的明显控制,且与生长素(IAA),赤霉素(GA),玉米素核苷(ZR)及脱落酸(ABA)等 4 类激素有明显和直接的关系[22]。前人研究证实不同类型激素间的平衡状况比单独一两种激素的作用更重要,樊卫国[23]研究认为,ZR/GA 比值高有利于刺梨营养生长向生殖生长转化,对刺梨花芽分化具有促进作用。而黄迪辉和黄辉白[24]认为,高 ABA/GA 和高 ABA/IAA 比值可缓和生长为成花准备了前提。本试验中,中间砧全埋处理(T1)的茎尖和细根内 GA、ZR、IAA 的含量最高,植株长势最好,氮素吸收利用率最高,中间砧埋深 1/2 的处理(T2)次之,而 ABA 含量以中间砧全露处理(T3)最高,T1 处理最小。前人研究认为,高的 ABA 含量可导致紧凑型品种的矮化[5]。新梢停长期 T2 处理的茎尖和细根中 ZR/GA 的比值最高,ABA/GA、ABA/IAA、(GA + ZR + IAA)/ABA 比值又相对较高,由此可见,中间砧埋深 1/2 一方面能够缓和生长,起到矮化效果,为成花结果提供保障,另一方面又有一定促进生长的作用,能提高氮素高效吸收利用。

根系作为养分吸收的主要部位,其生长状况可影响氮素的吸收,进而影响整株的生长状况[20]。根系的分布深度通过影响地下营养空间和土壤营养及水分的利用,直接影响产量的高低[25]。任雪菲等[26]研究表明,矮化中间砧入土深度 15—20 cm,果树细根数量多,干质量大,吸收养分和水分充足,本研究结果证实了此结论。本试验还表明,SH6 矮化中间砧不同埋土深度影响树体对氮素的吸收利用,中间砧全埋处理(T1)各部分生物量明显增加,细根干物质量最多(表 1),矮化变乔化,因此,植株全氮含量、$^{15}N$ 吸收量和氮肥利用率最大(表 5);中间砧埋深 1/2 处理(T2)既能保证氮素正常吸收和利用又不至于旺长,因而其氮肥利用率仅次于中间砧全埋;中间砧全露处理(T3),由于根部栽植过浅,植株根系生长易受外界环境的影响,保水保肥性降低,在相同的施氮条件下,由于细根生物量以及根冠比的差异(表 1),中间砧全露处理的植株全氮含量和$^{15}N$ 吸收量最低,这与张建光[27]、张鹏程等[28]在矮化中间砧苹果上、烟草深栽上得出的结论相似。而山东苹果园不同土层间有效养分含量有较大差异,表层土(0—20 cm)含量最高,底层土(40—60 cm)含量最低[29],中间砧埋深 1/2 的处理根系分布的土层约为 10—40 cm,土壤通气性好,土壤温度较为稳定,细根发生量较大,植株能够长期有效地利用土壤耕作层的水分及养分,从而提高氮肥的吸收利用率,影响树体的激素水平。

不同中间砧埋土深度的植株各器官的 Ndff 值存在差异,中间砧全露处理(T3)显著高于其他处理(表 6),但中间砧全露处理的植株生长势最差(表 1),各器官的 Ndff 反而较高,可能是由于根系生长

受阻而引起的“浓缩效应”[30]，也是树体矮化后的效果，而中间砧全埋处理(T1)的 Ndff 值最低，其主要原因是生物量快速增长导致的稀释效应，正是由于中间砧全埋处理的植株生物量的快速增长(表1)，在处理期间吸收的氮使植物组织中的$^{15}N$得到稀释，吸收氮越多，稀释强度越大[31-32]，即出现中间砧全埋处理(T1)的树体长势好，氮吸收利用率高，各器官中的 Ndff 值反而相对低的现象。本试验仅是一年的结果，有关中间砧不同埋土深度对富士苹果树体生长的长远影响还有待进一步观察和研究。

综合矮化 SH6 富士苹果中间砧不同埋土深度下的生长状况、内源激素水平和氮素吸收、利用及分配特性，可以看出 SH6 中间砧埋深 1/2 可降低生长促进型激素 GA 和 IAA 的含量以及(GA + ZR + IAA)/ABA 比值，并且与花芽分化有关的 ZR/GA 比值明显升高。说明 SH6 中间砧埋深 1/2 既能起到树体矮化的效果，又有利于矮化苹果幼树的氮素吸收利用和提早花芽分化。

## 参考文献：


[1] 李正之. 果树矮化密植[M]. 上海：上海科学技术出版社，1984. 1-8.
Li Z Z. Dwarf density planting of fruit tree[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing Company, 1984. 1-8.

[2] 马宝焜，徐继忠，孙建设. 关于我国苹果矮砧密植栽培的思考[J]. 果树学报，2010，27(1)：105-109.
Ma B K, Xu J Z, Sun J S. Thinking about apple dwarf anvil dense planting cultivation in our country[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(1): 105-109.

[3] 李丙智，韩明玉，张林森，雷小明. 我国矮砧苹果生产现状与发展缓慢的原因分析及建议[J]. 烟台果树，2010，(2)：1-3.
Li B Z, Han M Y, Zhang L S, Lei X M. The suggestion and analysis of the causes of slow development on short anvil apple production in China present situation[J]. Yantai Fruits, 2010, (2): 1-3.

[4] 王建，同延安. 猕猴桃树对氮素吸收、利用和贮存的定量研究[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14(6)：1170-1177.
Wang J, Tong Y A. Study on absorption, utilization and storage of nitrogen of kiwifruit tree[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(6): 1170-1177.

[5] 曾骧，韩振海，郝中宁. 果树叶片氮素贮藏和再利用规律及其对果树生长发育的影响[J]. 北京农业大学学报，1991，17(2)：97-101.
Zeng R, Han Z H, Hao Z N. Fruit tree leaf nitrogen storage and recycling regularity and its influence on fruit tree growth and development[J]. Journal of Beijing Agriculture University, 1991, 17(2): 97-101.

[6] 彭福田，姜远茂，顾曼如，束怀瑞. 氮素对苹果果实内源激素变化动态与发育进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2003，9(2)：208-213.
Peng F T, Jiang Y M, Gu M R, Shu H R. Effect of nitrogen on apple fruit hormone changing trends and development[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(2): 208-213.

[7] Wang S Y, Faust M, Line M J. The possible role of indole-3-acetic acid[J]. Journal of American Society of Horticulture Sciences, 1994, 119(6): 1215-1221.

[8] Thomas L D, David W P, Stewart B R. Correlation of endogenous gibberellic acid with initiation of mango shoot growth[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2000, 19: 445-452.

[9] 王丽琴，唐芳，赵飞，束怀瑞. 苹果紧凑型品种和矮化砧木内源激素的变化[J]. 园艺学报，2002，29(1)：5-8.
Wang L Q, Tang F, Zhao F, Shu H R. Effect of compact mutants and dwarfing rootstocks on endogenous hormone content of apple[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(1): 5-8.

[10] 刘仁道，何瑞生，范理璋. 内源激素与甜樱桃营养生长的关系[J]. 北方园艺，2001，(6)：20-21.
Liu R D, He R S, Fan L Z. Relationship between endogenous hormone and vegetative growth of sweet cherry[J]. Northern Horticulture, 2001, (6): 20-21.

[11] 张新忠，刘玉艳，龙成莲. 苹果矮化砧木致矮机理的研究现状与展望[J]. 河北农业技术师范学院学报，1996，10(2)：62-64.
Zhang X Z, Liu Y Y, Long C L. Apple dwarf rootstock short mechanism research status and prospects[J]. Journal of Hebei Normal University of Agricultural Technology, 1996, 10(2): 62-64.

[12] 郭金丽，张玉兰，冯良，等. 矮化中间砧(GM256)栽植深度对金红苹果树生长的影响[J]. 内蒙古农业科技，2003，(2)：17-18.
Guo J L, Zhang Y L, Feng L *et al*. Effect of dwarfed interstocks (GM256) planting depth on the growth of red apple tree[J]. Inner Mongolia Agricultural Technology, 2003, (2): 17-18.

[13] 李丙智. 矮砧苹果建园与幼树整形修剪技术[J]. 西北园艺，2010，(10)：13-15.
Li B Z. Short anvil apple percent and the young trees pruning technology[J]. Northwest Horticulture, 2010, (10): 13-15.

[14] 贾秭，贾棚，刘乃玉，等. 矮化中间砧苹果树深栽的效应[J]. 中国果树，1991，(1)：1-3.
Jia Z, Jia P, Liu N Y *et al*. The effects of deep cultivation on dwarfed interstocks apple trees[J]. China Fruit, 1991, (1): 1-3.

[15] 魏振东，焦锁民，王维公. M26 中间砧栽植深度对苹果树冠、枝量的影响[J]. 果树科学，1994，1(1)：27-29.
Wei Z D, Jiao S M, Wang W G. Effect of interstocks planting depth on the branches and the quantity of M26 apple tree[J]. Journal of Fruit Science, 1994, 1(1): 27-29.

[16] 杨廷桢，高敬东，王骞，等. SH1 苹果矮化中间砧对红富士树体生长的影响[J]. 河北果树，2010，(5)：1-4.

Yang T Z, Gao J D, Wang Q *et al*. Influence of dwarfing interstocks SH1 on growth of Red Fuji apple[J]. Heibei Fruits, 2010,(5): 1-4.

[17] 吴颂如, 陈婉芬, 周燮. 酶联免疫测定植物激素[J]. 植物生理学通讯, 1988, (5): 53-57.
Wu S R, Chen W F, Zhou X. Enzyme linked immunosorbent assay for endogenous plant hormones [J]. Plant Physiology Communications, 1988, (5): 53-57.

[18] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil and agro-chemistry analysis (3rd Ed.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

[19] 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(2): 145-149.
Xu J E, Lin Y Y, Lü R J *et al*. Study on the absorption and the distribution of $^{15}$N-labelled urea to 'Yali' pear trees following autumn application [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1993, 20 (2): 145-149.

[20] 顾曼如. $^{15}$N 在苹果氮素营养研究上的应用[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.

[21] 闫树堂, 徐继忠, 陈海江. 不同矮化中间砧红富士苹果内源激素与果实细胞分裂关系研究[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(3): 31-33.
Yan S T, Xu J Z, Chen H J. Study on the relationship between cell division in the fruits of Red Fuji apple on different interstocks and endogenous hormones contents [J]. Jounal of Agricultural University of Heibei, 2005, 28(3): 31-33.

[22] 韩振海. 苹果矮化密植栽培 - 理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
Han Z H. Apple dwarf dense planting cultivation - theory and practice[M]. Beijing: Science Press, 2011.

[23] 樊卫国, 刘国琴, 安华明, 等. 刺梨花芽分化期芽中内源激素和碳、氮营养的含量动态[J]. 果树学报, 2003, 20(1): 40-43.
Fan W G, Liu G Q, An H M *et al*. Study on the changes of endogenous hormones, carbohydrate and nitrogen nutrition inbud at the flower bud differentiation stage Rosa roxburghii [J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(1): 40-43.

[24] 黄迪辉, 黄辉白. 柑桔成花机理的研究[J]. 果树科学, 1992, 9(1): 13-18.
Huang D H, Huang H B. The research on citrus flowering[J]. Journal of Fruit Science, 1992, 9(1): 13-18.

[25] 鲁少波, 刘秀萍, 鲁绍伟, 等. 林木根系形态分布及其影响因素[J]. 林业调查规划, 2006, 31(3): 105-108.
Lu S B, Liu X P, Lu S W *et al*. The form distribution and influential factors of woods root system[J]. Forest Inventory and Planning, 2006, 31(3): 105-108.

[26] 任雪菲, 李丙智, 张林森, 等. 苹果中间砧入土深度对根系生长及其激素含量和果实产量品质的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(11): 2127-2136.
Ren X F, Li B Z, Zhang L S *et al*. Effects of planting depth of apple dwarfing rootstock on root growth, hormone content, fruit yields and quality [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40 (11): 2127-2136.

[27] 张建光. 矮化中间砧苹果树管理特点[J]. 河北果树,1997, (1): 20-21.
Zhang J G. Dwarfed interstocks apple tree management features [J]. Hebei Fruits,1997,(1): 20-21.

[28] 张鹏程, 陆引罡, 远红伟, 等. 不同移栽方式对烤烟田间长势和产质影响的研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(35): 11491-11516.
Zhang P C, Lu Y L, Yuan H W *et al*. Effect of different methods of transplanting on the growth condition in field and the yield and quailty of flue-cured tobacco[J]. Journal of Anhui Agriculture Sciences, 2007, 35(35): 11491-11516.

[29] 姜远茂, 彭福田, 张宏彦, 等. 山东省苹果园土壤有机质及养分状况研究[J]. 土壤通报, 2001, 32(4): 167-169.
Jiang Y M, Peng F T, Zhang H Y *et al*. Apple orchard soil organic matter and nutrient status in Shandong province [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(4): 167-169.

[30] 何忠俊, 华珞, 梁社往, 等. 氮锌复合作用对白三叶草生长、氮锌吸收和生理生化特性的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37 (2): 318-322.
He Z J, Hua L, Liang S W *et al*. The compound effects of N and Zn on growth, N and Zn absorption and physiological-biochemical characteristics of white clover [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(2): 318-322.

[31] 王巧兰, 吴礼树, 赵竹青, 赵林萍. 氮水平对水稻植株氮素损失的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 14-19.
Wang Q L, Wu L S, Zhao Z Q, Zhao L P. Effect of nitrogen rate on nitrogen loss from rice plant tissue[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(1): 14-19.

[32] Nario A, Pino I, Zapat A F. Nitrogen ($^{15}$N) fertilizer use efficiency in peach (*Prunus persica* L.) cv. golden crest trees in Chile[J]. Scientia Horticulturae, 2003, 97(3-4): 279-287.