

# 断胚根处理对薄壳山核桃籽播苗生长的影响

倪钟涛, 侯志颖, 李财运, 王正加\*

(浙江农林大学·亚热带森林培育国家重点实验室, 浙江临安 311300)

**摘要:**【目的】探究不同断胚根处理对薄壳山核桃籽播苗生长的影响,为薄壳山核桃种苗培育提供技术支撑。【方法】选用大小基本相同的‘波尼’品种薄壳山核桃种子,经催芽后,将其分为胚根长度小于2 cm、2~4 cm、大于4 cm三个组,对3组催芽种子进行不同的断胚根处理。将处理后的种子种植到相同的容器内培养,统计种子出苗率,测定幼苗生长指标、根系形态指标和生理生化指标。【结果】对胚根长度小于2 cm的种子进行断胚根处理后,种子的出苗率显著提高,幼苗的叶绿素荧光参数指标和可溶性糖含量显著增加。对于胚根长度2~4 cm的种子,生长前期,断胚根处理幼苗的茎叶干质量、根系干质量、总干质量和根系活力显著大于对照处理幼苗;生长后期,对照处理幼苗的地径、根系干质量、部分根系形态指标和可溶性糖含量显著大于断胚根处理幼苗。对于胚根长度大于4 cm的种子,对照处理种子的出苗率显著大于留2 cm胚根的处理;生长前期,断胚根处理幼苗的根系活力显著大于对照处理。【结论】对于胚根长度小于2 cm的种子,可以采取切除根尖的方法;对于胚根长度在2~4 cm的种子,无需进行断胚根的处理;对于胚根长度大于4 cm的种子,可以采取断1/2胚根的方法。

**关键词:**薄壳山核桃;断胚根;生长指标;根系形态指标;生理生化指标

中图分类号:S664.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2020)06-0857-09

## Effect of radicle excision treatment on the growth of pecan seedlings

NI Zhongtao, HOU Zhiying, LI Caiyun, WANG Zhengjia\*

(Zhejiang Agriculture and Forestry University/The State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** 【Objective】This study investigated the effect of radicle excision treatments on the growth of pecan seedlings in order to provide technical support for the cultivation of pecan. 【Methods】‘Pawnee’ pecan seeds of the same size were selected for temperature-controlled germination. After germination, the pecan seeds were divided into three groups according to the radicle length. Group F had a radicle length no longer than 2 cm; group S between 2 and 4 cm; and group T longer than 4 cm. The control in these groups was designated as F1, S1, and T1, respectively. The treatments with root tip removal in the three groups were recorded as F2, S2, and T2. The treatment with 1/2 radicle removed in group S and group T was designated as S3 and T3, respectively, and the treatment with 2 cm radicle left in group T was assigned as T4. All the nine treatments had three replicates each with 30 seeds. The treated germinating seeds were planted in the same container, and then the seedling emergence rate was recorded. The growth index, root morphological index, and some physiological and biochemical indexes of the seedlings were measured and statistically analyzed in mid-June (early growth stage) and mid-September (late growth stage). 【Results】The seedling emergence rate of F2 was significantly increased by 14.8% compared with F1. No significant difference in the seedling emergence rate was found among treatments in group S. However, the seedling emergence rate in T1 was significantly higher than in T4. No significant difference in the length and ground diameter of the above-ground part in group S in the

收稿日期:2020-02-24 接受日期:2020-04-02

基金项目:中央财政林业科技推广示范项目(2018TS08);浙江省科技厅重大研发专项(2018C02004);浙江省农业新品种选育重大科技专项(2016C02052-13);国家自然科学基金项目(31600547)

作者简介:倪钟涛,男,在读硕士研究生,主要从事林木遗传育种研究。Tel:15968852196, E-mail:381670495@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel:13989845579, E-mail:wzhj21@163.com

early stage of seedling growth. Compared to S1, the stem and leaf dry weights of S2 and S3 increased significantly by 48.3% and 81.8%, respectively. The dry root weight of S3, increased significantly by 22.7% and 25.2% compared to S1 and S2, respectively. The total dry weight of the seedlings in S3 was significantly higher than S1 and S2, by 30.0% and 27.7% respectively. In the late stage of seedling growth, the radicle excision treatments in groups F and T had no significant effect on the growth and root morphology of seedlings. Compared with S3, dry root weight and average root diameter of S1 increased by 18.7% and 23.5%, respectively. The total root volume of S1 increased by 52.3% compared with S3, while the diameter in S1 increased by 16.1% compared with S2. There were strong main roots in each treatment, and there was no significant difference in the lateral root number among treatments. There was no significant difference in chlorophyll content and photosynthetic parameters among different treatments in the later stages of seedling growth. Analysis of chlorophyll fluorescence revealed no significant differences in  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_0$  in S and T groups. Meanwhile,  $F_v/F_m$  and  $F_v/F_0$  in F2 were significantly larger than those in F1. There was no significant difference in root activity among treatments in group F at the early stage of seedling growth. Root activity of S2 and S3 increased by 1.87 and 1.45 folds compared with S1, respectively. The root activity of T2, T3 and T4 increased by 62.3%, 43.0% and 42.5%, respectively, compared with T1. In the later stage of seedling growth, the soluble sugar content in F2 was significantly higher than that in F1, and S1 was substantially higher than S2, suggesting that the seedling quality and resistance of F2 and S1 were better. On the other hand, no significant difference in soluble sugar content was found among treatment in T group.【Conclusion】Root tip removal of germinated seeds with radicle length less than 2 cm improved seedling emergence rate and quality. Interestingly, germinated seeds with a radicle length between 2 and 4 cm had better seedling quality and root growth without radicle excision. Meanwhile, for germinated seeds with a radicle longer than 4 cm, cutting off half of the radicle facilitated sowing and obtained a higher seedlings emergence rate.

**Key words:** Pecan; Radicle excision; Growth index; Root morphological index; Physiological and biochemical index

薄壳山核桃 [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch], 又名美国山核桃, 是胡桃科山核桃属植物, 是重要的世界干果。薄壳山核桃、板栗、银杏等具有大颗粒种子的树种, 其幼苗一般主根发达, 侧根较少, 吸收水分和养分的能力较差<sup>[1]</sup>。容器育苗时, 幼苗的主根生长旺盛导致根系穿透容器底部或者扭曲生长, 这对后期苗木的移栽和生长较为不利。断胚根技术作为一种生产上调控苗木形态、生理和造林效果的有效手段<sup>[2]</sup>, 可以减弱幼苗的主根性, 使幼苗形成发达的侧根, 增强其吸收水分和养分的能力, 进而提高其生物量和品质, 同时也有利于苗木后期的移栽与生长<sup>[1]</sup>。

断胚根处理后, 苗木的根系形态改变, 形成主根短、侧根多的根系系统。Liu 等<sup>[3]</sup>对中国栓皮栎种子进行断胚根处理, 发现断胚根处理可以减少幼苗根系的变形, 诱导直根的形成。魏永平<sup>[4]</sup>发现对马

尾松种子进行断胚根处理后, 其苗木的主根和茎干生长受到一定的抑制, 但是地径、侧根以及须根数量均有显著提高。Harris 等<sup>[5]</sup>对针栎种子进行断胚根处理, 发现处理后幼苗主侧根明显增加, 并且随着断胚根长度的增加而增加。除此以外, 断胚根处理能提高苗木的成活率<sup>[2]</sup>。王承义等<sup>[6]</sup>对文冠果种子进行断胚根处理, 发现当年生苗木的成活率比对照组提高了 14.16%。杨望球<sup>[7]</sup>发现对板栗种子进行断胚根处理后, 其苗木的造林成活率提高了 12%~15%。断胚根处理还能影响苗木生物量的分配和生长发育<sup>[2]</sup>。戴维明等<sup>[8]</sup>对银杏种子进行断胚根处理, 发现 1 a(年)生苗没有主根, 侧根总长比对照增加 56%以上, 根量增加 29.5%, 地下部分干质量提高 29%以上。Mccreary<sup>[9]</sup>对蓝橡树种子进行断胚根处理, 发现处理后的幼苗主根明显增加, 并且幼苗的根系质量和总质量明显减少。

薄壳山核桃育苗生产中,如何对不同长度的胚根进行处理,以及相应的处理对苗木生长的影响等相关的研究较少。前人的研究中,设置断胚根处理时未对不同长度的胚根进行统一的划分,且处理较少,同时缺乏对苗木的生理生化指标的测定。因此,本试验根据薄壳山核桃种子不同长度的胚根对其进行不同的断胚根处理,并通过幼苗生长、根系形态和生理生化指标的测定,探究断胚根对薄壳山核桃籽播苗生长的影响。以期将断胚根育苗技术与容器育苗技术相结合,生产出高质量的苗木,同时减少生产成本,为薄壳山核桃种苗培育提供技术支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料与处理

本试验于2019年3月上旬至9月中旬于浙江省杭州市临安区太湖源镇浙江农林大学潘母岗现代林业示范基地(30°17'N, 119°33'E)进行。试验材料是来自生长势一致的薄壳山核桃‘波尼’30 a生树、有活力的大小相近的种子。种子经催芽处理(温度:29 °C,湿度:90%)后,根据不同的胚根长度,将催芽种子分为胚根长度小于2 cm、2~4 cm、大于4 cm三个等级,并对不同长度的胚根进行不同的断胚根处理(表1)。本试验共设置9个处理,每个处理3个

表1 薄壳山核桃种子不同长度胚根的断胚根处理

Table 1 The radicle excision treatments in pecan seeds with different radicle lengths

胚根长度 Radicle length/cm	对照 Control	去根尖 Remove root tip	去1/2胚根 Remove 1/2 radicle	留2 cm胚根 Leave 2 cm radicle
<2	F1	F2		
2~4	S1	S2	S3	
>4	T1	T2	T3	T4

重复,每个重复30粒种子。于3月下旬断胚根处理后,将种子播种到含有一定基质配比( $V_{\text{田土}}:V_{\text{缓释肥}}:V_{\text{泥炭}}:V_{\text{珍珠岩}}:V_{\text{山核桃蒲壳}}:V_{\text{岩棉}}:V_{\text{有机质}}=13:2:50:5:5:10:15$ )的无纺布容器袋(口径×高:8 cm×14.5 cm)中,浇透水后置于大棚内培养。观察并统计各处理下种子的出苗率,待完全出苗后,于5月中旬将容器苗转移到更大的无纺布容器袋(口径×高:15 cm×20 cm)中进行培养,于6月中旬(生长前期)和9月中旬(生长后期)测定生长、根系形态和生理生化指标。

### 1.2 测定指标与方法

1.2.1 生长指标的测定 播种后15、30、45 d统计种子的出苗率。采用直尺测量苗高(0.1 cm);采用游标卡尺测量地径(0.01 mm);将新鲜幼苗置于105 °C下杀青20 min,70 °C烘至恒重,采用分析天平称量茎叶干质量、根系干质量和总干质量(0.001 g);按照公式计算根冠比:根冠比=根系干质量/茎叶干质量。

1.2.2 根系形态指标的测定 采用根系扫描仪(Epson Expression 1680 Scanner, SeikoEpson Corp, Tokyo, Japan)对幼苗的根系进行扫描,并采用WinRHIZOLA2400根系分析系统(Regent Instruments Inc, Quebec, Canada)进行分析,得到根长、总投影面积、根表面积、根平均直径、总根体积、根尖数、分支数以及交叉数等相关数据。

1.2.3 生理生化指标的测定 叶绿素含量测定:参照Dhanapal等<sup>[10]</sup>的方法,采用95%乙醇浸泡的方法提取薄壳山核桃的叶绿素,并采用光吸收酶标仪SpectraMax 190(美国Molecular Devices)测定波长664、648和470 nm下提取液的吸光度并计算叶绿素含量。根系活力测定:参照郑坚等<sup>[11]</sup>的方法,采用氯化三苯基四氮唑(TTC)还原法测定幼苗的根系活力。可溶性糖含量测定:参照刘海英等<sup>[12]</sup>的方法,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量。

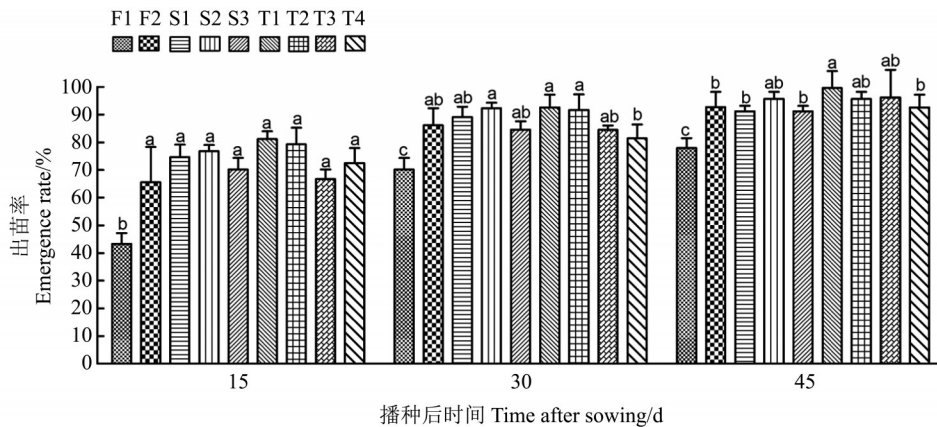
叶片光合参数的测定:于2019年9月中旬天气晴朗的上午,采用Li-6800便携式光合测定系统(美国LI-COR)测定薄壳山核桃叶片的光合参数,每个处理测定9株。测定时光合有效辐射(PAR)设定为800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,参比室CO<sub>2</sub>浓度控制在401  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,叶室温度为35 °C左右,相对湿度(RH)控制在50%左右,进入叶室的气体流速为500  $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,测定得到净光合速率( $P_n, \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、气孔导度( $G_s, \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、胞间CO<sub>2</sub>浓度( $C_i, \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )、蒸腾速率( $T, \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )等指标。

叶绿素荧光参数的测定:于2019年9月中旬天气晴朗的上午,采用M-PEA多功能植物效率仪(英国Hansatech)测定薄壳山核桃叶片的叶绿素荧光参数,每个处理测定9株。测定时选取生长一致且受光方向相同的叶片,采用暗适应叶夹夹住叶片(尽量避开主脉),暗处理30 min后测定最小荧光( $F_0$ )和最大荧光产量( $F_m$ )。根据测定的参数按照以下公式计算原初光能转换效率( $F_v/F_0$ )、最大光能转

换效率( $F_1/F_m$ )。计算公式: $F_1/F_0=(F_m-F_0)/F_0$ ,  $F_1/F_m=(F_m-F_0)/F_m$ 。

### 1.3 数据处理

试验数据中出苗率的数值是百分数,先对其进行反正弦平方根的数据转换,再进行方差分析,最后将方差分析的结果转换成百分数。使用MS Excel 2016和SPSS 21.0软件对数据进行汇总和方差分析,并采用GraphPad Prim 5软件绘制图表。数据用 $X \pm SE$ (均值 $\pm$ 标准误差)表示。



不同小写字母表示同一时间不同处理的出苗率在  $p < 0.05$  水平上差异显著。下同。

Different small letters indicate significant difference in emergence rate among different treatments in the same time at  $p < 0.05$ . The same below.

图1 不同时间不同断胚根处理的薄壳山核桃种子出苗率

Fig. 1 Emergence rate of pecan seeds under different radicle excision treatments

显著差异;除了F1,其余处理的出苗率均超过80%,S2、T1和T2处理超过90%。播种后45 d,种子出苗情况基本处于稳定状态,F1的出苗率为77.9%,F2的出苗率为92.7%,F2仍显著高于F1,高19.0%;S组内无显著差异,T1的出苗率显著高于T4,S组和T组的出苗率均超过90%;比较3组内的对照处理F1、S1和T1的出苗率,发现 $T1 > S1 > F1$ 。结果表明,3个时期F2的出苗率均显著高于F1,S和T组各处理最终出苗率均超过90%。比较3个对照处理,可以发现种子的胚根越长,其出苗率越高。

2.1.2 生长指标分析 由图2可知,在6月份和9月份,F和T组幼苗的茎叶干质量、总干质量、根冠比、地上部分长度和地径均无显著差异。在6月份,T2的根系干质量显著大于T组内其他处理;S组各处理的地上部分长度和地径无显著差异,S2和S3的茎叶干质量显著大于S1,分别大48.3%和81.8%,S3的根系干质量显著大于S1和S2,分别大22.7%和25.2%,S3的总干质量显著大于S1和S2,分别大30.0%和

## 2 结果与分析

### 2.1 断胚根处理对薄壳山核桃籽播苗生长指标的影响

2.1.1 出苗率分析 由图1可知,种子播种后15 d,F2的出苗率较F1显著提高了51.7%;S和T组内无显著差异,均在60%以上,T1的出苗率最高,在80%以上。播种后30 d,F2的出苗率仍显著高于F1,高22.8%;T1和T2的出苗率显著高于T4;S处理间无

27.7%,S1的根冠比显著大于S2和S3。在9月份,T组各处理的根系干质量无显著差异;S组的茎叶干质量和总干质量无显著差异,但S1的根系干质量显著大于S3,大18.7%,S2的根冠比显著大于S3,S3的地上部分长度显著大于S2,S1的地径显著大于S2,大16.1%。结果表明,两个时期F组内断胚根与否对幼苗的生长无显著影响;生长前期T2的根系长势较好,S组断胚根处理的茎叶和根系长势较好,总干质量较高;生长后期S1和S2的根系长势较好,S3的茎叶长势较好。

### 2.2 断胚根处理对薄壳山核桃籽播苗根系形态的影响

2.2.1 根系形态分析 由图3可知,在幼苗生长后期,各处理下幼苗根系形态无显著差异,以单一主根为主,部分幼苗具有多主根的根系系统,主根基本上呈弯曲盘绕的状态,有较多的侧根分布在主根上。各处理下幼苗均表现出较强的主根性,侧根较多但并不粗壮。

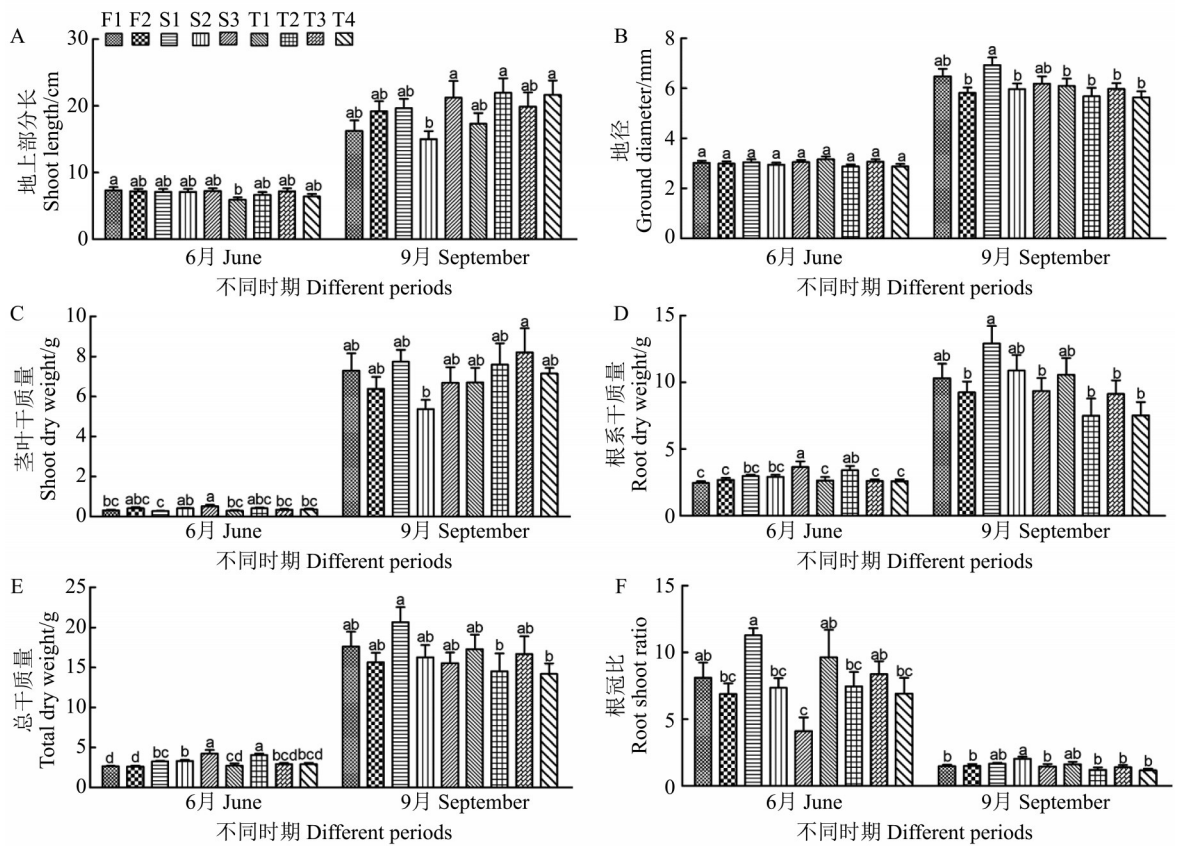


图2 不同时间不同断胚根处理的薄壳山核桃籽播苗生长指标

Fig. 2 Growth indexes of pecan seedlings under different radicle excision treatments

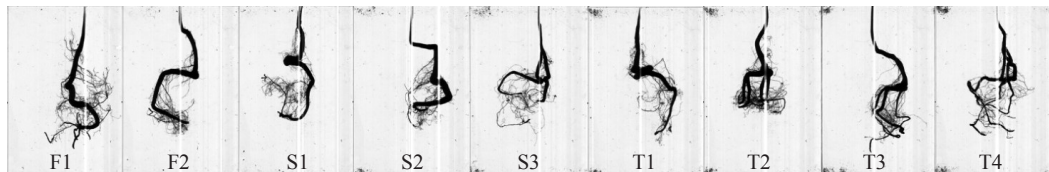


图3 不同断胚根处理的薄壳山核桃籽播苗根系形态

Fig. 3 Root morphology of pecan seedlings under different radicle excision treatments

2.2.2 根系形态指标分析 由表2可知,在9月份, 幼苗根系的根长、总投影面积、根表面积、分支数、

表2 不同断胚根处理的薄壳山核桃籽播苗根系形态指标

Table 2 Root morphological indexes of pecan seedlings under different radicle excision treatments

处理 Treatment	根长 Root length/cm	总根投影面积 Root projarea/cm <sup>2</sup>	根表面积 Root surfarea/cm <sup>2</sup>	根平均直径 Root avgdiam/mm	总根体积 Root volume/cm <sup>3</sup>	根尖数 Tips	分支数 Forks	交叉数 Crossings	侧根数 Lateral root number
F1	696.61±74.97 ab	59.57±4.30 ab	187.15±13.52ab	0.89±0.05 ab	4.11±0.33 ab	4 357±412 c	5 150±553 bc	722±91 de	37.11±1.96 bc
F2	603.77±23.82 b	54.94±3.11 ab	172.61±9.76 ab	0.91±0.03 a	3.96±0.32 abc	4 458±141 c	4 280±100 c	607±19 e	39.89±2.18 abc
S1	791.38±55.91 a	65.08±3.93 a	204.47±12.33 a	0.84±0.05 ab	4.34±0.43 a	6 122±267 b	6 152±408 ab	893±79 cd	42.11±2.97 abc
S2	753.74±50.70 ab	59.11±3.68 ab	185.70±11.56 ab	0.79±0.03 bc	3.67±0.26 abcd	6 092±320 b	6 142±703 ab	953±108 bcd	40.22±2.83 abc
S3	804.65±63.07 a	53.65±3.26 ab	168.53±10.25 ab	0.68±0.03 cd	2.85±0.19 de	7 680±545 a	6 363±607 ab	1 008±103 bc	35.11±2.27 c
T1	853.61±64.56 a	57.03±4.10 ab	179.15±12.88 ab	0.68±0.03 cd	3.04±0.28 cde	8 207±455 a	7 348±565 a	1 269±79 a	45.44±4.27 ab
T2	721.00±27.44 ab	47.60±4.38 b	149.55±13.75 b	0.65±0.04 d	2.53±0.40 e	6 562±217 b	6 475±278 ab	1 151±39 ab	46.67±1.87 a
T3	782.10±42.94 a	56.34±4.70 ab	176.99±14.76 ab	0.71±0.03 cd	3.23±0.40 bcde	6 562±178 b	6 627±327 ab	1 158±46 ab	45.78±2.94 a
T4	760.81±22.48 ab	48.92±3.10 b	153.67±9.74 b	0.64±0.04 d	2.54±0.30 e	6 539±108 b	7 249±335 a	1 359±100 a	46.11±2.11 a

交叉数、侧根数在各组处理间无显著差异;S1 的根平均直径显著大于 S3,大 23.5%;S1 的总根体积显著大于 S3,大 52.3%;S3 的根尖数显著大于 S1 和 S2,T1 的根尖数显著大于 T2、T3 和 T4。结果表明,幼苗生长后期,F 组幼苗的根系形态无显著差异;T 组内对照的根尖数显著大于断胚根处理;S1 的根系较 S3 更加粗壮,但 S3 的根尖数比 S2 和 S1

更多;各组内处理间侧根数无显著差异。

### 2.3 断胚根处理对薄壳山核桃籽播苗生理生化指标的影响

2.3.1 叶片光合参数分析 由图 4 可知,在 9 月份,幼苗的净光合速率、气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度和蒸腾速率在各组处理间无显著差异。结果表明,幼苗生长后期,断胚根处理对幼苗的光合作用无显著影响。

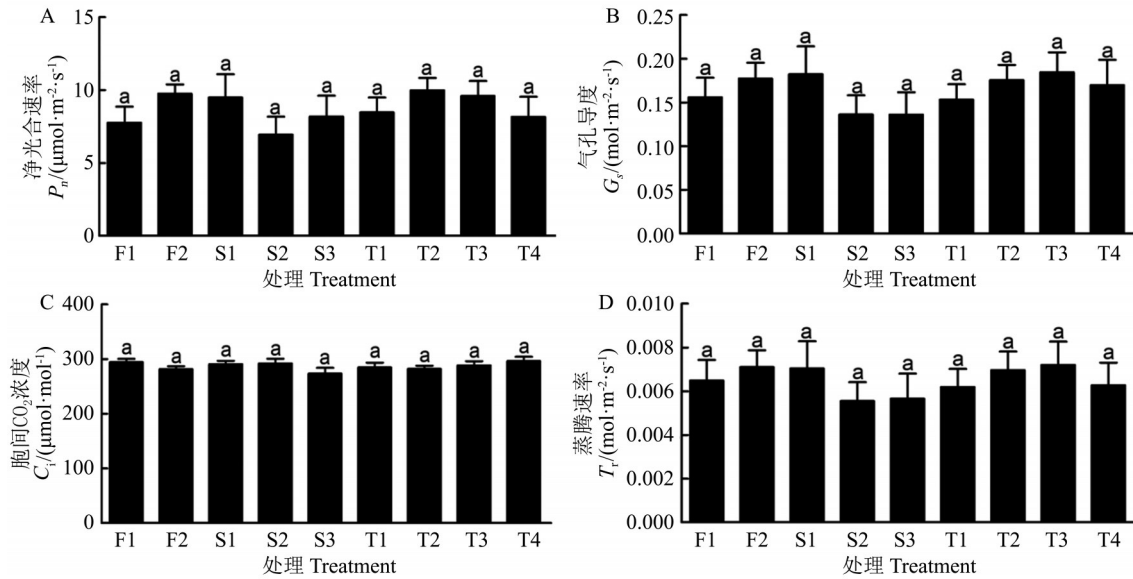


图 4 不同断胚根处理的薄壳山核桃籽播苗光合参数

Fig. 4 Photosynthetic parameters of pecan seedlings under different radicle excision treatments

2.3.2 叶绿素荧光参数分析  $F_v/F_m$  是光系统 II (PS II) 的最大光能转换效率,是研究各种环境胁迫对光合作用影响的重要指标; $F_v/F_0$  是 PS II 的原初光能转换效率,反映了 PS II 的潜在活性<sup>[13]</sup>。由图 5 可知,在 9 月份,S 和 T 组各处理的  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$  均无显著差异;F2 的  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$  显著大于 F1。结果表明,在幼苗生长后期,F2 的  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$  显著大于 F1。

2.3.3 叶绿素含量分析 由图 6 可知,在 9 月份,幼苗的叶绿素含量 a、b 在各组处理间无显著差异。结果表明,在幼苗生长后期,断胚根处理对幼苗叶绿素含量无显著影响。

2.3.4 根系活力分析 由图 7 可知,在 6 月份,F 处理的根系活力组内无显著差异;S2 和 S3 显著大于 S1,分别提高了 187%和 145%;T2、T3 和 T4 显著大于 T1,分别提高了 62.3%、43.0%和 42.5%。结果表明,在幼苗生长前期,断胚根处理对 F 组幼苗的根系活力无显著影响,S 和 T 组断胚根处理的根系活

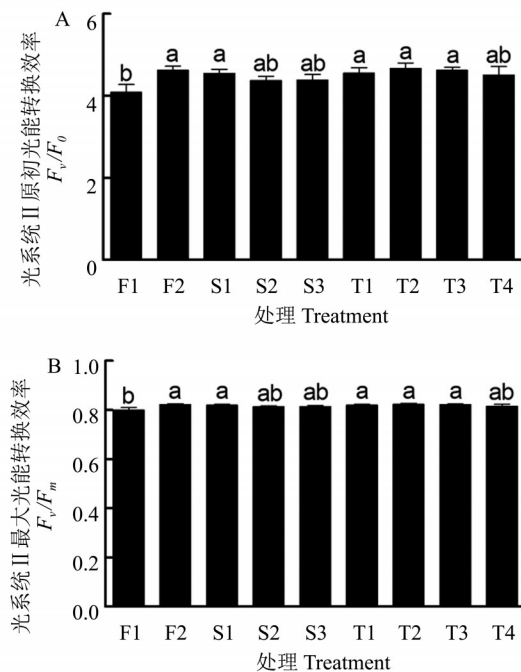


图 5 不同断胚根处理的薄壳山核桃籽播苗叶绿素荧光参数

Fig. 5 Chlorophyll fluorescence parameters of pecan seedlings under different radicle excision treatments

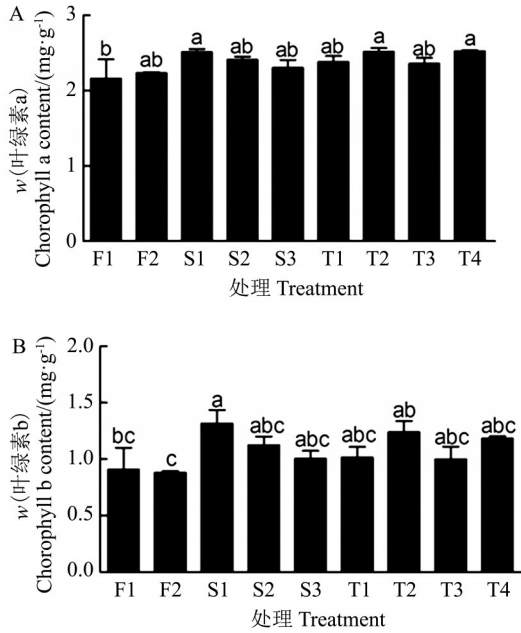


图6 不同断胚根处理的薄壳山核桃籽播苗叶绿素含量  
Fig. 6 Chlorophyll content of pecan seedlings under different radicle excision treatments

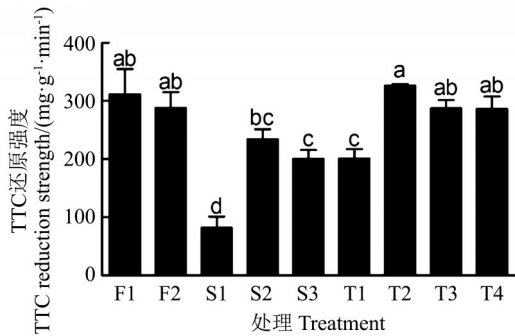


图7 不同断胚根处理的薄壳山核桃籽播苗根系活力  
Fig. 7 Root activity of pecan seedlings under different radicle excision treatments

力显著大于对照。

2.3.5 可溶性糖含量分析 可溶性糖含量是植物重要的渗透调节物质和营养物质,是衡量植物抗性和质量的重要指标<sup>[14]</sup>。由图8可知,9月份T组各处理的可溶性糖含量无显著差异;F2显著大于F1,大39.0%;S1显著大于S2,大18.2%。结果表明,在幼苗生长后期,断胚根处理对T组幼苗可溶性糖含量无显著影响;F组断胚根处理显著大于对照;S组对照显著大于断根尖处理。

### 3 讨论

本研究通过对不同胚根长度的‘波尼’薄壳山核桃种子进行不同的断胚根处理,并对相关指标进

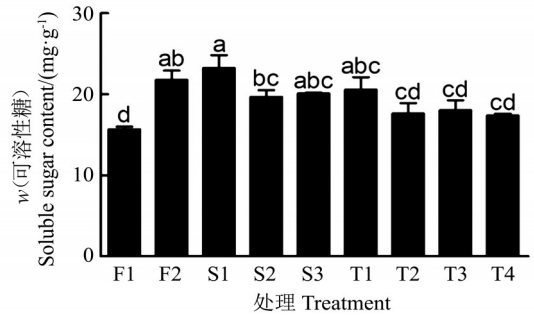


图8 不同断胚根处理的薄壳山核桃籽播苗可溶性糖含量  
Fig. 8 Soluble sugar content of pecan seedlings under different radicle excision treatments

行测定,来探究不同的断胚根处理对薄壳山核桃籽播苗生长的影响。从试验结果来看,断胚根处理对薄壳山核桃种子的出苗率、幼苗的生长、根系形态和生理生化指标均有一定的影响。

对薄壳山核桃种子的出苗率进行分析可以发现,播种后45 d, F2 的出苗率较 F1 显著提高了 19.0%,表明对胚根长度小于 2 cm 的种子进行断根尖处理可以提高其出苗率,这与周文志<sup>[15]</sup>对山杏种子断胚根后的试验结果一致,胚根长度小于 1 cm 的山杏种子进行断胚根处理后,其出苗率较对照提高了 34.43%,并且闫林等<sup>[6]</sup>对胡桃切断胚根播种的试验结果也说明了切根播种的胡桃的出苗率更高。有研究表明,断胚根处理可以打破主根的顶端优势和向下生长的机能,增强胚根的分生能力,促进侧、须根的生长发育<sup>[17]</sup>,一定程度上促进了胚根对水分和养分的吸收<sup>[8]</sup>,有利于种子的出苗。根据未处理种子的出苗率可以发现,胚根越长,出苗率越高,表明较长的胚根也能促使薄壳山核桃种子具有较高的出苗率。推测可能是较长的胚根分布在基质中,能吸收更多的水分和养分,有利于种子的出苗。较长的胚根和断胚根处理都是影响薄壳山核桃种子出苗率的重要因素,在断胚根的同时胚根的长度也会减少,两个因素对出苗率的影响也发生了变化。从 T1 的出苗率显著大于 T4,与 T2、T3 无显著差异可以看出,当胚根截断过多时,种子的出苗率反而会下降,表明此时断胚根的促进作用无法弥补胚根长度减少的抑制作用,从而导致出苗率下降。

比较不同时期薄壳山核桃幼苗的生长指标可以发现,在生长前期,不同的断胚根处理对幼苗生长的作用不同,S组断胚根处理和T2处理对幼苗的

生长有促进作用,结合生长前期对幼苗根系活力的测定结果,S组和T组断胚根处理的根系活力均显著高于对照。因此在生长前期,对种子不同长度的胚根进行适当的断胚根处理能够提高幼苗的根系活力,从而促进幼苗的生长。在幼苗生长后期,F组和T组内各处理间的生长指标无显著差异,这与 Devine 等<sup>[19]</sup>对俄勒冈白橡树种子进行断胚根处理,1年后幼苗的茎质量、根质量、地径、高度与对照无显著差异的研究结果一致。并且 Tilki 等<sup>[20]</sup>对火山栎种子进行断胚根处理,生长季结束时也发现了相似的结果,处理后幼苗的高度、地径、地上干质量、地下干质量与对照无显著差异。在幼苗生长后期,断胚根处理的影响减弱,S组对照处理的一些生长指标和根系形态指标甚至超过了断胚根处理。另一方面,将不断胚根的3个对照处理进行比较发现,种子的胚根较短时,其幼苗的根和茎干相对较粗,但根的分枝数和根尖数相对较少。除此以外,各处理下幼苗均表现出较强的主根性,且各组内处理的侧根数无显著差异,表明断胚根处理对薄壳山核桃幼苗减弱主根性和增加侧根数无显著影响。

薄壳山核桃幼苗的生理生化指标的结果表明,在幼苗生长后期,各组处理的叶绿素含量和光合参数无显著差异。根据叶绿素荧光参数试验结果分析,F2的最大光能转换效率和原初光能转换效率均优于F1,表明F2受环境胁迫程度较低,PS II潜在活性较高。结合生长后期对幼苗可溶性糖含量的测定结果,F2显著大于F1,表明F2处理下的幼苗质量与抗性较好;S1显著大于S2,表明S1处理下的幼苗质量较好。

## 4 结 论

在薄壳山核桃种苗生产中,对于胚根长度小于2 cm的种子可以采取切除根尖的方法提高其出苗率和幼苗质量;对于胚根长度在2~4 cm的种子,不断胚根的种子其幼苗的质量和根系生长更好,因此无需进行断胚根的处理;对于胚根长度大于4 cm的种子,为方便播种并得到较高的出苗率可以采取断1/2胚根的方法。

## 参考文献 References:

- [1] 梁英荣. 大粒树种断胚根育苗技术[J]. 林业实用技术, 2004, 47(11):25.  
LIANG Yingrong. Seeding technology of radicle pruning of big seed tree species[J]. Forest Science and Technology, 2004, 47(11):25.
- [2] 刘佳嘉, 李国雷, 刘勇, 尚治国. 容器类型和胚根短截对栓皮栎容器苗苗木质量及造林初期效果的影响[J]. 林业科学, 2017, 53(6):47-55.  
LIU Jiajia, LI Guolei, LIU Yong, SHANG Zhiguo. Combined effects of container type and radicle pruning on seedling quality and early field performance of *Quercus variabilis* container seedlings[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2017, 53(6):47-55.
- [3] LIU J, BLOOMBERG M, LI G, LIU Y. Effects of copper root pruning and radicle pruning on first-season field growth and nutrient status of Chinese cork oak seedlings[J]. New Forests, 2016, 47(5):715-729.
- [4] 魏永平. 马尾松切根、菌根化容器育苗效果的试验[J]. 福建林业科技, 1996, 23(3):12-17.  
WEI Yongping. An experiment on the root-cutting and mycorrhizalized container seeding culture effect of *Pinus massoniana*[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 1996, 23(3):12-17.
- [5] HARRIS J, FANELLI J, NIEMIERA A, WRIGHT R. Root pruning *Pin Oak Liners* affects growth and root morphology[J]. Hort-Technology, 2001, 11(1):49-52.
- [6] 王承义, 李晶, 毕连柱. 断胚根处理对文冠果育苗的影响及配套技术研究[J]. 中国林副特产, 2010, 24(4):1-3.  
WANG Chengyi, LI Jing, BI Lianzhu. The study on effect of radicle pruning on *Xanthoceras sorbifolia* seedling and matching technique[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2010, 24(4):1-3.
- [7] 杨望球. 板栗断胚根断茎尖育苗技术的研究[J]. 湖南林业科技, 1995, 21(2):14-17.  
YANG Wangqiu. Study on seeding technology of radicle pruning and shoot tip pruning of *Castanea mollissima*[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 1995, 21(2):14-17.
- [8] 戴维明, 张咸进. 断胚根促进银杏幼苗生长试验研究[J]. 经济林研究, 2000, 18(3):38-39.  
DAI Weiming, ZHANG Xianjin. Promoting the growth of young *Ginkgo* seedlings by cutting off the radicle[J]. Economic Forest Researches, 2000, 18(3):38-39.
- [9] MCCREARY D D. The effects of stock type and radicle pruning on blue oak morphology and field performance[J]. Annales Des Sciences Forestières, 1996, 53(2/3):641-648.
- [10] DHANAPAL A P, RAY J D, SINGH S K, HOYOS-VILLEGAS V, SMITH J R, PURCELL L C, FRITSCHI F B. Genome-wide association mapping of soybean chlorophyll traits based on canopy spectral reflectance and leaf extracts[J]. BMC Plant Biology, 2016, 16(1):174.
- [11] 郑坚, 陈秋夏, 金川, 郭秀珠, 黄品湖. 不同 TTC 法测定枫香等阔叶树容器苗根系活力探讨[J]. 浙江农业科学, 2008, 1(1):39-42.  
ZHENG Jian, CHEN Qiuxia, JIN Chuan, GUO Xiuzhu, HUANG Pinhu. Study on the root system vigor of container



- seedlings of *Liquidambar formosana* Hance and other broad-leaved trees by different TTC methods[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2008, 1(1):39-42.
- [12] 刘海英,王华华,崔长海,王曼,郭净净,文昭普,李安琪.可溶性糖含量测定(蒽酮法)实验的改进[J].实验室科学,2013,16(2):19-20.
- LIU Haiying, WANG Huahua, CUI Changhai, WANG Man, GUO Jingjing, WEN Zhaopu, LI Anqi. Experiment improvement of the soluble sugar content determination by anthrone colorimetric method[J]. Laboratory Science, 2013, 16(2):19-20.
- [13] 温国胜,田海涛,张明如,蒋文伟.叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J].应用生态学报,2006,17(10):1973-1977.
- WEN Guosheng, TIAN Haitao, ZHANG Mingru, JIANG Wenwei. Application of chlorophyll fluorescence analysis in forest tree cultivation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(10):1973-1977.
- [14] 赵江涛,李晓峰,李航,徐睿恣.可溶性糖在高等植物代谢调节中的生理作用[J].安徽农业科学,2006,34(24):6423-6425.
- ZHAO Jiangtao, LI Xiaofeng, LI Hang, XU Ruimin. Research on the role of the soluble sugar in the regulation of physiological metabolism in higher plant[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(24):6423-6425.
- [15] 周文志.山杏种子胚根剪截对苗木发根和生长的影响[J].北方园艺,1995,19(3):26-27.
- ZHOU Wenzhi. Effects of radicle pruning on root-out and growth of *Armeniaca sibirica* (L.) Lam seedlings[J]. Northern Horticulture, 1995, 19(3):26-27.
- [16] 闫林,姜平安,申新昇.胡桃切断胚根播种试验[J].陕西农业科学,1959,3(5):190.
- YAN Lin, JIANG Ping'an, SHEN Xinsheng. An experiment on the radicle pruning and sowing of *Juglans regia* L.[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 1959, 3(5):190.
- [17] 汪秀芳.樟树短截根育苗试验[J].湖南林业科技,1981,8(4):17-18.
- WANG Xiufang. An seeding experiment on the radicle pruning of *Cinnamomum camphora* (L.) Presl[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 1981, 8(4):17-18.
- [18] 刘春洋,史国安,王玮.断根处理对牡丹'凤丹白'幼苗根系发育的影响[J].林业实用技术,2013,56(10):47-49.
- LIU Chunyang, SHI Anguo, WANG Wei. Effects of radicle pruning on root development of *Peonia ostia* T. Hong et J. X. Zhang [J]. Practical Forestry Technology, 2013, 56(10):47-49.
- [19] DEVINE W, HARRINGTON C, SOUTHWORTH D. Improving root growth and morphology of containerized oregon white oak seedlings[J]. Tree Planters'Notes, 2009, 53(2):29-34.
- [20] TILKI F, ALPTEKIN C U. Germination and seedling growth of *Quercus vulcanica*: effects of stratification, desiccation, radicle pruning, and season of sowing[J]. New Forests, 2006, 32(3):243-251.