

# 干旱条件下断根对苹果幼树生长和光合特性的影响

陶 佳, 石 佩, 乔 恒 波, 白 红, 李 丙 智, 范 崇 辉

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**控制地上部营养生长是果树生产中的一项重要工作。现以 2 年生盆栽苹果幼树为研究对象, 分析了干旱条件下断根对苹果幼树生长发育和光合作用的影响。结果表明: 干旱胁迫导致苹果叶片的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)下降, 提高了叶片的水分利用效率(WUE), 而断根对这些指标没有显著影响。断根能够刺激苹果幼树产生大量新根, 干旱条件下, 断根处理后苹果根系再生能力显著下降。苹果春梢和叶片生物量, 春梢长度和粗度, 叶片长度、宽度和叶面积等营养生长特性都表现为  $T_0 > T_1 > T_2 > T_3$  的变化趋势。在干旱条件下进行断根处理, 苹果叶片的光合能力和根系再生能力大大降低, 春梢和叶片生长发育受到严重抑制。

**关键词:**断根; 干旱; 苹果; 光合作用; 春梢; 叶片

**中图分类号:**S 661.105<sup>+</sup>.9 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2015)16-0036-04

根剪是一项重要的盆栽植物生产技术, 它不但能够有效降低植物高度, 而且能够刺激新根的产生<sup>[1]</sup>。在果树栽培生产过程中, 控制果树地上部营养生长是促进其生殖生长的一项重要工作。20 世纪 70 年代, 发达国家的一些果树产区不再推荐使用矮壮素和丁酰肼等植物生长调节剂, 学者们开始对果树断根技术进行了大量研究<sup>[2]</sup>。前人在断根对果树生长结果以及光合特性的影响等方面已经开展了许多研究, 但由于树种、土壤养分和水分状况、断根程度、断根时期等因素, 这些研究结果间还存在一些差异<sup>[1,3]</sup>。

在我国西北干旱半干旱苹果产区, 水资源是限制当地苹果产业发展的重要因素<sup>[4]</sup>。在干旱条件下, 果树的营养生长明显受到抑制, 果实产量也大大降低。近年来, 陕西黄土高原苹果产区春季干旱发生更加频繁和严重。研究干旱环境条件下断根对苹果树生长发育的影响, 对在旱区苹果生产中应用这一技术具有非常重要的实践意义。该试验以 2 年生盆栽苹果幼树为研究对象, 分析了干旱条件下断根对苹果树体生长发育和光合作用的影响, 为断根技术在干旱半干旱苹果产区的应用提

供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以 2 年生“富士/M26/八棱海棠”苹果幼树为研究对象, 苗木购自陕西省杨凌国家农业示范区苹果苗木繁育圃。2013 年 3 月进行盆栽, 盆栽基质为育苗基质(有机质 $\geq 30\%$ )与壤土混合基质(体积比 50:3), 每株施 40 g 酵素有机肥(有效活菌数 2 亿/g, 有机质 $\geq 45\%$ , 总养分 N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O $\geq 6\%$ )。苗木水分和病虫害管理同一般盆栽苹果苗木管理, 11 月每株苹果幼苗追施 20 g 酵素有机肥。

### 1.2 试验方法

2014 年 3 月在苹果幼树萌芽前, 选取 60 株长势基本一致的苹果幼树放在遮雨棚下, 并将其分成 2 组进行栽培基质水分控制处理。在苹果幼树盛花期, 用刀沿土球的四侧各垂直切除 1/4 根系, 同时去除个别植株长出的花序。试验采用二因素随机区组设计, 重复 5 次。共进行 4 种处理, 对照(T<sub>0</sub>): 不断根+灌溉 100%的蒸腾失水; 断根(T<sub>1</sub>): 断根+灌溉 100%的蒸腾失水; 干旱(T<sub>2</sub>): 不断根+灌溉 50%的蒸腾失水; 断根+干旱(T<sub>3</sub>): 断根+灌溉 50%的蒸腾失水。

### 1.3 项目测定

苹果幼树春梢生长结束后, 测定其新梢长度、粗度和干重; 同时用叶片扫描仪(EPSON Scan V330 Photo)扫描获得叶片长度、宽度、叶面积和叶柄长度, 并计算平均单叶面积、新梢叶面积、总叶面积、叶片干重、比叶面

**第一作者简介:**陶佳(1989-), 男, 陕西周至人, 硕士研究生, 研究方向为果树生理生态。E-mail:taojia89@126.com.

**责任作者:**范崇辉(1956-), 男, 陕西礼泉人, 教授, 硕士生导师, 现主要从事果树栽培及生理生态等研究工作。E-mail:apple19561019@163.com.

**基金项目:**国家现代农业产业(苹果)技术体系资助项目(MATS)。

**收稿日期:**2015-03-15

积等指标;采集 T<sub>1</sub> 和 T<sub>3</sub> 2 种处理在根系断口处产生的新根,并用根系扫描仪(EPSON EXPRESSION 1000X)扫描获取断口新根长度和根系表面积等数据。

6 月中旬,利用 LI-6400 气体交换系统测定苹果叶片的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)及胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci),并计算其瞬时水分利用效率(WUE);用 SPAD-502Plus 测定叶片的 SPAD 值。

1.4 数据分析

运用 Excel 和 DPS 软件对试验数据进行统计分析。

表 1 断根与干旱对苹果光合特性的影响

Table 1 Effect of root pruning and water stress on leaf photosynthetic characteristic of apple trees						
处理 Treatment	净光合速率 Pn /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	气孔导度 Gs /( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Ci /( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	蒸腾速率 Tr /( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	瞬时水分利用效率 WUEi /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	SPAD
T <sub>0</sub>	14.84aA	0.180 4aA	242.9aA	3.882aA	3.9bB	42.0cB
T <sub>1</sub>	14.54aA	0.168 5aA	234.5aA	3.639aA	4.1bB	44.4bcB
T <sub>2</sub>	11.37bB	0.096 5bB	174.1bB	2.351bB	4.9aA	46.5abAB
T <sub>3</sub>	11.34bB	0.094 3bB	179.9bB	2.239bB	5.2aA	50.1aA

注:T<sub>0</sub>、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 分别代表 CK、断根、干旱、断根+干旱 4 种不同的处理方式。不同小写字母代表 5% 差异显著性水平,不同大写字母代表 1% 差异显著性水平。下表同。

Note: T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> represent four different treatments, CK, root pruning, drought, root pruning+drought; The minuscules represent 5% significant difference, well the capital letters represent 1% significant difference, the same as follow tables.

2.2 干旱对苹果断口新根再生的影响

断根处理后,在根系断口处产生大量新根(图 1)。在干旱条件下进行断根处理,在根系断口处再生的新根量相对较少。T<sub>3</sub> 处理断口新根干重、新根总长度和新根总表面积分别比 T<sub>1</sub> 处理减少 60.2%、57.9% 和 56.4%。干旱条件下断根处理,在根系断口发生的各级根系的长度和表面积都有显著或极显著地减少,小于 2.0 cm、2.0~4.5 cm 和大于 4.5 cm 的根系长度分别减少 57.9%、60.2%、80.4%,根表面积分别减少 55.6%、61.5%、78.7%(表 2)。

2.3 断根与干旱对苹果春梢生长的影响

新梢是苹果幼树的生长发育中心,而新梢的生长发育也是苹果幼树树形构建的重要基础。断根和干旱都会显著抑制苹果春梢生长发育(表 3)。方差分析表明,断根处理导致苹果春梢数量显著减少,而干旱则导致春梢数量显著增加。苹果春梢生长相关指标(春梢干重、春梢长度、春梢粗度、春梢叶片干重及春梢叶面积)在各

2 结果与分析

2.1 断根与干旱对苹果光合特性的影响

从表 1 可以看出,断根和干旱都会导致苹果叶片光合能力下降,同时又以二者综合处理(T<sub>3</sub>)的影响最大。断根处理导致苹果叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)略有下降,瞬时水分利用效率(WUEi)略有增加,但都未达到 5% 差异显著水平;干旱处理对这些指标的影响趋势与断根处理相同,但达到 1% 的差异显著水平。断根和干旱 2 种处理方式都能够使叶片 SPAD 值明显增加,分别可使 SPAD 值增加 2.4 和 4.5,二者综合处理(T<sub>3</sub>)可使 SPAD 值增加 8.1。

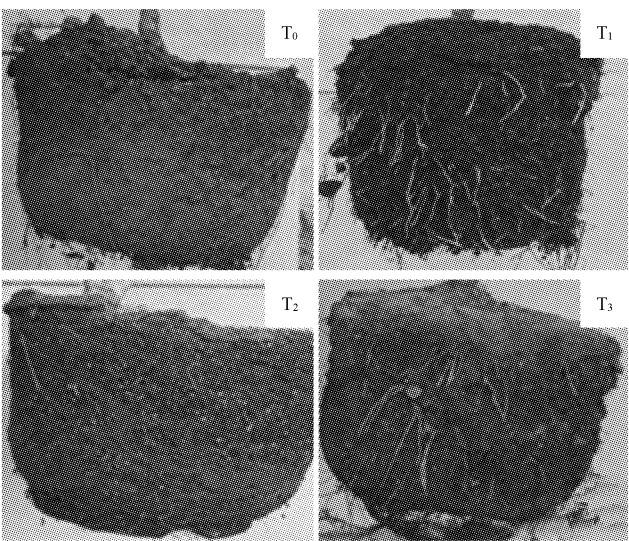


图 1 断根与干旱处理对苹果根系再生的影响

Fig. 1 Effect of root pruning and water stress on root recovery of apple trees

表 2 干旱对苹果断口新根再生的影响

Table 2 Effect of water stress on new root growth of root pruned apple trees									
处理 Treatment	根重 Root weight/g	根长 Root length/cm	根表面积 Surface area/cm <sup>2</sup>	根长 Length/cm			根表面积 Surface area/cm <sup>2</sup>		
				<2.0	2.0~4.5	>4.5	<2.0	2.0~4.5	>4.5
T <sub>1</sub>	3.52A	9 843A	1 352a	9 783A	54.33a	1.214A	1 111a	45.13a	1.833A
T <sub>3</sub>	1.40B	4 139B	590b	4 116B	21.63b	0.238B	493b	17.39b	0.391B

处理间都呈现出 T<sub>0</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub> 的变化趋势。断根对苹果幼树春梢粗度没有显著影响,断根和干旱 2 种处理

方式对苹果春梢生长其它各项指标的影响都达到了显著或极显著水平。T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 除春梢叶面积达显著差异

表 3

断根与干旱对苹果春梢生长的影响

Table 3

Effect of root pruning and water stress on apple spring shoot growth of apple trees

处理 Treatment	春梢数量 Shoot number/个	春梢干重 Shoot weight/g	春梢长度 Shoot length/cm	春梢粗度 Shoot thickness/cm	春梢叶干重 Shoot leaf weight/g	春梢叶面积 Shoot leaf area/cm <sup>2</sup>
T <sub>0</sub>	8.6abAB	16.56aA	31.68aA	4.74aA	41.10aA	4.636aA
T <sub>1</sub>	6.8cB	12.30bA	20.71bB	4.19aAB	32.16bB	3.592bA
T <sub>2</sub>	9.6aA	5.21cB	15.41cC	3.47bBC	16.09cC	2.280cB
T <sub>3</sub>	8.2bAB	3.30cB	13.63cC	3.11bC	12.13cC	1.403dB

外,春梢干重、春梢长度、春梢粗度、春梢叶片干重均无显著差异。

#### 2.4 断根与干旱对苹果叶片特性的影响

叶片是苹果幼树进行光合作用的重要器官,良好的叶片质量是苹果幼树正常生长发育的重要条件。断根和干旱都会显著抑制苹果叶片生长发育(表4)。方差分析表明,干旱条件下,苹果叶片的比叶面积极

显著增大,较正常供水条件下增加32.9%。除了比叶面积外,苹果叶片的其它各项指标在各处理之间的变化趋势均表现为T<sub>0</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>,其中T<sub>0</sub>与T<sub>3</sub>处理的差异都能够达到极显著水平。由表4可以看出,干旱处理对叶片特性的影响比断根处理大,断根和干旱处理分别能够使苹果叶片总叶片干重减少16.7%和54.9%。

表 4

断根与干旱对苹果叶片特性的影响

Table 4

Effect of root pruning and water stress on leaf characteristics of apple trees

处理 Treatment	叶柄长 Petiole/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶面积 Leaf area/cm <sup>2</sup>	总叶面积 Total leaf area/cm <sup>2</sup>	比叶面积 Specific leaf area/(cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	单叶重 Leaf weight/g	总叶干重 Total leaf weight/g
T <sub>0</sub>	2.94aA	8.01aA	5.28aA	30.53aA	5.708aA	113.9bB	0.980aA	51.48aA
T <sub>1</sub>	2.79abAB	7.04bAB	4.67bAB	23.69bB	5.213aA	112.0bB	0.927aA	42.86bA
T <sub>2</sub>	2.77abAB	6.29bcBC	4.50bBC	19.48bcBC	3.429bB	151.4aA	0.452bB	23.21cB
T <sub>3</sub>	2.51bB	5.68cC	3.92cC	16.64cC	2.449cB	116.1bB	0.429bB	21.08cB

### 3 讨论与结论

光合作用是植物生长发育的重要生理代谢活动,对植物各组织器官的生长发育状况都具有重大的决定作用。前人研究表明,断根处理后,苹果、小麦、欧美I-107杨等植物叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO<sub>2</sub>浓度均呈现先降低后增加的趋势,水分利用效率显著提高<sup>[5-9]</sup>。FERREE<sup>[10]</sup>认为,在干旱年份断根处理导致苹果净光合速率和蒸腾速率显著降低,灌水能够提高苹果叶片蒸腾速率。该试验对苹果盆栽幼树处理后60 d进行光合特性研究,断根对叶片的光合能力的抑制作用得到了一定的恢复。因此认为,断根对苹果叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间CO<sub>2</sub>浓度和水分利用效率都没有显著影响,干旱处理导致叶片蒸腾速率、净光合速率、气孔导度和胞间CO<sub>2</sub>浓度极显著降低,水分利用效率极显著增加。

地上部生长与地下部生长具有一定的相关性,每种植物的地上部与地下部生长都维持在一定的平衡状态<sup>[11]</sup>。断根处理打破了这种原有的平衡,刺激植物产生大量新根,以尽可能去恢复原有的平衡状态<sup>[1]</sup>。该研究表明,栽培基质水分状况对断根后苹果根系再生具有极显著影响,干旱胁迫不利于苹果断根处理后的根系再生,同时粗根的再生能力也显著低于细根。前人在苹果、荔枝、大豆等作物的根系生长发育研究中也表明,干旱导致作物根系生物量减少,根系长度和表面积也显著

下降,同时以粗根受到的影响最为强烈<sup>[12-15]</sup>。

果树营养生长是其生殖生长的基础,但过旺的营养生长反过来又会抑制其生殖生长。断根能够有效抑制苹果春梢和叶片的生长发育,干旱条件下断根处理对其影响将会更加强烈,这与前人的研究结果一致。KHAN等<sup>[16]</sup>研究认为,断根能够降低苹果树体高度和新梢长度各12%,枝条数量和新梢叶面积也明显减少。在水分胁迫条件下,苹果树体各器官导水率明显下降。根系吸收和运输水分的能力下降,植株地上部水分供应不足,树体生长因此受到影响<sup>[17-18]</sup>。KURTURAL等<sup>[19]</sup>认为,在干旱年份中,灌水能够提高断根处理后的桃树结果冠层体积16%,但在降水量充足的年份中没有影响。该研究发现,干旱条件下苹果春梢数量显著增加,但春梢长度、粗度和干重显著或极显著减少。这可能是由于干旱胁迫导致苹果树体内生长素含量下降<sup>[20-21]</sup>,同时该试验的干旱程度相对较低。干旱前期有较多的碳水化合物留在地上部可以用于萌芽,使原来被抑制的叶芽能够萌发形成较多的新梢<sup>[22-23]</sup>,后期碳水化合物等营养不足,导致新梢生长不良。

综上所述,断根对苹果叶片光合作用没有显著影响,植株的总叶面积显著下降,因此苹果植株合成的光合产物总量也将随之减少。断根处理后在苹果根系断口处萌发大量新根,说明根系获得的光合产物有所增加,由于分配到根系的光合产物较多,新梢能够分配到



的光合产物必然大大减少,新梢生长受到显著抑制。在干旱条件下进行断根处理,苹果叶片光合生产能力大大降低,根系的再生能力也显著下降,苹果叶片和新梢生长发育受到更加严重的抑制。

### 参考文献

- [1] GEISLER D, FERREE D C. Response of plants to root pruning [J]. Horticultural Reviews, 1984, 6: 155-188.
- [2] VERCAMMEN J, van DAELA G, GOMAND A. Root pruning: a valuable alternative to reduce the growth of 'Coference' [J]. Acta Horticulturae, 2005, 671: 533-537.
- [3] SAURE M C. Root pruning-a poorly understood management practice in fruit trees [J]. International Journal of Fruit Science, 2007, 7(2): 43-56.
- [4] 孙协平. 苹果不同砧穗组合苗期水分利用效率的评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [5] JIE Y L, YANG H Q, ZHANG L Z, et al. The regulation of root pruning and soil water content affects apple leaf water use efficiency [J]. Acta Hort, 2008, 767: 345-350.
- [6] 杨守军, 邢尚军, 杜振宇, 等. 断根对冬枣营养生长的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(5): 625-630.
- [7] 井大炜, 邢尚军, 朱亚萍, 等. 断根对欧美1-107 杨光合作用和生长的短期影响[J]. 核农学报, 2014, 28(7): 1314-1319.
- [8] FANG Y, XU B C, TURNER N C, et al. Does root pruning increase yield and water-use efficiency of winter wheat? [J]. Crop & Pasture Science, 2010, 61: 899-910.
- [9] PONI S, TAGLIAVINI M, NERI D, et al. Influence of root pruning and water stress on growth and physiological factors of potted apple, grape, peach and pear trees [J]. Scientia Horticulture, 1992, 52: 223-236.
- [10] FERREE D C. Time of root pruning influences vegetative growth, fruit size, biennial bearing, and yield of 'Jonathan' apple [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117(2): 198-202.
- [11] BUTTROSE M S, MULLINS M G. Proportional reduction in shoot growth of grapevine with root systems maintained at constant relative volume by repeated pruning [J]. Australian Journal of Biological Science, 1968, 21(6): 1095-1102.
- [12] 聂伟燕, 赵尊练, 夏云飞, 等. 水分胁迫对线辣椒根系生长及产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(4): 30-36.
- [13] PSARRAS G, MERWIN I A. Water stress affects rhizosphere respiration rates and root morphology of young 'Mutsu' apple trees on M.9 and MM.111 rootstocks [J]. J Amer Soc Hort Sci, 2000, 123(5): 588-595.
- [14] 张承林, 付子斌. 水分胁迫对荔枝幼树根系与梢生长的影响 [J]. 果树学报, 2005, 22(4): 339-342.
- [15] 闫春娟, 王文斌, 涂晓杰, 等. 不同生育时期干旱胁迫对大豆根系特性及产量的影响 [J]. 大豆科学, 2013, 32(1): 59-62, 67.
- [16] KHAN Z U, MCNEIL D L, KHAN Z U, et al. Root pruning reduces the vegetative and reproductive growth of apple trees growing under an ultra high density planting system [J]. Scientia Horticulturae, 1998, 77: 165-176.
- [17] 张林森, 胥生荣, 张永旺, 等. 干旱胁迫下不同中间砧嫁接苹果苗的导水特性 [J]. 园艺学报, 2013, 40(11): 2137-2143.
- [18] 张林森, 张海亭, 胡景江, 等. 两种苹果砧木根系水力结构及其 PV 曲线水分参数对干旱胁迫的响应 [J]. 生态学报, 2013, 33(11): 3324-3331.
- [19] KURTURAL S K, TAYLOR B H. Growth, yield, and whole canopy photosynthesis response of peach to timing of root pruning, and irrigation [J]. Acta Hort, 2001, 557: 385-389.
- [20] 刘长海, 周莎莎, 邹养军, 等. 干旱胁迫下不同抗旱性苹果砧木内源激素含量变化 [J]. 干旱地区农业研究, 2012, 35(5): 94-98.
- [21] 李静, 崔继哲, 弥晓菊. 生长素与植物逆境胁迫关系的研究进展 [J]. 生物技术通报, 2012(6): 13-17.
- [22] 王冰, 李家洋, 王永红. 生长素调控植物株型形成的研究进展 [J]. 植物学通报, 2006, 23(5): 443-458.
- [23] 夏玉凤, 夏桂雪, 王翠琴, 等. 生长素与植物顶端优势 [J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2008, 32(4): 523-525.

## Effect of Root Pruning on the Growth and Photosynthesis of Young Apple Tree in Drought Area

TAO Jia, SHI Pei, QIAO Hengbo, BAI Hong, LI Bingzhi, FAN Chonghui

(College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Controlling vegetative growth of the acrial part is an important work in fruit production, both root pruning and water stress are all effective measures in suppressing the vegetative growth of fruit trees. The present study was established to determine the effect of root pruning and water stress on the growth and photosynthesis of 2-year-old apple trees. The results showed that drought reduced the foliar photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ) and intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ), and increased the water use efficiency, but root pruning had no effect on these parameters. Root pruning stimulated many new roots, but the root recovery capability decreased under drought condition. The variation of spring shoot and leaf biomass, spring shoot length, foliar length, width and area, et al. They were all in a same trend  $T_0 > T_1 > T_2 > T_3$ . In total, the apple leaf photosynthesis and root recovery capability were greatly reduced, and the growth of spring shoot and leaf were greatly inhibited.

**Keywords:** root pruning; drought; apple; photosynthesis; spring shoot; leaf