

环剥、环割对薄壳山核桃新梢生长和叶片碳氮代谢物积累影响

邓秋菊^{1,2}, 李小飞², 陈文静^{1,2}, 彭方仁^{1,2*}

(1. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 南京 210037; 2. 南京林业大学林学院, 南京 210037)

摘要: 为研究环剥和环割这2种修剪措施对薄壳山核桃新梢生长和叶片碳氮代谢物积累的影响, 以5年生薄壳山核桃幼树‘波尼’(‘Pawnee’)为试材, 对同一规格长度(40~45 cm)新梢进行环剥处理(环剥1 mm、环剥2 mm和环剥3 mm)和环割处理(环割1圈、环割2圈和环割3圈)。不同宽度环剥和不同圈数环割处理对薄壳山核桃的影响不同。环剥和环割处理能抑制新梢伸长生长, 促进粗度生长; 环剥3 mm处理的叶片可溶性糖含量、淀粉含量、蛋白质含量和C/N比高于其他处理和对照, 但与环剥2 mm无显著性差异; 环割3圈处理的叶片可溶性糖含量、淀粉含量、蛋白质含量和C/N最高。综合考虑修剪措施可能对树体的影响, 环剥2 mm或环割3圈为生产上新梢的适宜修剪方式。

关键词: 薄壳山核桃; 环剥; 环割; 生长; 碳氮代谢物

中图分类号: S664.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2017)05-0790-06

Effects of girdling and ringing on branch growth and accumulation of carbon-nitrogen metabolites in leaves of *Carya illinoensis*

DENG Qiuju^{1,2}, LI Xiaofei², CHEN Wenjing^{1,2}, PENG Fangren^{1,2}

(1. Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037;

2. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037)

Abstract: To study the effects of the two pruning treatments (girdling and ringing) on the growth of branches and accumulation of carbon-nitrogen metabolites in leaves of *Carya illinoensis*, branches from 5-year-old grafted seedling of ‘Pawnee’ pecan were girdled with different widths (1 mm/2 mm/3 mm) and ringed with different circles (1 circle/2 circles/3 circles). The results showed that girdling and ringing inhibited the shoot elongation, but promoted the shoot radial growth. The contents of soluble sugar, starch, protein and the ratio of C/N in the leaf treated with girdling 3 mm were higher than other treatments and the control, but no significant differences were found in the treatment of girdling 2 mm. The contents of soluble sugar, starch and protein and the ratio of C/N in the leaf treated with ringing 3 circles were the highest. Girdling and ringing might have effects on the trunk growth of *Carya illinoensis*. The suitable pruning treatment of *Carya illinoensis* is girdling 3 mm or ringing 3 circles.

Key words: *Carya illinoensis*; girdling; ringing; growth; carbon-nitrogen metabolites

薄壳山核桃[*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch], 为胡桃科山核桃属植物, 原产于美国, 又名长山核桃、美国山核桃等。它是集果、材、油用为一体的优良树种^[1-2]。薄壳山核桃树体的顶端优势十分明显, 营养枝的伸长生长占优势, 抑制了营养枝上部的侧芽萌发成短枝, 进而影响短枝上的顶芽发

育形成雌花芽并结果这一过程^[3]。在种植果树过程中, 可以通过环剥和环割等修剪措施来抑制营养生长, 促进生殖生长^[4]。温吉华等^[5]发现环剥、环割处理能抑制幼旺李树枝条的生长, 促生短果枝, 提高李的单果重和产量。孙益林等^[6]对苹果幼树进行环剥、环割, 发现果实中的可溶性糖和淀粉含量显

收稿日期: 2017-02-27

基金项目: 江苏省林业三新工程项目[LYSX[2016]44]、国家林业局 948 项目“美国山核桃遗传资源及富根容器育苗技术引进”(2015-4-16)和江苏省高校优势学科项目(PAPD)共同资助。

作者简介: 邓秋菊, 硕士研究生。E-mail: 1906307731@qq.com

* 通信作者: 彭方仁, 教授, 博士生导师。E-mail: frpeng@njfu.edu.cn

著提高。目前果树关于环剥、环割的报道集中在苹果^[6-7]、龙眼^[8-9]、葡萄^[10-11]和柑橘^[12-13]上, 关于薄壳山核桃的研究较少, 张翔等^[14]对 5 年生薄壳山核桃嫁接苗的旺枝环剥 2 mm、环割 1 圈, 对其主干环剥 1/10、环割 1 圈, 研究了这些处理对薄壳山核桃叶片碳氮代谢物积累的影响, 但未比较不同圈数的环割和不同宽度的环割对枝条碳氮代谢物积累的影响。本试验以 5 年生薄壳山核桃幼树‘波尼’(‘Pawnee’)作为试材, 对新梢采取不同圈数的环割以及不同宽度的环剥, 观察其对薄壳山核桃新梢的生长和叶片中碳氮代谢物积累的影响, 以获得适宜的环割、环剥处理, 为指导生产实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

选取 5 年生薄壳山核桃幼树‘波尼’(‘Pawnee’)作为试材, 于 2015 年 5—11 月在南京绿亩薄壳山核桃科技有限公司六合基地进行试验。试验样地位于南京市六合区山北村(131°14′~132°37′N, 18°22′~119°14′E), 海拔 170 m, 年平均温度 15.2 °C, 年降水量为 1 058.8 mm。

1.2 方法

于 2015 年 5 月中旬选择植株中上部角度较直立、粗度约为 2 cm 的枝条, 按长度 40~45 cm 的规格进行挂牌标记, 对选择的新梢进行环剥和环割处理。(1) 环剥处理: 环剥 1mm (W1), 环剥 2 mm (W2)、环剥 3 mm (W3), 在新梢基部进行环剥, 深度达木质部但不伤及木质部。单株小区, 各处理选择 3 株, 每株上选择 12 个新梢进行处理, 共处理 9 株, 另外选择 3 株不作任何处理的植株作为对照, 每株视为 1 次重复。(2) 环割处理: 环割 1 圈 (Q1), 环割 2 圈 (Q2)、环割 3 圈 (Q3), 在枝条基部进行环割, 深度达木质部但不伤及木质部。单株小区, 各处理选择 3 株, 每株上选择 12 个新梢进行处理, 共处理 9 株, 另外选择 3 株不作任何处理的植株作为对照, 每株视为 1 次重复。

处理后于每隔 30 d 采集处理枝条第 2~4 节位之间羽状复叶的第 4~6 对叶片, 以单株为单位混合取样。采集的所有叶样于 105 °C 杀青 30 min, 然后在 80 °C 条件下干燥至恒质量; 叶片烘干后粉碎成粉末, 分别用于测定叶片的可溶性糖、淀粉、蛋白质和全 N 含量^[15], 并计算 C/N 比, 公式为: $C/N = (\text{可溶性糖含量} + \text{淀粉含量}) / \text{全 N 含量}$ 。

用 Excel 2007 进行数据统计分析、作图。采用

DPS 数据分析软件进行差异显著性(LSD 法)分析。

2 结果与分析

2.1 不同环剥宽度对枝条生长和碳氮代谢物积累的影响

2.1.1 不同环剥宽度对枝条生长的影响 从图 1 可见, 在进行不同宽度的环剥处理后, W1 处理的新梢长度小于 W2 和 W3, 但不同环剥宽度处理新梢的长度均低于对照组, 在处理 160 d 后, W1、W2 和 W3 处理新梢的长度比 CK 处理分别低了 1.15 cm、9.91 cm 和 14.79 cm。

对新梢进行不同圈数的环割处理后, 3 种不同圈数环割处理新梢的粗度均高于 CK 处理, 在进行处理后 120 d, 分别高于对照组 3.83 mm、3.81 mm 和 2.85 mm (见图 2)。

所以环剥抑制新梢的伸长生长, 有利于新梢粗度的生长。且随着环剥宽度的增加, 其程度越大。

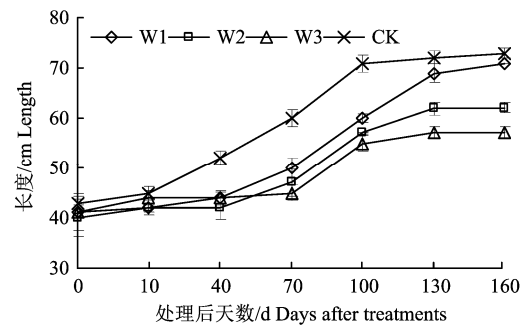


图 1 不同宽度环剥处理后新梢长度

Figure 1 The shoot length under different widths under different girdlings

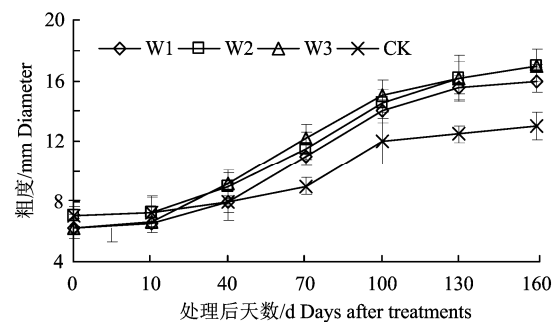


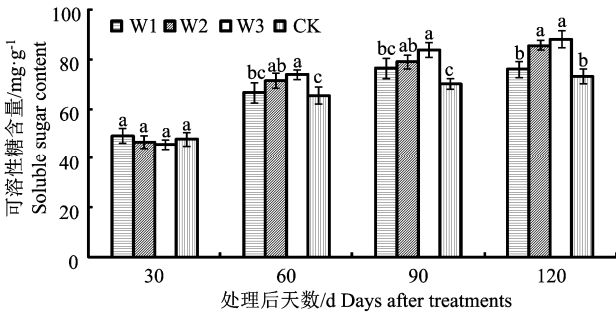
图 2 不同宽度环剥处理后新梢粗度

Figure 2 The diameter of shoot under different widths girdling

2.1.2 不同环剥宽度对碳氮代谢物积累的影响

(1) 可溶性糖含量。试验结果如图 3 显示, 随着处理天数的增加, 不同宽度环剥处理叶片的可溶性糖含量呈现逐渐上升的趋势, 且高于对照组。处理后 30 d 时, 3 种不同宽度环剥处理叶片中的可溶性糖含量与对照组之间不存在显著差异。之后 W1 与 CK

不存在显著性差异，W3 与 W2 之间不存在显著性差异，但是 W3 显著高于 W1 和 CK。W2 和 W3 在处理 120 d 后达到最大值，分别为 $88.12 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $85.62 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。



不同的小写字母代表不同处理在相同时间差异显著 ($P < 0.05$)。下同

Different small letters indicate the significant differences ($P < 0.05$) of different treatments at the same time. The same as below

图 3 不同宽度环剥处理后叶片可溶性糖含量

Figure 3 Soluble sugar content in leaves under different widths of girdling

(2) 淀粉含量。如图 4 中所示，在处理 30~90 d，随着处理天数的增加，不同宽度环剥处理叶片的淀粉含量呈现上升趋势。在处理 30 d，W2、W3 显著高于 W1 和 CK 处理，之后 W3 处理效果显著高于其他处理，叶片淀粉含量在处理 90 d 达到最大值， $54.42 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。但处理后 120 d，W3 处理叶片中的淀粉含量降至 $45.21 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，此时，淀粉含量较高的是 W2 处理的叶片，达到了 $50.28 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，显著高于其他处理及对照组。

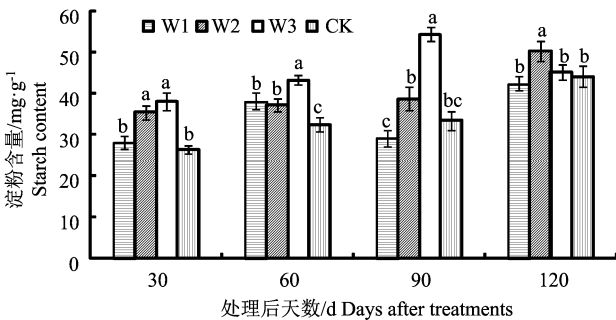


图 4 不同宽度环剥处理后叶片淀粉含量

Figure 4 Starch content in leaves under different widths of girdling

(3) 蛋白质含量。如图 5 所示，不同宽度环剥处理叶片蛋白质含量均呈现先升后降的趋势，W2、W3 和 CK 处理叶片蛋白质含量在处理 90 d 达到最高值，分别为 $1.33 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $1.56 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 1.45

$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，差异不显著，但显著高于对照组。在处理 120 d，蛋白质含量下降，W1、W2 和 W3 分别下降了 30.42%、28.94%和 37.05%，但不存在显著性差异，但 W2 与 W3 显著高于对照组。

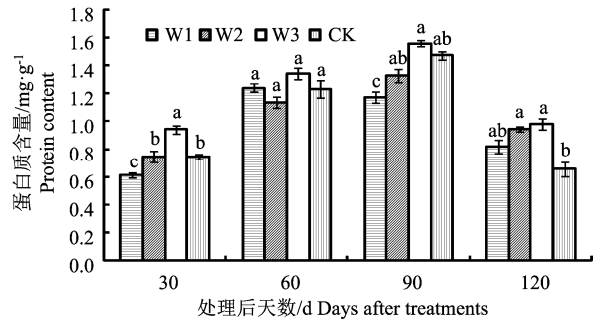


图 5 不同宽度环剥处理后叶片蛋白质含量

Figure 5 The protein content in leaves under different widths of girdling

(4) 全 N 含量。如图 6 所示，对照组处理叶片的全 N 含量在处理期间均显著高于不同环剥宽度处理的全 N 含量，在处理 120 d，W1 处理与对照组处理叶片的全 N 含量无显著性差异，W2 和 W3 处理之间也无显著性差异，但是 W1 和 CK 处理的全 N 含量显著高于 W2 和 W3。

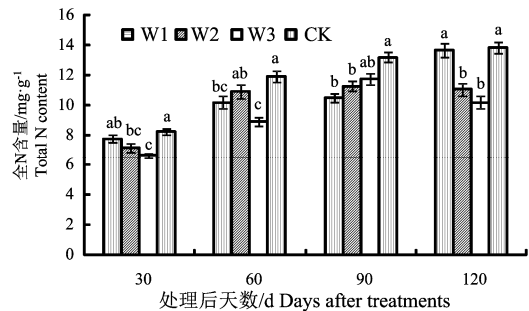


图 6 不同宽度环剥处理后叶片全 N 含量

Figure 6 The total N content in leaves under different widths of girdling

(5) C/N。不同宽度环剥处理叶片 C/N 比结果 (图 7) 显示，W1、W2 和 W3 环剥处理叶片 C/N 在处理 120 d 后均高于对照，可见环剥处理能提高薄壳山核桃幼树叶片的 C/N。在处理的整个过程中，不同处理及对照组的 C/N 基本没变。处理后 120 d，W2 和 W3 处理叶片 C/N 没有显著差异，但显著高于 W1 处理和对照，而 W1 处理叶片 C/N 和对照组不存在显著性差异，此时 W2 与 W3 处理叶片 C/N 分别为 12.28 和 13.09。

2.2 环割圈数对枝条生长和碳氮代谢物积累影响

2.2.1 环割圈数对枝条生长的影响 薄壳山核桃新

梢经 Q1、Q2 和 Q3 环割处理后长度变化见图 8, 新梢经不同圈数处理后, 其长度均低于对照组, 且 $Q1 > Q2 > Q3$, 处理 160 d 后, Q1、Q2 和 Q3 比对照组 CK 的新梢长度分别低 0.51 cm、4.95 cm 和 7.81 cm。

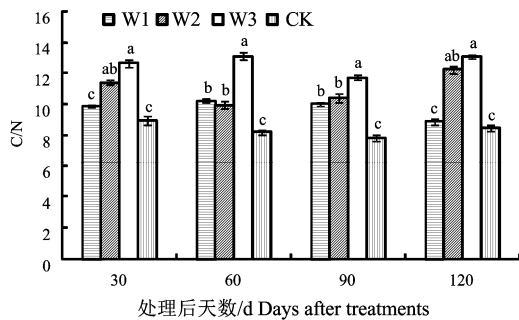


图 7 不同宽度环剥处理后叶片 C/N 比

Figure 7 The C/N ratio in leaves under different widths of ringling

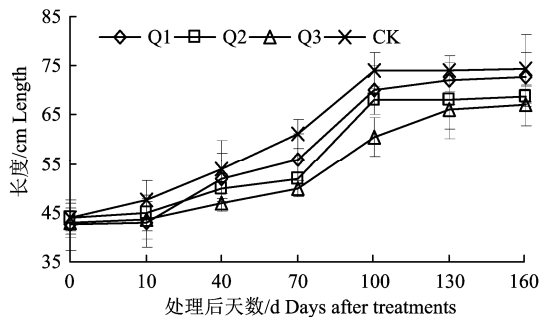


图 8 不同圈数环割处理后新梢长度

Figure 8 The shoot length under different circles of ringling

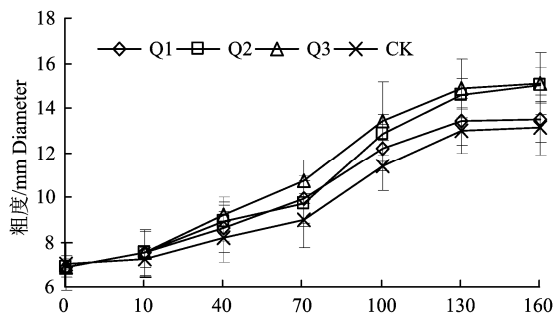


图 9 不同圈数环割处理后新梢粗度

Figure 9 The shoot diameter under different circles of ringling

由图 9 可知, 环割后新梢的粗度是 $Q3 > Q2 > Q1 > CK$, 处理 160 d 后, 粗度分别比对照组高 2.15 mm、2.07 mm 和 1.06 mm。

可见随着圈数增加, 环割处理抑制新梢枝条伸长和促进枝条增粗的效果越好。

2.2.2 环割圈数对碳氮代谢物积累的影响 (1) 可溶性糖含量。从图 10 可看出, 不同圈数环割处理枝条叶片的可溶性糖含量呈现逐渐上升的趋势, 且均高于对照组。说明环割处理能增加叶片可溶性糖含

量。处理后 30 d, 环割处理与对照组叶片可溶性糖含量没有显著性差异, 处理后 60 d, 3 种不同圈数环割处理叶片的可溶性糖含量显著高于对照, Q2 和 Q1 处理的可溶性糖含量均于处理后 90 d 达到最大值, 分别为 73.62 和 69.26 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。处理后 120 d, Q3 处理叶片可溶性糖含量达到最大值, 显著高于其他处理及对照组, 为 81.51 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

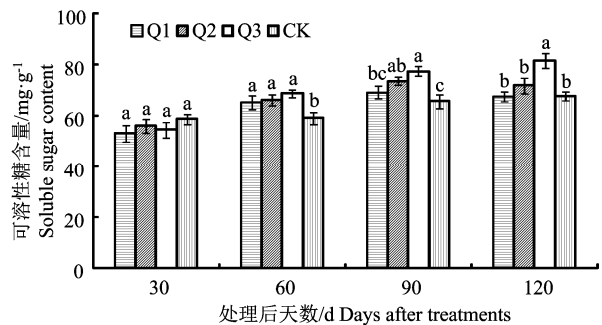


图 10 不同圈数环割处理后叶片可溶性糖含量

Figure 10 The soluble sugar content in leaves under different circles of ringling

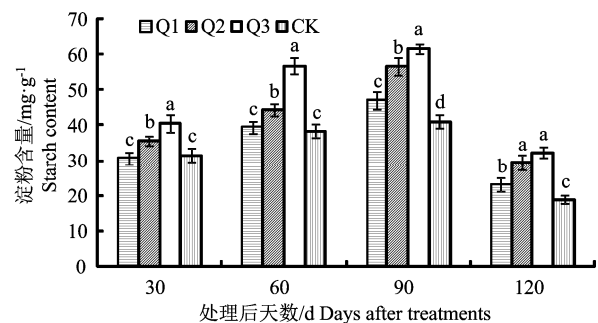


图 11 不同圈数环割处理后叶片淀粉含量

Figure 11 The starch content in leaves under different circles of ringling

(2) 淀粉含量。不同圈数环割处理枝条叶片的淀粉含量呈现先升后降的趋势 (图 11)。整体水平为 $Q3 > Q2 > Q1 > CK$, 处理后 30~90 d, Q3 显著高于其他处理, 处理后 90 d 达到最大值, 为 61.64 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$; 处理后 120 d, Q2 处理与 Q3 处理叶片淀粉含量显著高于 Q1 和对照组, 分别为 29.31 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 32.21 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 但两者之间不存在显著差异性, Q1 处理的叶片淀粉含量在处理 30 d 和 60 d 和对照的差异不明显, 处理后 90 d 淀粉含量达到最大值为 46.92 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

(3) 蛋白质含量。如图 12 所示, 不同圈数环割处理枝条叶片的蛋白质含量随处理天数呈现先升后降的趋势, Q3 的枝条叶片蛋白质含量整体高于其他处理, 处理后 90 d 显著高于其他组, 达到最大值为 1.45 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$; 处理后 30 d, Q2 枝条叶片蛋白质含

量低于对照, 处理后 60~120 d 均高于对照, 最大值为 $1.32 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, Q1 处理在整个观察时期中, 其叶片蛋白质含量与对照组无显著性差异。

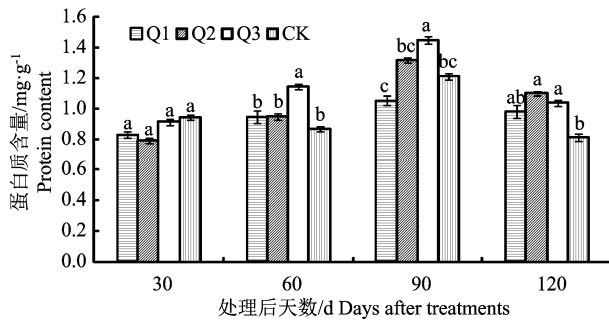


图 12 不同圈数环割处理后叶片蛋白质含量

Figure 12 The protein content in leaves under different circles of ringing

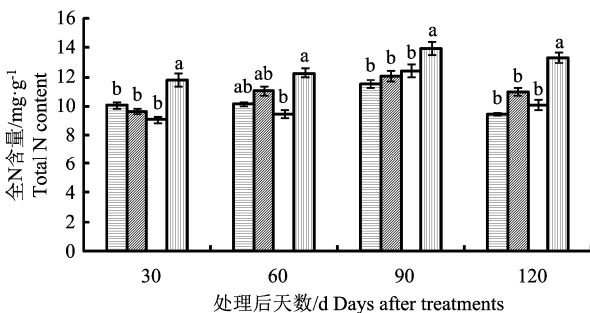


图 13 不同圈数环割处理后叶片全 N 含量

Figure 13 The total N content in leaves under different circles of ringing

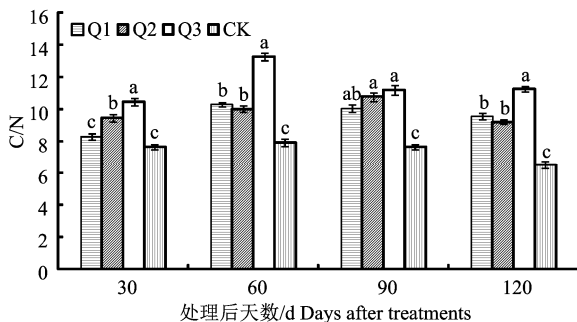


图 14 不同圈数环割处理后叶片 C/N 比

Figure 14 The C/N ratio in leaf under different circles of ringing

(4) 全 N 含量。如图 13 所示, 所有处理组叶片全 N 含量均先上升后下降, 对照组叶片全 N 含量均显著高于 Q1、Q2 和 Q3 处理。3 种环割处理之间不存在显著的差异, 即环割处理并没有使得叶片中的全 N 含量增加, 且不同圈数的环割处理对全 N 含量也没有影响。在处理 90 d 后, 处理组的叶片全 N 含量均达到最大值。

(5) C/N。不同圈数环割处理叶片 C/N 比见图 14, Q1、Q2 和 Q3 处理枝条叶片 C/N 在处理 30~

120 d 均高于对照。处理后 30 d, Q2、Q3 处理叶片 C/N 显著高于 Q1 和对照组; 处理后 60 d, Q2 和 Q1 环割处理叶片 C/N 比没有显著差异, 但均显著小于 Q3 处理, Q3 处理叶片 C/N 为 13.27; 处理后 90 d, 不同圈数环割处理叶片 C/N 没有显著差异但均显著高于对照, 其中 Q3 处理在此时叶片 C/N 最大, 为 11.20; 处理后 120 d, Q2 和 Q1 处理叶片 C/N 没有显著差异, 但均显著低于 Q3 处理, 此时不同圈数环割处理叶片 C/N 均显著高于对照。

3 讨论与结论

3.1 环剥、环割对枝条生长的影响

环剥、环割处理通常是通过切断皮层和韧皮部来中断光合产物向根部输送, 迫使根部处于饥饿状态, 另外促进树体上部对有机营养的积累, 从而抑制新梢的营养生长, 促进生殖生长^[3]。

试验结果表明对薄壳山核桃树体进行不同宽度的环剥处理和不同圈数的环割处理后, 新梢枝条伸长生长受到了抑制, 粗度增加。莫伟平等^[16]和王丽敏等^[17]也研究发现新梢环剥能显著抑制荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 新梢生长。陈尧荣^[18]发现环割抑制了芙蓉李幼旺树的枝条旺长, 减少了中长果枝抽生量。在该试验中, 随着环剥宽度的增加和环割圈数的增加, 影响效果也增加, 但环剥 3 mm 和环剥 2 mm 处理, 以及环割 3 圈和环割 2 圈后对枝条长度和粗度影响整体差异不大。

3.2 环剥、环割对叶片碳氮代谢物积累的影响

环剥、环割通过中断有机物向下运输, 使枝叶更好地积累碳水化合物, 提高 C/N 比, 从而使薄壳山核桃及时进入生殖生长, 更好进行花芽分化, 为早熟丰产奠定基础^[14]。

环剥 3 mm 处理的叶片可溶性糖含量、淀粉含量、蛋白质含量和 C/N 比高于其他处理和对照。随着环剥程度的加深, 处理枝条叶片蛋白质含量基本呈现逐渐增加的趋势。研究发现不同宽度环剥处理枝条叶片 C/N 比值均高于对照, 环剥处理提高了叶片 C/N 比^[19]。环剥主要是在主干或者枝条上移除部分韧皮部, 阻断同化物通过韧皮部向下运输^[20], 环剥的效果主要是促进光合产物的积累。本研究结果显示环剥的程度越大, 伤口的愈合时间越长, 拦截同化产物的时间越长, 则积累的光合产物也越多。但剥口过宽, 可能导致枝条发育不良导致叶片出现黄化。所以在生产实践中对 5 年生‘波尼’处于花期时对新梢可采取环剥 2 mm 处理以促进结果枝的形成。

不同圈数环割处理枝条叶片的可溶性糖含量、淀粉含量、蛋白质含量和 C/N 比呈现不同变化趋势。整体来说环割 3 圈处理的叶片可溶性糖含量和淀粉含量要高于环割 2 圈和环割 1 圈处理, 而环割 2 圈和环割 1 圈的枝条叶片蛋白质含量分别在处理后 60 d 和 120 d 高于对照; 不同圈数环割处理后叶片 C/N 比值均高于对照。由结果可知薄壳山核桃新梢环割处理后叶片中可溶性糖和淀粉含量均增加, 且环割处理后叶片中 C/N 比也高于对照, 这与金磊^[21]和张翔等^[14]的研究结果一致。张翔等^[14]在对薄壳山核桃枝条和主干分别进行环剥和环割处理后, 其促进了‘马罕’叶片中碳水化合物和碳素营养成分的积累, 且主干环剥处理的效果优于主干环割处理。环割枝条叶片可溶性糖和淀粉含量随环割圈数增多而逐渐上升, 这可能与伤口的愈合时间有关^[6], 环割 1 圈伤口愈合快, 环割 2、3 圈伤口愈合比环割 1 圈处理慢, 对光合产物的拦截作用持续时间更长。说明了同化产物的积累与伤口愈合时间有关, 环割的程度越大, 伤口的愈合时间越长, 拦截同化产物的时间越长^[6]。在生产实践上建议在花期对 5 年生‘波尼’采用环割 3 圈对枝条进行处理, 从而促进叶片碳水化合物的积累。

参考文献:

- [1] 彭方仁, 李永荣, 郝明灼, 等. 我国美国山核桃薄壳山核桃生产现状与产业发展策略[J]. 林业科技开发, 2012, 26(4): 1-4.
- [2] CONNER P J. Pecan breeding review[J]. Pecan South, 2012, 45(4): 34-44.
- [3] HERRERA E A, ESPARZA V. Influence of pruning methods on tree growth and early nut production of mature transplanted pecan trees [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch][J]. Phyton, 2000, 66: 119-127.
- [4] ZHANG R, PENG F R, YAN P, et al. Effects of root pruning on germinated pecan seedlings[J]. HortScience, 2015, 50(10):1549-1552.
- [5] 温吉华, 高坤金. 幼旺李树环剥, 环割, 绞缢试验[J]. 河北果树, 2002 (2): 9-10.
- [6] 孙益林, 李宁宁, 刘鲁玉, 等. 环割与环剥对苹果幼树
- 树体营养的影响[J]. 中国果树, 2014 (1): 17-21.
- [7] 郑秀影. 怎样做好苹果树环剥[J]. 落叶果树, 2016, 48(5):68-68.
- [8] 张义刚, 杨世勇, 王虹, 等. 螺旋环剥, 环割处理对龙眼幼树的控梢促花效应研究[J]. 西南农业学报, 2012, 25(4): 1522-1524.
- [9] 吴定尧, 邱金淡, 张海岚, 等. 环割促进龙眼成花的研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(6): 40-43.
- [10] 陈锦永, 方金豹, 顾红, 等. 环剥和 GA 处理对红地球葡萄果实性状的影响[J]. 果树学报, 2005, 22(6): 610-614.
- [11] 陈锦永, 顾红, 张威远, 等. 环剥和红提大宝处理对红地球葡萄果实性状的影响[J]. 河南农业科学, 2009, 38(11): 105-107.
- [12] 李秀姣. 柑橘环割/环剥促花技术要点[J]. 广西园艺, 2002, 44(5): 44-45.
- [13] 吴黎明, 蒋迎春, 周民生, 等. 环割对金水柑树体生长、树体营养及果实品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(11): 2762-2766.
- [14] 张翔, 翟敏, 徐迎春, 等. 不同修剪措施对薄壳山核桃枝条生长及枝条和叶片碳氮代谢物积累的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(3): 86-93.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 高等教育出版社, 2000.
- [16] 莫伟平, 周琳耀, 张静逸, 等. 遮荫和环剥对荔枝枝梢生长和光合生理的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(1): 117-124.
- [17] 王丽敏, 王惠聪, 李建国, 等. 枝梢环剥对荔枝新梢生长和叶片矿质营养的影响[J]. 果树学报, 2010, 27(2): 257-260.
- [18] 陈尧荣. 芙蓉李幼旺树环剥, 环割试验[J]. 闽东农业科技, 2005 (1): 26-27.
- [19] LI C B, XIAO Y. Girdling increases yield of ‘Nuomici’ litchi[J]. Acta Horticulture, 2001, 558: 233-235.
- [20] MICHAEL D, JUDY S, RAINER G, et al. Tree girdling provides insight on the role of labile carbon in nitrogen partitioning between soil micro organisms and adult European beech[J]. Soil Biol Biochem, 2009, 41(8): 1622-1631.
- [21] 金磊. 环割、环剥对杨梅树体生长、营养、光合特性及品质的影响[D]. 福州: 福建农林大学园艺学院, 2007: 42-50.