

乙烯利对苹果矮化砧 T337 幼苗硝态氮吸收、 分配和利用的影响

李秀丽, 郑绪峰, 姜远茂, 魏绍冲*

(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/
山东果蔬优质高效生产协同创新中心, 山东泰安 271018)

摘要: 【目的】本试验探究叶片喷施乙烯利对苹果矮化砧 T337 幼苗¹⁵N-NO₃⁻吸收利用和分配的影响, 为苹果生产中氮肥的合理施用提供科学依据。【方法】供试材料为 T337 幼苗, 进行水培试验。幼苗先在 NO₃⁻ 浓度为 10 mmol/L 的改良 Hoagland 营养液中预处理 32 天, 然后饥饿培养 7 天, 进行乙烯利处理试验。试验设叶面喷施乙烯利 200 μL/L (E1) 和 400 μL/L (E2) 2 个浓度, 以喷清水为对照 (CK)。分别于喷施后第 0、4、8、12、16、20 天取样测定幼苗的根系活力, 根部和叶片中硝酸还原酶活性及谷氨酰胺合成酶活性; 于第 20 天 (试验结束), 取样分析幼苗¹⁵N 吸收、分配及利用率。【结果】各处理苹果矮化砧 T337 幼苗根系活力随处理时间延长呈现先升后降的趋势, 在第 8 天均达到最大值, 不同处理间差异显著。6 次取样检测结果, E1、E2 处理的幼苗根系活力均明显高于 CK, E2 处理又高于 E1。不同处理幼苗根和叶片中硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性均在处理后第 8 天达到高峰。E1、E2 处理的两种酶活性在处理 12 天内高于对照, 16~20 天低于对照。对照和 E1 处理的幼苗叶片中硝酸还原酶活性在 20 天内一直高于同时期的根系, 而 E2 处理只在 12 天内叶片硝酸还原酶活性高于根系, 16 天后根系高于叶片。E1 处理叶片干重明显高于对照, E2 处理根系和叶片干重分别比对照增加 87.0% 和 28.8%, 幼苗根冠比也显著高于对照。乙烯利能够明显提高幼苗氮肥利用率, 促进氮素向幼苗根系部位分配。E1 和 E2 处理¹⁵N 利用率分别比对照高出 3.44 个百分点和 15.32 个百分点, 根系¹⁵N 分配率比对照分别高 33.32%、67.40%。【结论】叶面喷施乙烯利可以影响幼苗根系及叶片中硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性, 增加 T337 幼苗的生物量, 提高根冠比; 并且可显著提高幼苗对硝态氮的利用率, 增大¹⁵N 在幼苗根系中的分配率, 其中以 400 μL/L 乙烯利的处理效果最好。

关键词: 乙烯利; 苹果矮化砧幼苗; NO₃⁻; 吸收; 分配; 利用

Effect of ethephon on absorption, distribution and utilization of nitrate-nitrogen by T337 apple dwarf rootstock seedlings

LI Xiu-li, ZHENG Xu-feng, JIANG Yuan-mao, WEI Shao-chong*

(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology/Shandong Collaborative Innovation Center for Fruit and Vegetable Production with High Quality and Efficiency, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: 【Objectives】The effect of foliar spray of ethephon on the absorption, utilization and distribution of ¹⁵N-NO₃⁻ by seedlings of T337 apple dwarf rootstock was studied, to provide a reference for its rational application in apple production. 【Methods】The seedlings of T337 were used as the tested materials in a pot experiment, in which the nutrients were supplied with Hoagland nutrient solution containing 10 mmol/L of NO₃⁻. The seedlings were cultured in normal solution until 10 leaves, and stopped nutrient supply for 7 days for ethephon treatment. The ethephon treatment concentrations were 200 μL/L (E1) and 400 μL/L (E2), using water spray as control (CK).

收稿日期: 2018-07-02 接受日期: 2018-08-17

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0201100); 国家现代农业产业技术体系建设项目 (CARS-28); 山东省现代农业产业技术体系创新团队项目 (SDAIT-06-07)。

联系方式: 李秀丽 E-mail: lixiuliblu@163.com; * 通信作者 魏绍冲 Tel: 0538-8242134, E-mail: scwei@sdau.edu.cn

Seedling samples were taken at the 0, 4, 8, 12, 16 days for the measurement of the root activity and the activities of nitrate reductase (NR) and glutamine synthetase (GS) in roots and leaves. At the end of experiment (20 days after treatment), the absorption, distribution and utilization of ^{15}N by seedlings were determined. **【 Results 】** The root activity of each treatment increased first and then decreased with the prolongation of the experiment time, and reached the maximum at the 8th day. The root activities in E1 and E2 were significantly higher than that in the control, and that of E2 was significantly higher than that of E1 as well. The activities of NR and GS in both the roots and leaves of all the three treatments increased first and then decreased within the treatment period, with the peak at the 8th day. The activities of the two enzymes in the roots of seedlings in E1 and E2 treatments were higher than those in CK, but those in the leaves were higher only within the first 12 days, and became lower afterward. The NR activity of leaf in E1 and CK were higher than that of root during the monitoring period, while the phenomenon only appeared in the first 12 days in E2, and became opposite from 16 days to 20 days. Ethephon treatment significantly increased the biomass of seedlings. The dry leaf biomass of E1 was significantly higher than that of CK. The root and leaf dry biomass of E2 were 87.0% and 28.8% higher than those of CK, and the root-shoot ratio of seedlings was significantly increased as result. The ^{15}N utilization rates in E1 and E2 treatments were increased by 3.44 and 15.32 percentage points, and the root distribution rates were increased by 33.3% and 67.4% respectively, compared with CK. **【 Conclusions 】** Foliar spray of ethephon could affect the activity of nitrate reductase and glutamine synthetase in root and leaf of T337 seedling, increase the biomass and root-shoot ratio, and lead to significant increase of the use of nitrate nitrogen and increase of the distribution rate of ^{15}N in seedling root. Among them, the best result was treated with 400 $\mu\text{L/L}$ ethephon.

Key words: ethephon; apple dwarf rootstock seedling; NO_3^- ; absorption; distribution; utilization

氮是果树正常生长发育所必需的大量营养元素之一, 在保证植物正常代谢和生物量增加方面具有重要的作用。适量的氮肥供应可以促进果树的营养生长、花芽分化, 增强叶片的光合作用, 进而提高果实的产量与品质^[1]。但目前我国果园氮肥施用量远超出果品最佳产量的需要量, 高产果园每年氮肥施用量高达 400~600 kg/hm^2 , 约为国外施氮量的 4~5 倍^[2]。过多的氮肥用量不仅导致生产成本增加, 而且易引起环境污染和果实品质下降等一系列不利于农业可持续发展的负面影响^[3]。果园土壤保肥能力差, 导致氮肥用量大, 而氮肥过量施用则加剧了果园土壤的氮素环境负荷, 降低果园土壤质量, 反过来促使果园氮肥用量增加, 形成恶性循环^[4]。因此, 从保护环境和改善果实品质等多方面考虑, 减少氮肥用量并相应地提高氮肥利用效率是目前果树生产上亟待解决的问题, 是绿色果业可持续发展的有力保障。

植物激素乙烯是一种简单的气态植物激素, 它不仅能够调节植物生长发育和适应环境胁迫, 而且还影响营养元素吸收利用过程中的信号转换, 与植株对养分的吸收利用效率密切相关^[5]。但是目前有关乙烯与植物营养元素利用之间的关系报道较少, 它们之间的相互作用可以被应用于调节植物响应不断

变化的环境和农业可持续发展方面^[6]。许晖发现乙烯生成前体物 ACC (氨基环丙烷羧酸) 处理可以诱导玉米根系产生更多根毛, 增大根系吸收面积和提高根系活力, 从而增强植株对养分的吸收和利用能力^[7]。在 0~120 mg/kg 等间隔的 4 种土壤氮水平下, 200 $\mu\text{L/L}$ 乙烯利处理均可以改变芥菜叶片气孔导度、叶片光合速率、植株生物量以及氮素的利用效率^[8]。在氮素供应充足的条件下, 乙烯利处理对氮肥利用率的影响效果尤为显著^[9]。

本试验以现代苹果生产中常用矮化砧木 T337 幼苗为试验材料, 分析比较叶面喷施乙烯利对硝酸还原酶 (nitrate reductase, NR) 和谷氨酰胺合成酶 (glutamine synthetase, GS) 活性, 以及氮素吸收、分配和利用的影响, 以期为果树生产管理中氮肥高效利用提供合理的科学依据及新思路。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料与amp;设计

试验于 2017 年 3—9 月在山东农业大学园艺试验站进行, 以苹果矮化自根砧 T337 幼苗为试验材料。待幼苗在育苗基质中生长至 9 片叶左右时, 选取生长势和大小基本一致的幼苗定植于塑料盆中, 每

板 15 孔, 每孔定植 3 株, 每盆 45 株。每盆加入营养液 3 L。先用 1/2 浓度 Hoagland 营养液预培养 7 天后, 再换为完全营养液培养 25 天, 随后饥饿处理 7 天, 以消耗幼苗中贮存氮, 预处理结束后转入改良 Hoagland 营养液中进行培养。以 $\text{Ca}({}^{15}\text{NO}_3)_2$ (上海化工研究院生产, 丰度为 10.16%) 为营养液唯一氮源, 氮浓度为 10 mmol/L。分别对幼苗叶片喷施清水或乙烯利。试验中所有溶液均用蒸馏水配制, 各营养元素所用试剂纯度为分析纯, 每日定时通气。

乙烯利处理浓度为: E1, 200 $\mu\text{L/L}$; E2, 400 $\mu\text{L/L}$; 对照为喷清水 (CK)。每个处理重复 4 次, 每盆为 1 个重复。处理后每隔 4 天取样, 分别测定不同处理幼苗根系活力及根系和叶片的硝酸还原酶 (NR) 和谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性, 并于处理后第 20 天取样分析幼苗 ${}^{15}\text{N}$ 的吸收、分配和利用。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 根系活力 每个处理选取 9 株幼苗, 采用氯化三苯基四氮唑 (TTC) 法测定, 用四氮唑的还原强度 [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$] 表示根系活力。

1.2.2 硝酸还原酶活性 根系和叶片中的硝酸还原酶活性参照李合生的活体法测定^[10]。测定各处理生成的红色偶氮化合物在 540 nm 波长下的最大吸收峰, 与标准曲线对照, 计算样品中 NR 活性 [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]。

1.2.3 谷氨酰胺合成酶活性 根系和叶片中谷氨酰胺合成酶活性的测定参照赵世杰等的方法^[11]。分别提取根系和叶片粗酶液, 与反应液和 ATP 混匀后, 加入显色剂, 离心, 取上清液测定 540 nm 处的吸光值来表示 GS 活性 [$\text{A}/(\text{mg}\cdot\text{h})$]。

1.2.4 幼苗 ${}^{15}\text{N}$ 吸收、分配和利用 处理 20 d 后将 ${}^{15}\text{N}$ 标记幼苗清洗干净, 解析为根、茎、叶三部分, 在 105 $^{\circ}\text{C}$ 下杀青 30 min, 随后在 80 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重。样品用不锈钢电磨粉碎后过 60 目筛, 混匀后装袋备用, 测定各器官 ${}^{15}\text{N}$ 丰度和器官全氮量。样品全氮用凯氏定氮法测定, ${}^{15}\text{N}$ 丰度在中国农业科学院农产品加工研究所用 MAT-251 气体同位素质谱仪 (美国菲尼公司) 测定。

1.3 数据处理

主要计算公式:

$$\text{Ndff} (\%) = (\text{植物样品中 } {}^{15}\text{N} \text{ 丰度 } \% - {}^{15}\text{N} \text{ 自然丰度 } \%)/(\text{肥料中 } {}^{15}\text{N} \text{ 丰度 } \% - {}^{15}\text{N} \text{ 自然丰度 } \%)\times 100$$

$$\text{器官 } {}^{15}\text{N} \text{ 吸收量 (g)} = \text{Ndff} \times \text{器官全氮量 (g)}$$

$$\text{器官全氮量 (g)} = \text{器官生物量 (g)} \times \text{氮含量 } (\%)$$

$$\text{氮肥利用率 } (\%) = {}^{15}\text{N} \text{ 吸收量 (g)}/\text{施肥量 (g)} \times 100$$

$$\text{氮肥分配率 } (\%) = \text{各器官从氮肥中吸收的氮量}$$

$$(\text{g})/\text{总吸收氮量 (g)} \times 100$$

试验数据采用 SPASS19.0 进行单因素方差分析, LSD 法进行差异显著性检验。所有数据均采用 Microsoft Excel 2003 进行图表绘制, 图表中数据为平均值 \pm 标准误。

2 结果与分析

2.1 乙烯利对幼苗根系活力的影响

乙烯利处理后幼苗的根系活力均不同程度高于同时期的对照 (图 1)。各处理根系活力随处理时间延长呈现先上升后下降的趋势, 在第 8 天达到最大值, 且不同处理间差异显著, E1、E2 处理分别比对照高 19.68% 和 63.40%。在处理后 20 天内, E2 处理幼苗根系活力一直明显高于同期的对照。

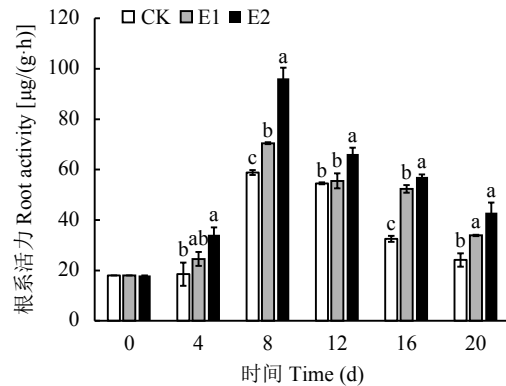


图 1 喷乙烯利后 T337 幼苗根系活力

Fig. 1 Root activities of T337 seedlings after ethephon spray

[注 (Note): 方柱上不同字母表示相同时期不同处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different letters above the bars mean significant difference among treatments at the same time ($P < 0.05$).]

2.2 乙烯利对幼苗硝酸还原酶 (NR) 活性的影响

2.2.1 乙烯利对叶片硝酸还原酶 (NR) 活性的影响

处理后 8~12 天内, 乙烯利处理的幼苗叶片中 NR 活性明显高于对照, 在第 8 天不同处理的叶片 NR 活性均达到最大值, 两个不同浓度乙烯利处理的 NR 活性分别比对照高 17.30% 和 39.38%; 而 16~20 天的两个处理叶片中 NR 活性则显著低于对照, 而且 E2 处理叶片 NR 活性低于 E1 (图 2A)。

2.2.2 乙烯利对根系硝酸还原酶 (NR) 活性的影响

比较幼苗叶片和根系部位处理后同一时期的 NR 活性, 可发现对照和 E1 处理幼苗叶片中的 NR 活性在 20 天内一直高于同期的根系的, 而 E2 处理 12 天内叶片的 NR 活性高于根系的, 但 16 天后根系中的

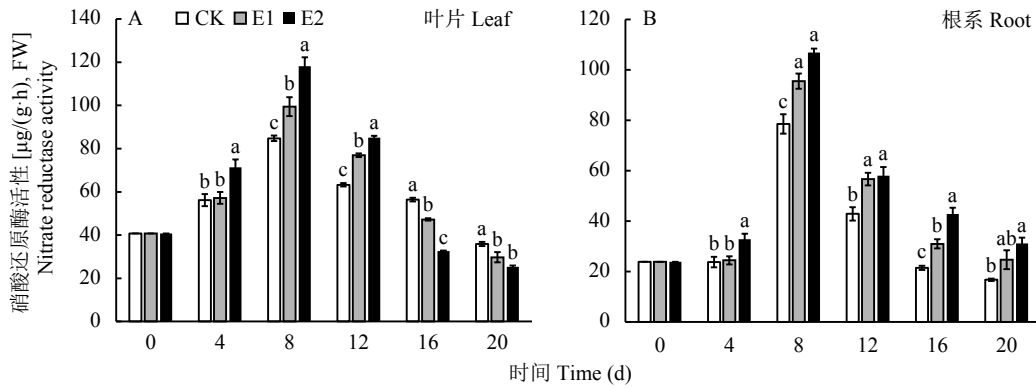


图 2 喷乙烯利后幼苗叶片和根系硝酸还原酶活性

Fig. 2 Nitrate reductase activity in T337 seedling leaves and roots after ethephon spray

[注 (Note): 方柱上不同字母表示相同时期不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Different letters above the bars mean significant differences among treatments at the same time ($P < 0.05$).]

NR 活性反而高于叶片的。由此推测, 叶片可能在幼苗硝态氮的同化利用中更关键 (图 2)。

与处理后叶片 NR 活性变化相似, 第 8 天时各个处理根系 NR 活性也均达到最高, 其中 E1 和 E2 处理的根系 NR 活性分别比对照提高 21.54% 和 36.01%。第 12 天后根系中的 NR 活性呈现下降趋势, 但是同期根的 NR 活性为 E2 > E1 > CK 处理 (图 2B)。

2.3 乙烯利对幼苗谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性的影响

2.3.1 乙烯利对叶片谷氨酰胺合成酶活性的影响

处理后 12 天内两个处理叶片中 GS 活性比同一时期对照的高, 在第 8 d 各处理之间 GS 活性差异显著 (图 3A)。E2 处理叶片 GS 活性在 4、8、12 天时分别比对照高 55.70%、81.03% 和 46.53%; E1 处理叶片 GS 活性在第 8 天增幅最大, 比对照增加 36.21%。12 天后叶片中 GS 活性下降, 16 天和 20 天时各处理之间差异不显著。至第 20 天时, 各种处理 GS 活性

均降到 0.80 A/(mg·h) 左右。

2.3.2 乙烯利对幼苗根系谷氨酰胺合成酶活性的影响

对照幼苗仅在第 4 天时根系的 GS 活性低于叶片, 8 天后叶片 GS 活性一直高于根系, 推测这可能是幼苗从饥饿状态转移到全硝态氮营养液后, 根系吸收的氮素前期在根部被直接转化利用有关。

根部 GS 活性随处理时间呈现先升高后降低的趋势 (图 3B)。但乙烯利处理的幼苗根系中 GS 活性比对照高, 其中 E2 处理根中 GS 活性在 8 天和 12 天期间分别比对照显著提高了 90.18% 和 85.90%。12~20 天期间各处理根中 GS 活性出现下降趋势, 但同一时期不同处理间 GS 活性差异不显著。

2.4 乙烯利对幼苗生物量的影响

表 1 表明, 乙烯利处理的幼苗总干重比对照显著增加, E1 和 E2 处理分别比对照增加 20.88% 和 39.07%。E1 处理叶片干重比对照显著增加, 但根和

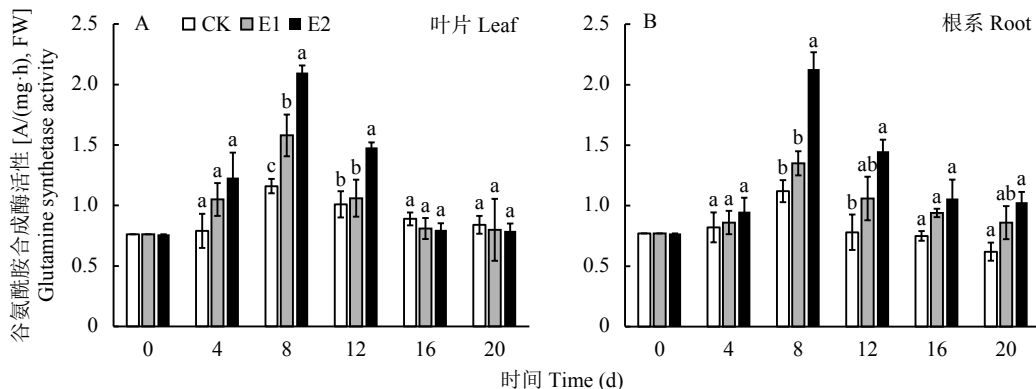


图 3 喷乙烯利后叶片和根系谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性

Fig. 3 Glutamine synthetase activity in T337 seedling leaves and roots after ethephon spray

[注 (Note): 方柱上不同字母表示相同时期不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Different letters above the bars mean significant differences among treatments at the same time ($P < 0.05$).]

表 1 喷乙烯利后幼苗各器官的生物量 (g)

Table 1 Biomass of seedling organs after ethephon spray

处理 Treatment	根 Root	茎 Shoot	叶 Leaf	根冠比 Root/shoot	总干重 Total dry weight
CK	0.69 ± 0.01 b	1.16 ± 0.09 a	2.22 ± 0.07 b	0.21 ± 0.02 b	4.07 ± 0.11 c
E1	0.94 ± 0.1 b	1.37 ± 0.18 a	2.61 ± 0.06 a	0.24 ± 0.01 ab	4.92 ± 0.3 b
E2	1.29 ± 0.13 a	1.51 ± 0.12 a	2.86 ± 0.12 a	0.30 ± 0.03 a	5.66 ± 0.18 a

注 (Note): 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 mean significant differences among treatments at the 5% level.

茎干重与对照差异不显著。E2 处理根系和叶片干重显著高于对照, 分别比对照增加 86.96% 和 28.83%。与对照相比, 乙烯利处理的幼苗根冠比增加, 其中 E2 处理差异显著, 比对照增加 42.86%。

2.5 乙烯利对幼苗各器官¹⁵N 吸收利用和分配的影响

2.5.1 乙烯利对幼苗各器官 Ndff 值的影响

Ndff 是指植株器官从肥料¹⁵N 中吸收分配到的¹⁵N 量对该器官全氮量的贡献率, 它反映了器官对肥料¹⁵N 的吸收征调能力^[12]。

与对照相比, E1 处理幼苗各部位的 Ndff 值差异不显著; E2 处理根的 Ndff 值比对照显著增加了 63.14%, 而茎和叶片的 Ndff 值差异不显著。说明 E2 处理可以显著提高幼苗根系对¹⁵N 的吸收征调能力 (表 2)。

表 2 喷乙烯利后幼苗各器官的 Ndff 值 (%)

Table 2 Ndff (%) in various organs of seedlings after ethephon spray

处理 Treatment	根 Root	茎 Shoot	叶 Leaf
CK	25.23 ± 1.89 b	29.57 ± 3.76 a	35.09 ± 3.48 a
E1	26.82 ± 3.11 b	31.71 ± 1.42 a	34.25 ± 0.65 a
E2	41.16 ± 0.11 a	34.63 ± 0.07 a	32.11 ± 1.19 a

注 (Note): 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 mean significant differences among treatments at the 5% level.

2.5.2 乙烯利对幼苗¹⁵N 利用率和¹⁵N 分配率的影响

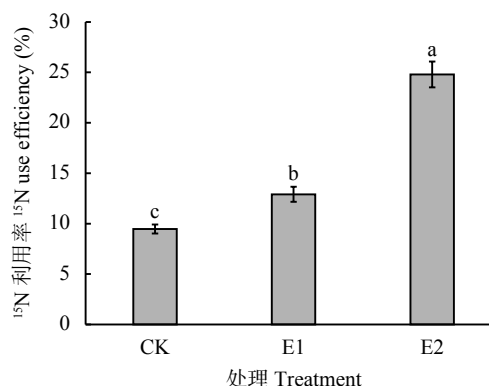
器官中¹⁵N 占全株¹⁵N 总量的百分率反映了氮在植株中的分布及在各器官迁移的规律^[13]。表 3 中, 不同处理幼苗器官中¹⁵N 的分配率均为叶 > 根 > 茎。E1 和 E2 处理叶片中¹⁵N 的分配率分别比对照降低了 20.4% 和 30.6%, 相应地, 乙烯利处理显著提高了幼苗根和茎¹⁵N 的分配率, E1、E2 两个处理根系¹⁵N 的分配率分别比对照提高 33.3%、67.4%, 可见 E2 处理对根系¹⁵N 分配率提高幅度尤为明显。

从图 4 可以看出, 不同处理的幼苗¹⁵N 利用率差异显著, 由高至低依次为 E2 > E1 > CK。E1 和

表 3 喷乙烯利后 T337 幼苗¹⁵N 的分配率 (%)Table 3 ¹⁵N distribution rate of T337 seedlings after ethephon spray

处理 Treatment	根 Root	茎 Shoot	叶 Leaf
CK	19.48 ± 1.04 b	17.49 ± 3.63 b	63.03 ± 3.42 a
E1	25.97 ± 1.73 ab	23.88 ± 3.20 a	50.15 ± 1.64 b
E2	32.61 ± 3.88 a	23.65 ± 3.96 a	43.74 ± 1.86 b

注 (Note): 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 mean significant differences among treatments at the 5% level.

图 4 喷乙烯利后 T337 幼苗的¹⁵N 利用率Fig. 4 ¹⁵N use efficiency of T337 seedlings after ethephon spray

[注 (Note): 方柱上不同字母表示相同时期不同处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different letters above the bars mean significant differences among treatments at the same time ($P < 0.05$).]

E2 处理的幼苗¹⁵N 利用率分别达到 12.91% 和 24.79%, 而对照仅为 9.47%, 可见乙烯利处理显著提高 T337 幼苗¹⁵N 的利用率, E1 和 E2 处理¹⁵N 的利用率分别比对照高 3.44 和 15.32 个百分点。

3 讨论

3.1 乙烯利对 T337 幼苗氮代谢相关酶活性的影响

果树从土壤中吸收的无机态氮主要为硝态氮和

铵态氮, 其中根系吸收的硝酸盐在植物体内需进一步转化为谷氨酸和谷氨酰胺等有机氮才能被植物同化利用, 而 NR 和 GS 是其转化过程中两个关键酶^[14]。氮素充足条件下乙烯利处理芥菜 10 天后, 光合速率可比对照高 40.3%, 叶片中 NR 活性和氮含量分别比对照高 35.9% 和 26.8%, 最终引起植株生物量表现出明显差异^[15]。研究表明, 外源乙烯能促进侧根的生长和伸长, 增大根系吸收面积, 显著提高根系活力^[16-17]。刘剑锋等发现, 玉米无论在干旱或复水条件下, 乙烯利处理均能促进其根系生长, 并提高叶片中 NR 活性和 GS 活性^[18]。本试验结果表明, 不同处理 T337 幼苗根系及叶片中 NR 活性和 GS 活性呈现先升高后降低的趋势, 并在第 8 天达到最大值。推测这可能与硝酸还原酶活性诱导有关, 当幼苗从饥饿状态转移到全硝态氮营养液后, 根系会从营养液中大量吸收硝态氮, 从而诱导叶片和根系部位 NR 及 GS 活性上升, 而随着营养液硝态氮不断被幼苗转化利用, 两种酶的活性随后开始下降, 这种变化与根系活力表现为先升高后降低的趋势是一致的。乙烯利处理提高根系活力, 增强根系对硝态氮的吸收能力, 另一方面也提高了叶片和根系的 NR 及 GS 活性, 因此会影响幼苗中硝态氮的转化利用, 最终导致乙烯利处理的幼苗生物量高于对照。

3.2 乙烯利对 T337 幼苗氮素吸收、利用和分配的影响

硝态氮是果树重要的无机氮营养形态, 多数试验证明果树是喜硝作物^[19]。进入植物体内的硝态氮, 如果不能被及时同化和利用, 将会明显影响植株的氮素同化效率和生物量的形成, 进而显著影响植物的氮利用效率^[20-21]。

当土壤环境中养分供应发生变化时, 植物根系也会发生一些适应性改变^[22]。研究表明, 乙烯利对植物营养元素的吸收利用具有重要影响。例如, 营养元素缺乏条件下植物产生的乙烯可以增大根系的总吸收表面, 提高转运蛋白数量等以更好地满足植物的正常生长和养分需求^[6]。

不同供氮水平下, 芥菜喷施乙烯利后, 叶片的光合速率及植株生物量均显著高于对照, 并且在氮供应充足水平下尤为明显, 原因主要与处理后叶片气孔导度增大和胞间 CO₂ 浓度升高有关^[9]。不同品种对乙烯处理的响应有较大差异, 4 个不同品种芥菜喷施乙烯利后, 对乙烯反应最敏感型品种 ‘Pusa Jai Kisan’ 叶片中 Rubisco 酶的活性及光合速率增加显著高于其它品种^[23]。

本试验中乙烯利处理的幼苗总生物量, 尤其是 400 μL/L 处理, 根系部位的生物量显著高于对照, 推测这可能与 T337 幼苗对乙烯反应的敏感性较高有关。乙烯利处理后的幼苗光合产物向地下部供应增加, 促进幼苗根系生长并增强根系对硝态氮的吸收能力; 而地上部分叶片由于受氮素供应限制, 生长会受到一定程度的影响, 因此幼苗根冠比增大, 最终导致不同处理的根系氮素分配率存在明显差异, 至试验结束时, 200 μL/L 和 400 μL/L 乙烯利处理的幼苗根系¹⁵N 分配率分别比对照增加 33.32% 和 67.40%。

高氮供应条件下 T337 幼苗氮素同化和根系生长会受到抑制^[24]。本试验结果表明乙烯利能够提高根系的氮素分配率, 促进 T337 幼苗地下部的生长, 提高根冠比。乙烯利处理的幼苗根系和叶片对硝态氮的同化能力明显加强, 最终显著提高幼苗硝态氮利用率。200 μL/L 和 400 μL/L 乙烯利处理的幼苗¹⁵N 利用率比对照分别高 3.44 和 15.32 个百分点。本试验结果为生产中提高果树氮肥利用率及改善氮素分配提供了新思路, 但相关研究还有待在田间试验条件下进一步验证。

4 结论

叶片喷施适量的乙烯利能够提高 T337 幼苗的根系活力, 增强根系及叶片中 GS 和 NR 的活性, 促进体内硝态氮的转化及利用, 从而提高幼苗氮肥利用率及根系部位氮素的分配率, 增大根冠比。

参 考 文 献:

- [1] 李文庆, 张民, 束怀瑞. 氮素在果树上的生理作用[J]. *山东农业大学学报*, 2002, 33(1): 96-100.
Li W Q, Zhang M, Shu H R. The physiological effects of nitrogen on fruit trees[J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 2002, 33(1): 96-100.
- [2] 彭福田, 姜远茂. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(2): 361-367.
Peng F T, Jiang Y M. Characteristics of N, P, and K nutrition in different yield level apple orchards[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(2): 361-367.
- [3] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(4): 783-795.
Ju X T, Gu B J. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(4): 783-795.
- [4] 赵帅翔, 张卫峰, 姜远茂, 等. 黄土高原苹果过量施氮因素分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(2): 484-491.
Zhao S X, Zhang W F, Jiang Y M, et al. Factors leading to excessive nitrogen fertilization on apple in the Loess Plateau[J]. *Journal of*

- Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(2): 484–491.
- [5] Dugardeyn J, Straeten D V D. Ethylene: Fine-tuning plant growth and development by stimulation and inhibition of elongation[J]. *Plant Science*, 2008, 175(1–2): 59–70.
- [6] Iqbal N, Trivellini A, Masood A, *et al.* Current understanding on ethylene signaling in plants: The influence of nutrient availability[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2013, 73: 128–138.
- [7] 许暄. 乙烯利、甜菜碱和表油菜素内酯对玉米生长的影响[D]. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 2012.
Xu X. Effects of ethephon, glycine betaine and epibrassinolide on the growth of maize[D]. Nanjing: MS Thesis of Nanjing Agricultural University, 2012.
- [8] Khan N A, Lone N A, Samiullah. Response of mustard (*Brassica juncea* L.) to applied nitrogen with or without ethrel sprays under non-irrigated conditions[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2000, 184: 63–66.
- [9] Iqbal N, Nazar R, Syeed S, *et al.* Exogenously-sourced ethylene increases stomatal conductance, photosynthesis, and growth under optimal and deficient nitrogen fertilization in mustard[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2011, 62(14): 4955–4963.
- [10] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 123–128.
Li H S. Experimental principle and technique for plant physiology and biochemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. 123–128.
- [11] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002. 96–135.
Zhao S J, Shi G A, Dong X C. Experimental manual of plant physiology[M]. Beijing: China Agricultural Sciences and Technology Press, 2002. 96–135.
- [12] 顾曼如, 束怀瑞, 周宏伟. 苹果氮素营养研究IV. 贮藏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 the reserved ^{15}N [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 1986, 13(1): 25–30.
- [13] 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.* Studies 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.
- [14] 冯万军, 邢国芳, 牛旭龙, 等. 植物谷氨酰胺合成酶研究进展及其应用前景[J]. 生物工程学报, 2015, 31(9): 1301–1312.
Feng W J, Xing G F, Niu X L, *et al.* Progress and application prospects of glutamine synthetase in plants[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2015, 31(9): 1301–1312.
- [15] Khan N A, Mir M R, Nazar R, *et al.* The application of ethephon (an ethylene releaser) increases growth, photosynthesis and nitrogen accumulation in mustard (*Brassica juncea* L.) under high nitrogen levels[J]. *Plant Biology*, 2008, 10(5): 534–538.
- [16] Ivanchenko M G, Muday G K, Dubrovsky J G. Ethylene auxin interactions regulate root initiation and emergence in *Arabidopsis thaliana*[J]. *The Plant Journal*, 2008, 55: 335–347.
- [17] 宋述尧, 陈文荣, 汲长奎. 乙烯利对番茄苗生理效应的初步研究[J]. 中国蔬菜, 1990, (2): 17–23.
Song S Y, Chen W R, Ji C K. Effects of ethylene on physiological characteristic of tomato seedlings[J]. *Chinese Vegetables*, 1990, (2): 17–23.
- [18] 刘剑锋, 程云清, 陈智文. 乙烯对旱后复水玉米某些生理特征的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17(2): 146–151.
Liu J F, Cheng Y Q, Chen Z W. Effects of ethylene on some physiological characteristics of maize at rehydration after drought stress[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2009, 17(2): 146–151.
- [19] Faust M(李正之译). 温带果树生理[M]. 泰安: 山东农业大学, 1991.
Faust M(Translated by Li Z Z). Physiology of temperate fruit tree[M]. Tai’an: Shandong Agricultural University, 1991.
- [20] 张鹏, 张然然, 都韶婷. 植物体对硝态氮的吸收转运机制研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 752–762.
Zhang P, Zhang R R, Du S T. Research advances in nitrate uptake and transport in plants[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(3): 752–762.
- [21] Koprivova A, Harper A L, Trick M, *et al.* Dissection of the control of anion homeostasis by associative transcriptomics in *Brassica napus*[J]. *Plant Physiology*, 2014, 166: 442–450.
- [22] Forde B G. Nitrogen signaling pathways shaping root system architecture: an update[J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2014, 21: 30–36.
- [23] Iqbal N, Nazar R, Iqbal M, *et al.* Variation in photosynthesis and growth of mustard cultivars: Role of ethylene sensitivity[J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 135: 1–6.
- [24] 彭玲, 田歌, 于波, 等. 供氮水平和稳定性对苹果矮化砧木 M9T337 幼苗生长及 ^{15}N 吸收、利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 461–470.
Peng L, Tian G, Yu B, *et al.* Effects of nitrogen supply levels and stability on growth and ^{15}N absorption and utilization of M9T337 dwarf rootstocks seedlings[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2018, 24(2): 461–470.