



廖志鹏, 邹中华, 胡冬南, 等. 环割时间和弧度对盛果期油茶树体营养分配及结实的影响[J]. 江西农业大学学报, 2024, 46(5): 1244–1255.

LIAO Z P, ZOU Z H, HU D N, et al. Effects of ring-cutting time and arc on nutrient allocation and fruiting of *Camellia oleifera* trees in full-fruiting season[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2024, 46(5): 1244–1255.

环割时间和弧度对盛果期油茶树体营养分配及结实的影响

廖志鹏¹, 邹中华², 胡冬南¹, 谢双岭¹, 王毓曼¹, 廖康平¹, 刘 阳¹, 游 璐^{3*}

(1. 江西农业大学 亚热带森林资源培育江西省重点实验室/林学院, 江西 南昌 330045; 2. 江西省新余市林业局, 江西 新余 336500; 3. 江西农业大学 教务处, 江西 南昌 330045)

摘要:【目的】为探明环割时间和弧度对盛果期油茶养分分配及结实的影响, 阐明树体养分与果实生长之间的关系。【方法】于11月份盛花期和次年3月份春梢萌发前对7年生油茶分别进行180°、360°环割处理, 环割口愈合前(5月份)、愈合后(7月份、8月份、10月份)分别调查测定各器官氮磷钾养分、可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性淀粉含量及单株果实数量、单果质量、产量, 并进行分析。【结果】(1)不同条件下环割均提高了环割伤口愈合前根系无机养分以及果实膨大期叶片磷、钾、有机营养含量; 同时降低了叶片氮及果实成熟期叶片可溶性糖、可溶性淀粉含量。(2)环割弧度相比环割时间, 对油茶叶、根营养物质含量的影响更为显著。(3)春梢萌发前360°环割减少了油茶初期落果, 提高了坐果率, 增加了单株挂果数和单株鲜果产量, 但其果实更小更轻。(4)油茶落果与叶、根营养间相关性不显著, 但果实产量与部分叶、根营养间存在有明显的协同与拮抗关系。(5)适宜的环割处理通过增加油茶根系全钾、叶片全磷、叶片可溶性糖含量并降低根系可溶性淀粉含量显著提高坐果率及单株产量。【结论】油茶春梢萌发前360°环割有利于叶片对果实膨大期可溶性糖、果实快速生长期可溶性蛋白以及根系氮、磷、钾养分的积累, 可促进挂果, 减少落果, 对油茶的促产效果最好。

关键词:油茶; 环割; 树体养分; 产量

中图分类号: S723.9 文献标志码: A

文章编号: 1000-2286(2024)05-1244-12

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of ring-cutting time and arc on nutrient allocation and fruiting of *Camellia oleifera* trees in full-fruiting season

LIAO Zhipeng¹, ZOU Zhonghua², HU Dongnan¹, XIE Shuangling¹,
WANG Yuman¹, LIAO Kangping¹, LIU Yang¹, YOU Lu^{3*}

收稿日期: 2024-01-18 修回日期: 2024-04-07

基金项目: 中央财政林业科技推广示范项目(JXTG[2023]12号)、江西省重点研发计划“揭榜挂帅”项目(20223BBF61012)和国家自然科学基金项目(32060362)

Project supported by the Forestry Science and Technology Extension Demonstration Project of Central Finance (JXTG [2023] No.12), Key R&D Plan Unveiling and Leading Projects in Jiangxi Province (20223BBF61012) and National Natural Science Foundation of China (32060362)

作者简介: 廖志鹏, 硕士生, orcid.org/0009-0006-4461-0662, zhipengl36@163.com; *通信作者: 游璐, 助理研究员, 主要从事经济林研究, orcid.org/0009-0003-8263-994X, 1131463207@qq.com。

©《江西农业大学学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

(1. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Subtropical Forest Resources Silviculture, College of Forest, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Forestry Bureau of Xinyu City, Jiangxi Province, Xinyu 336500, China; 3. Academic Affairs Office, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: [Objective] This study aims to investigate the effects of ring-cutting time and arc on nutrient partitioning and fruit set in *Camellia oleifera* at the peak fruiting stage, thus elucidating the relationship between tree nutrients and fruit growth. [Method] The 7-year old *Camellia oleifera* was subjected to 180° and 360° ring-cutting treatments in November during the blooming period and in March of the following year before the spring tip sprouting, respectively. Nitrogen, phosphorus and potassium nutrients, soluble sugar, soluble protein and soluble starch contents of each organ, as well as the number of fruits per plant, the weight of fruits per plant and yield were determined and analyzed in different treatments before the ring cuts healed (May), and after the healing (July, August and October). [Result] (1) Ring cutting under different conditions increased the inorganic nutrients in the root system before ring healing as well as the phosphorus, potassium and organic nutrient contents of the leaves during the fruit expansion stage; In addition, it decreased the leaf nitrogen as well as the soluble sugar and soluble starch contents of the leaves during the fruit ripening stage. (2) The effect of ring-cutting arc was more pronounced than ring-cutting time on the nutrient content of *Camellia oleifera* leaves and roots. (3) 360° ring cutting before spring tip emergence reduced the initial fruit drop of *Camellia oleifera*, improved the fruiting rate, and increased the number of fruits hanging on a single plant and the fresh fruit yield of a single plant, but its fruits were smaller and lighter. (4) The correlation between *Camellia oleifera* fruit drop and leaf and root nutrition was not significant, but there was a significant synergistic and antagonistic relationship between fruit yield and some leaf and root nutrition. (5) Suitable ring-cutting treatments significantly increased fruit set and yield per plant by increasing total potassium, leaf total phosphorus, leaf soluble sugar content and decreasing root soluble starch content in *Camellia oleifera* roots. [Conclusion] 360° ring cutting of *Camellia oleifera* before spring sprout is conducive to the leaf accumulation of soluble sugar, soluble protein for fruit rapid growth period, as well as the accumulation of nitrogen, phosphorus, potassium nutrients in the root system. It can promote the hanging of the fruit, reduce the fruit drop, the best effect on the production of *Camellia oleifera*.

Keywords: *Camellia oleifera*; ring cutting; tree nutrient; yield

【研究意义】油茶(*Camellia oleifera* Abel)为山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia* L.)常绿小乔木或灌木,是我国特有的优质食用木本油料树种,广泛分布于我国南方地区^[1]。油茶不饱和脂肪酸的含量高达90%,营养丰富耐储存,具有极高的实用和经济价值,但油茶在生长过程中普遍存在着花多果少的现象,使得油茶产量较低,严重制约了油茶产业的发展^[2]。而造成这一现象的主要原因之一是油茶树体间养分调控的不平衡、不科学。研究油茶养分分配特征及养分物质运输规律,能为其栽培经营管理和提高油茶产量方面提供理论与实践依据^[3]。【前人研究进展】环割是果树常用的生长发育的物理调控手段,主要是在主干或者枝条上切断韧皮部,阻断同化物经韧皮部向下运输,在控制果树营养生长、矿质元素运输、促花促果上有较好的效果^[4]。Choi等^[5]研究表明“Fuyu”柿树环剥后显著降低了叶片的N、P和Mg含量,而对叶片中K和Ca含量无显著影响;陈惠敏^[6]研究表明环割处理不同程度上降低了柑橘叶片中N、P、K和Mg含量,但对叶片中Ca含量无显著影响。涂美艳等^[7]研究表明对猕猴桃主干环割可显著提高结果蔓可溶性蛋白和可溶性糖含量,环割3周对结果蔓可溶性蛋白、可溶性糖含量提升效果最显著。

【本研究切入点】近年来,环割在苹果、柑橘、葡萄、枣等各类果树上进行了较多的研究,大部分研究集中于环割对于果树生长和果实品质的影响^[8-10],而针对油茶环割的研究还相对较少。【拟解决的关键问题】研究以江西主栽的油茶良种为试验材料,通过分析不同环割时间和环割弧度对盛果期油茶年生长周期内树体养分及果实产量的影响,旨在总结出一套能有效促进油茶增产增效的环割方法,以期对环割处理下油茶树体养分调控情况提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验样地与试验材料

试验样地位于江西农业大学科技园(28°45'N, 115°50'E), 海拔46 m, 该地属亚热带季风气候区, 气候温暖湿润, 日照充足, 雨水充沛, 年平均气温17.1~17.8℃, 年平均降水量1 567.7~1 654.7 mm, 栽种区土壤类型为红壤, 是油茶适生区。试验选用材料为7年生“长林”系列油茶, 油茶株行距为2 m×3 m, 参与环割试验的油茶长势较为一致, 管理措施相同。

1.2 试验设计与方法

试验采用单因素完全随机试验设计, 于11月中旬油茶盛花期或次年3月上旬春梢萌发前两个时期环割360°或180°, 即次年3月份春梢萌发前环割180°(T₁)、次年3月份春梢萌发前环割360°(T₂)、盛花期环割180°(T₃)、盛花期环割360°(T₄), 同时设置不环割对照(T₅), 共5个处理。每个处理选取12棵长势均一、无病虫害的油茶, 4株一重复, 重复3次, 共计60株油茶。环割部位均为油茶主干上距离分支点15~20 cm的位置, 环割宽度为3 mm。

1.3 试验采样与测定方法

于2020年11月上旬, 每棵试验株选取东、南、西、北4个标准枝挂牌(保证每个标准枝枝梢存在花芽50个以上), 统计标准枝上的花芽数, 并在2021年3月份、5月份、8月份、10月份的下旬统计其上果实数量。坐果率=(标准枝上果实数/标准枝上花芽数)×100%, 落果率=(掉落的果实数/全部果实数)×100%。测产工作于2021年10月23日分单株进行, 统计每株油茶单株果实数量和产量。

2021年环割口愈合前的5月份、愈合中的7月份和8月份、愈合后的10月份采取叶、根样品测定无机和有机营养。叶片分处理分重复从每株油茶东、南、西、北4个方向标准枝上选取第3片功能叶采集, 采集完成后混合待用; 根系样品挖取的为土壤0~40 cm深的细根, 同样每处理每重复取一混合样。样品带回实验室洗净, 105℃杀青30 min, 80℃烘箱内烘干至恒重, 磨成粉末状后装袋待用。根、叶样品无机营养的测定先采用H₂SO₄-H₂O₂法消化, 然后采用全自动间断分析仪(Smartchem 200, AMS, 意大利)测定全氮含量^[11], 采用钼锑钒比色法利用紫外分光光度计(GENESYS 180, 上海, 中国)测定全磷含量^[12]; 采用火焰光度计法利用火焰光度计(FP6400, 上海, 中国)测定全钾含量^[13]。有机营养测定则采用干样测定, 其中可溶性糖和可溶性淀粉含量采用蒽酮乙酸乙酯法进行测定^[14], 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝-G250法进行测定^[15]。

1.4 数据处理分析

使用Excel 2019对数据进行整合, Statistics SPSS 26软件对数据进行方差分析和相关性分析, DUN-CAN'S法进行多重比较; SigmaPlot12.5软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 环割对油茶不同时期氮磷钾养分含量的影响

2.1.1 环割对油茶不同时期叶片无机养分含量的影响

油茶叶片无机养分含量的双因素方差分析结果(表1)表明, 不同环割处理和采样时间均对春梢叶片氮、磷、钾含量存在极显著影响($P<0.001$), 环割处理与采样时间对磷和钾养分含量的交互作用也达到极显著水平($P<0.001$)。

表1 油茶叶片无机养分含量的双因素方差分析结果(P 值)

Tab.1 Two-factor ANOVA results of inorganic nutrient content of *C. oleifera* leaves

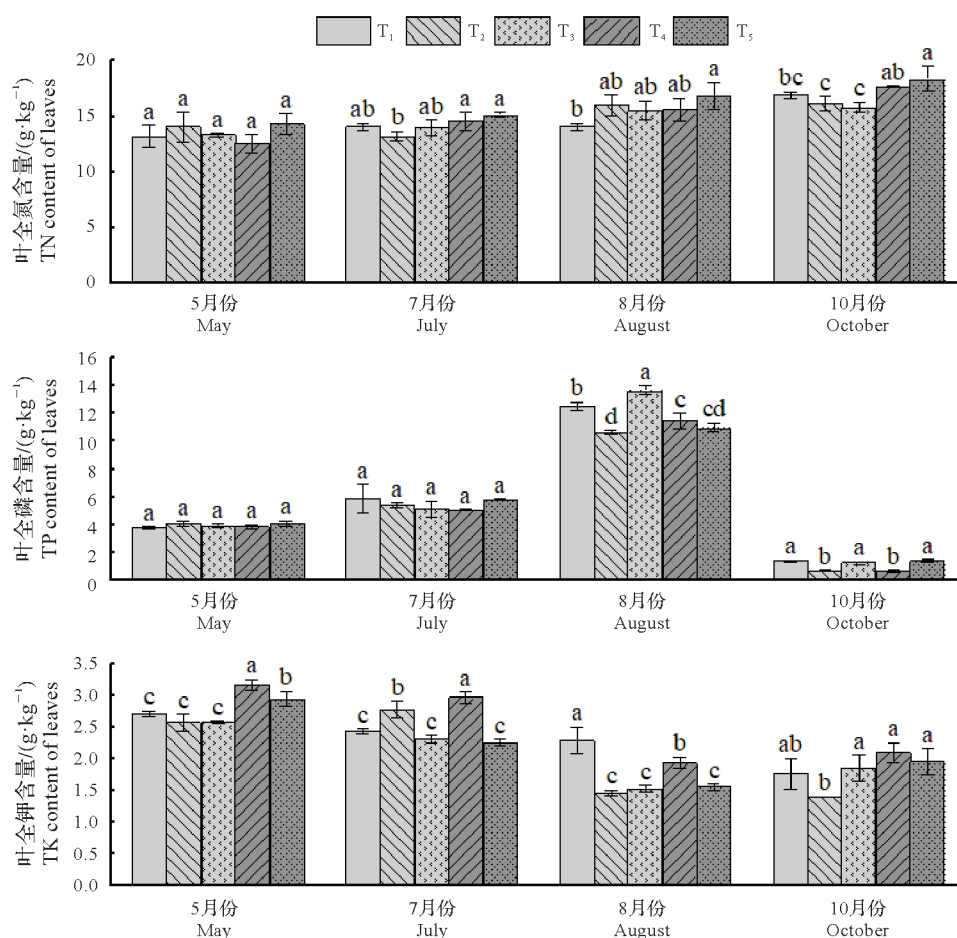
项目 Items	氮养分 Nitrogenous nutrient	磷养分 Phosphorus nutrient	钾养分 Potassium nutrient
处理 Treatments	0.001	<0.001	<0.001
时间 Time	<0.001	<0.001	<0.001
处理×时间 Treatments×Time	0.126	<0.001	<0.001

图1是各处理油茶5、7、8、10月份时春梢叶片氮、磷、钾养分含量的多重比较结果。从图中可以看出, 5月份环割口还未愈合, 春梢叶片完全长成, 各环割处理叶片氮、磷含量差异不明显, 但钾含量以盛花期360°环割的T₄明显最高, 其次为不环割的T₅。

7月份环割口愈合已接合并处于修复中,各处理春梢叶片中的氮含量变化不是很大,仍是 T_5 最高;磷含量均略有上升,但处理间差异不明显;钾含量因环割处理不同呈现不同变化,其中 360° 环割的 T_2 和 T_4 变化很小,另两个 180° 环割的 T_1 和 T_3 含量有一定幅度下降, T_5 的下降幅度最大,明显低于 T_2 和 T_4 处理, T_4 处理的含量明显高于其他各处理。

8月份环割口已完全愈合,果实进入快速生长期,花芽也处于生长中,叶片氮、磷、钾养分积累的同时向花芽和果实转移,此时除 T_1 外,各处理叶片的氮含量均略有上升, T_1 与 T_5 差异达到显著水平;8月份各处理春梢叶片磷含量大幅上升,4个环割处理间的差异均达到显著水平,由大到小依次为 T_3 、 T_1 、 T_4 和 T_2 ,其中 T_3 、 T_1 明显高于 T_5 ;除 T_1 处理外,8月份叶片中的钾含量较前期大幅下降,此时 T_1 叶片钾含量明显较其他各处理高,其次是 T_4 处理,与另3个处理间差异明显。

到10月份,各处理氮含量仍在增加,且还是 T_5 最大,明显高于 T_1 、 T_2 、 T_3 处理;磷含量变得很低,表现为 360° 环割的处理明显比另3个处理更低;钾含量则以 T_2 明显最低, T_3 、 T_4 与 T_5 差异不明显。



图中 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 处理分别代表春梢萌发前 180° 环割、春梢萌发前 360° 环割、盛花期 180° 环割、盛花期 360° 环割和对照;TN、TP、TK分别代表全氮、全磷、全钾。小写英文字母不同表示两处理间在误差0.05水平下差异显著。样本数 $n=3$ 。

Treatments T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , and T_5 represent 180° ring cutting before germination of spring shoot, 360° ring cutting before germination of spring shoot, 180° ring cutting at full flowering stage, 360° ring cutting at full flowering stage, and control, respectively; TN, TP, and TK represent total nitrogen, total phosphorus, and total potassium, respectively; different lower-case letters indicate that the two treatments are significantly different from each other at the 0.05 level. The number of samples in each group is 3.

图1 不同环割处理对油茶不同时期叶片无机养分含量的影响

Fig.1 Effects of different ring-cutting treatments on inorganic nutrient content of *C. oleifera* leaves at different times

2.1.2 环割对油茶不同时期根系无机养分含量的影响

环割处理下不同时期油茶根系无机养分含量的双因素方差分析结果(表2)表明,不同环割处理和采样时间对油茶根系无机养分含量均存在极显著影响($P<0.001$)。

表 2 油茶根系无机养分含量的双因素方差分析结果(P 值)
Tab.2 Two-factor ANOVA results of inorganic nutrient content of *C. oleifera* roots

项目 Items	氮养分 Nitrogenous nutrient	磷养分 Phosphoruss nutrient	钾养分 Potassium nutrient
处理 Treatments	<0.001	<0.001	<0.001
时间 Time	<0.001	<0.001	<0.001
处理×时间 Treatments×Time	<0.001	<0.001	<0.001

由图 2 可知,根系各无机养分含量总体上呈先上升后下降的变化趋势,但变化幅度与环割处理有关。5 月份时各环割处理根系氮、磷、钾含量均高于 T₅处理,磷含量差别不大。到 7 月份时,360°环割的 T₂、T₄处理氮、钾含量明显高于另 3 个处理,磷含量则以 T₅处理明显更高。

8 月份环割口完全愈合,养分运输恢复正常,盛花期 360°环割的 T₄处理根系氮、磷、钾含量均最高,与不环割处理 T₅差异明显。10 月份随着果实进入油脂转化期和花芽快速生长期,各处理根中的氮、磷、钾含量均较前期有不同程度下降,特别是磷含量急剧减少,此时 T₄处理的氮、钾含量仍显著高于其他各处理。

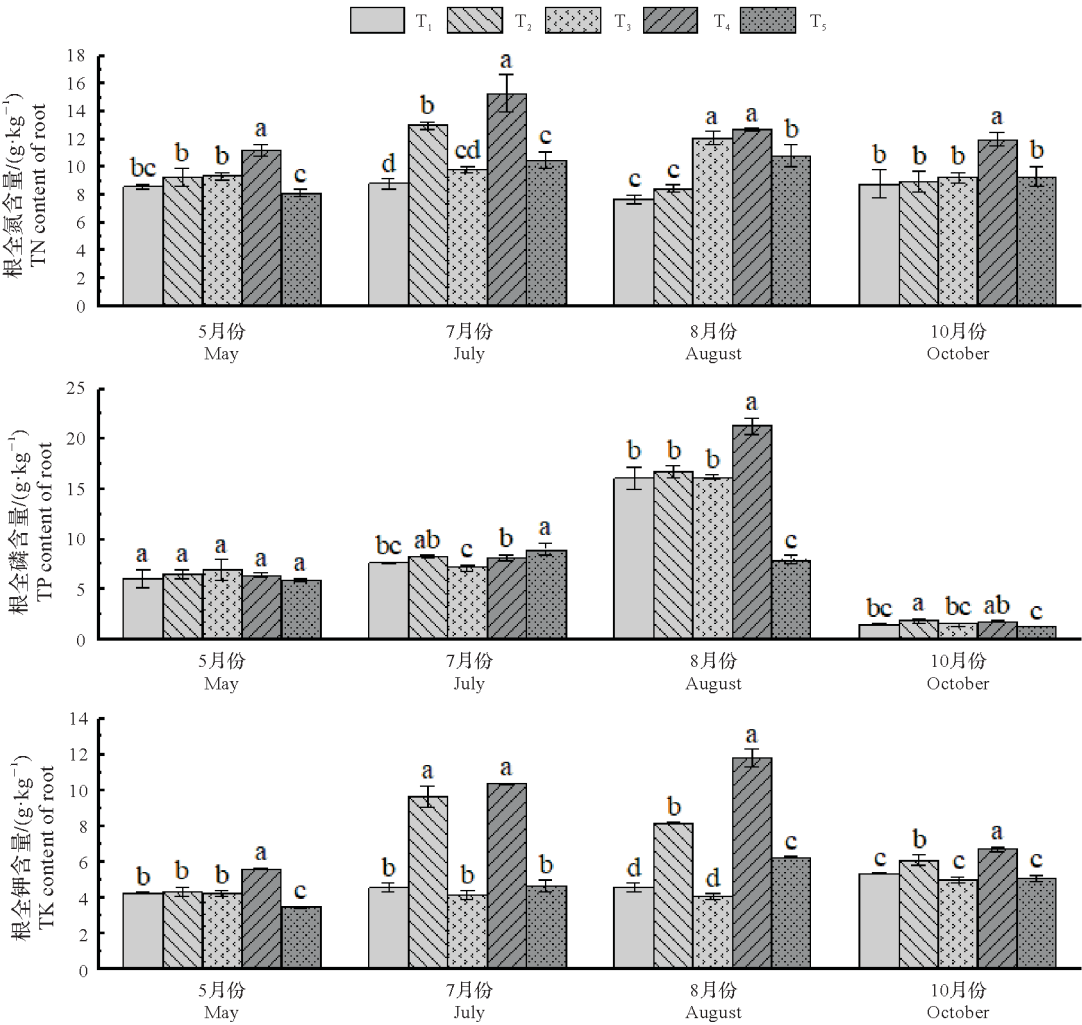


图 2 不同环割处理对油茶不同时期根系无机养分含量的影响
Fig.2 Effects of different ring-cutting treatments on inorganic nutrient content of *C. oleifera* roots at different time periods

2.2 环割对油茶不同时期有机营养含量的影响

2.2.1 环割对油茶不同时期叶片有机营养含量的影响

油茶叶片有机营养含量的双因素方差分析结果(表 3)表明,不同环割处理和采样时间对油茶叶片可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性淀粉含量存在极显著影响($P<0.001$)。

表3 油茶叶片有机营养含量的双因素方差分析结果(P值)

Tab.3 Two-factor ANOVA results of organic nutrient content of *C. oleifera* leaves

项目 Items	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性淀粉 Soluble starch
处理 Treatments	<0.001	<0.001	<0.001
时间 Time	<0.001	<0.001	<0.001
处理×时间 Treatments×Time	<0.001	<0.001	<0.001

由图3可知,油茶叶片可溶性糖含量整体受环割时间的影响更大。春梢萌发前环割的T₁、T₂处理油茶叶片可溶性糖含量随割口愈伤形成到完全愈合,呈先上升后下降趋势;而盛花期环割的T₃、T₄2个处理呈下降趋势,不环割处理T₅则到10月份还略有上升。5月份春梢叶片生长结束和10月份果实成熟时,T₁、T₂2个处理叶片积累的可溶性糖含量均显著低于T₅处理,而在果实膨大和油脂转化的8月份明显较T₅更高。

油茶生长过程中各环割处理下的油茶叶片可溶性蛋白含量总体上均高于对照处理,其中以T₄整体更高。叶片中的可溶性淀粉含量在10月份之前均以T₁处理明显最高,10月份各环割处理叶片可溶性淀粉含量均明显低于T₅。

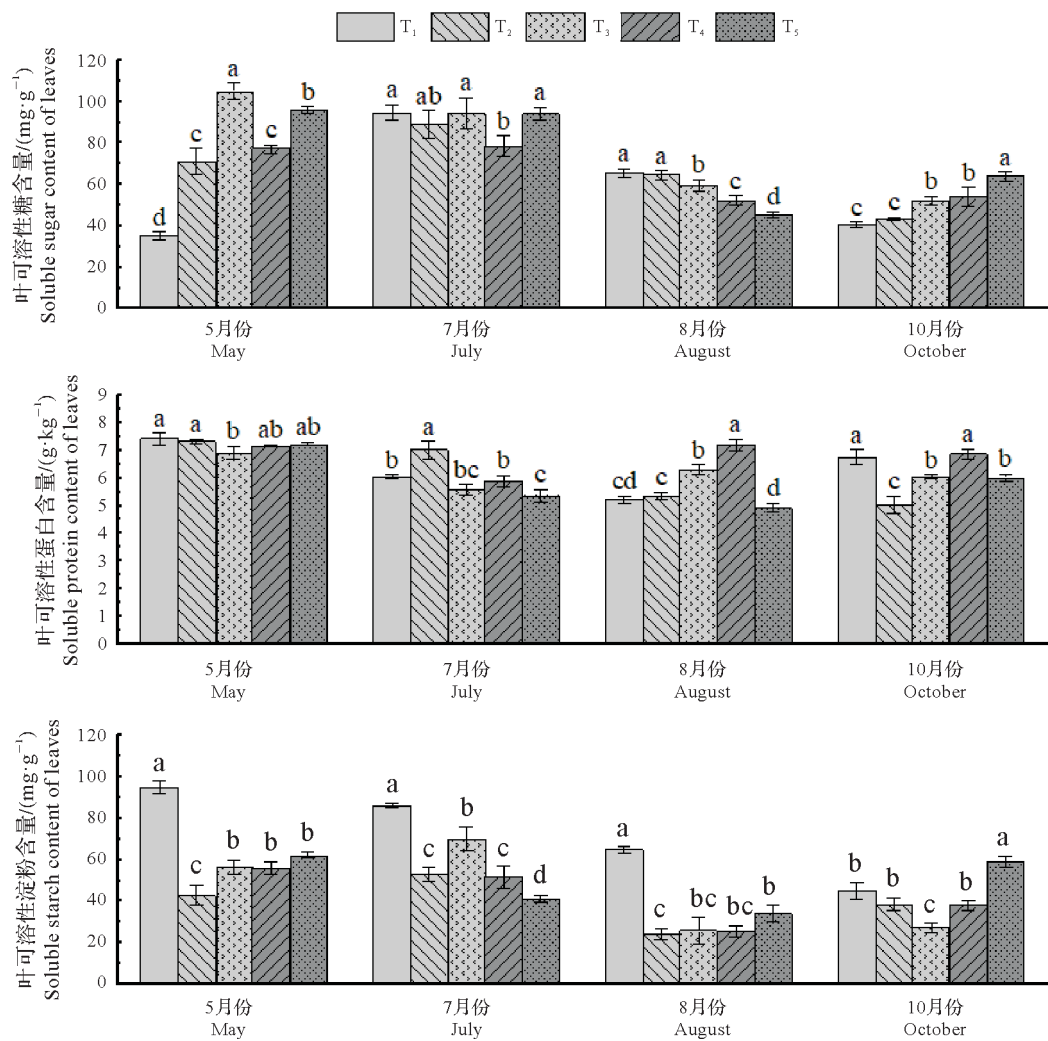


图3 不同环割处理对油茶不同时期叶片有机营养含量的影响

Fig.3 Effects of different ring cutting treatments on the organic nutrient content of *C. oleifera* leaves at different periods of time

2.2.2 环割对油茶不同时期根系有机营养含量的影响

油茶根系各有机营养含量的双因素方差分析结果(表4)表明,不同环割处理和采样时间对油茶根系可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性淀粉含量存在着极显著影响($P<0.001$)。

表 4 油茶根系有机营养含量的双因素方差分析结果(P 值)

Tab.4 Two-factor ANOVA results of organic nutrient content of *C. oleifera* roots

项目 Items	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性淀粉 Soluble starch
处理 Treatments	<0.001	<0.001	<0.001
时间 Time	<0.001	<0.001	<0.001
处理×时间 Treatments×Time	<0.001	<0.001	<0.001

由图 4 可知, T_3 处理对根系可溶性糖的影响相对更大, 环割口愈合前的 5 月份, 该处理根系可溶性糖明显低于 T_5 , 割口接合后则一直最高, 明显高于 T_5 。对于根系可溶性蛋白, 则以 T_2 影响更明显, 5 月到 7 月份时, 该处理可溶性蛋白含量明显较 T_5 更低, 8 月份割口愈合后, 其含量增加, 明显高于 T_5 。环割使油茶根系可溶性淀粉含量整体有所下降, 5 月份环割伤口未愈合时最明显, 之后 T_4 处理对根系可溶性淀粉积累有明显促进作用, T_1 处理则始终比 T_5 低。

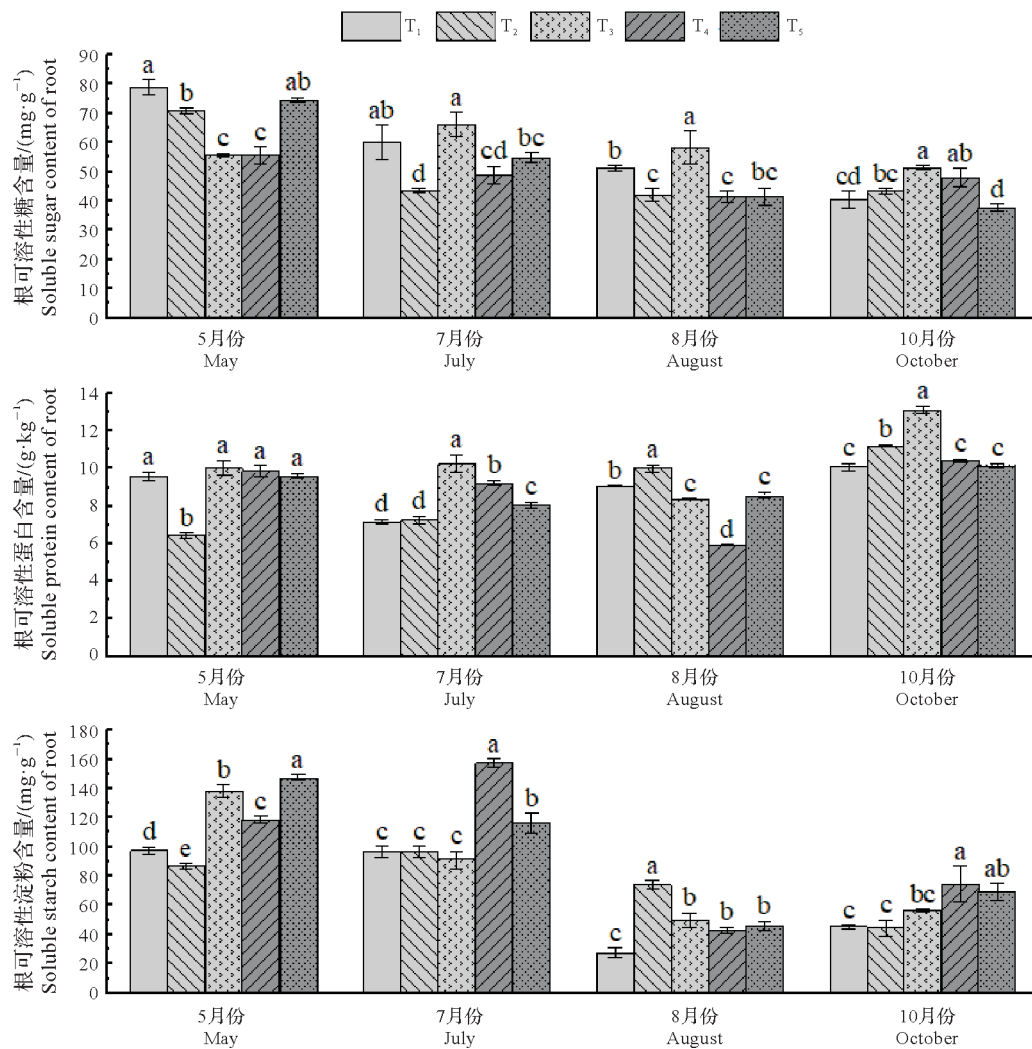


图 4 不同环割处理对油茶不同时期根系有机营养含量的影响

Fig.4 Effects of different ring-cutting treatments on the organic nutrient content of *C. oleifera* roots at different periods of time

2.3 环割对油茶树体产量的影响

2.3.1 环割对油茶不同时期坐果率的影响

图 5 是各处理 3、5、8、10 月份的坐果率及期间落果率。由图可知, T_2 、 T_4 2 个 360° 环割处理在 5 月份之前的坐果相对更高, 落果率更低, 而 T_1 处理和 T_5 处理坐果率更低, 前期落果更多。8 至 10 月份期间, T_4 处理的坐果率仍然最高, 但该时期落果率为 14.25%, 而 T_2 和 T_5 只有 6.50% 和 9.20%。

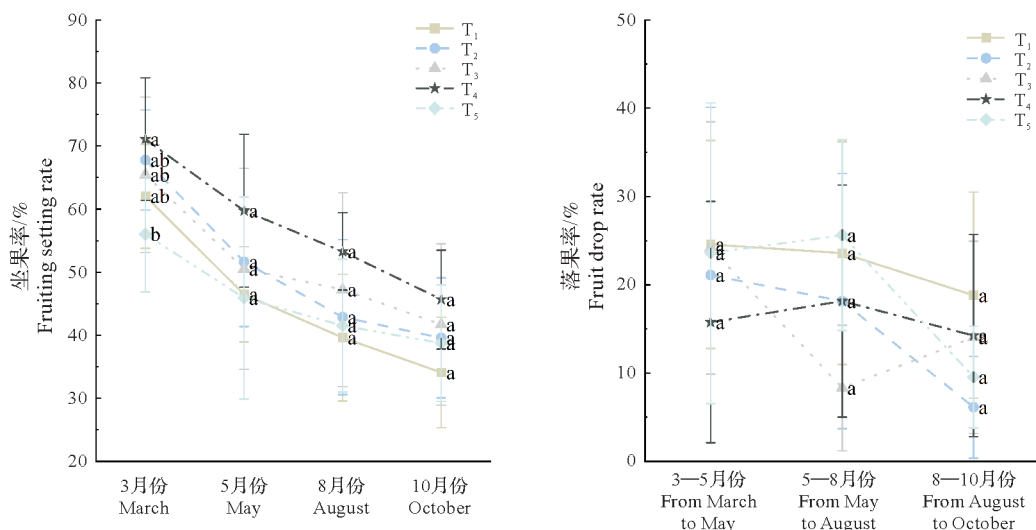


图5 不同环割处理对油茶树体不同时期坐果率和落果率的影响

Fig.5 Effects of different ring-cutting treatments on fruit set and fruit drop of *C. oleifera* trees at different periods of time

2.3.2 环割对油茶果实产量的影响

环割对油茶单株平均挂果数、单果质量和单株产量的影响如图6所示。从图中可以发现,春梢萌发前对油茶进行环割,其单株平均挂果数和单株产量会高于盛花期环割;360°环割对提高油茶单株平均挂果的效果更好,而单果质量却相较更低,但最终产量还是以360°环割下的处理相对更高。总体看来,各环割处理油茶单株挂果数和产量均比对照高,其中T₂处理的挂果数显著多于对照,较对照增加了79.68%,T₁、T₂、T₄处理单株产量显著高于T₅处理,并以T₂处理促产效果最佳,其产量比对照增加了64.58%。但同时也发现挂果多的处理油茶单果质量更低,各环割处理的单果质量均显著低于对照($P=0.000$)。

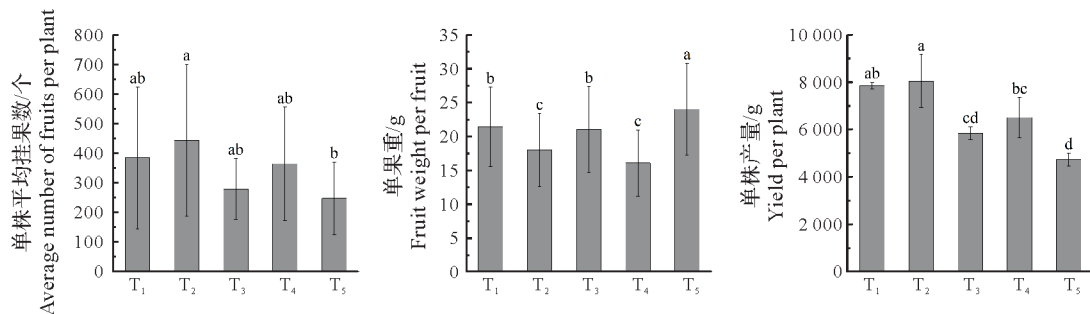


图6 不同环割处理对油茶单株平均挂果数、单果质量及产量的影响

Fig.6 Effects of different ring-cutting treatments on the average number of fruits hanging on a single plant, the weight of a single fruit and yield of *C. oleifera*

2.4 环割下油茶树体营养与结实的相关性分析

2.4.1 油茶叶片营养与油茶座果率、落果率及产量的相关性分析

油茶叶、根营养与座果率、落果率及产量的相关性分析如表5所示。从表中结果可知,油茶各时期叶片营养与座果率、落果率及产量间均存在一定的相关关系。其中,5月份油茶叶片全磷含量与8—10月份坐果率呈显著负相关,而8月份全钾含量与8—10月份落果率呈极显著正相关。产量方面,油茶产量与8月份全钾、可溶性淀粉含量呈显著正相关;与7月份全钾、可溶性淀粉,8月份可溶性糖含量呈极显著正相关;与5月份可溶性蛋白,10月份全磷含量呈显著负相关;与叶片8、10月份全氮,10月份全钾,5、10月份可溶性糖含量呈极显著负相关。

2.4.2 油茶根系营养与油茶座果率、落果率及产量的相关性分析

从根系营养来看,各时期油茶根系营养与其座果率、落果率及产量间同样存在较强的相关性。其中7月份根系全磷含量与5—8月份油茶落果率,可溶性糖含量与8—10月份落果率呈显著正相关;而8月

份油茶可溶性淀粉含量则与 8—10 月份落果率呈显著负相关。产量与 5、7 月份全钾含量呈显著正相关；与 7 月份可溶性蛋白、8、10 月份全磷、10 月份全钾含量呈极显著正相关；与 8 月份全氮、5、10 月份可溶性淀粉含量呈极显著负相关。

表 5 油茶叶、根营养与座果率、落果率及产量间的相关性分析

Tab.5 Correlation analysis between leaf and root nutrients and fruit set, fruit drop and yield of *C. oleifera*

		叶营养与结实相关性					根营养与结实相关性				
		Correlation between leaf nutrition and fruit set					Correlation between root nutrition and fruit set				
养分 Nutrient	时期 Period	3 月份 座果率 March fruit set rate	落果率			产量	3 月份 座果率 March fruit set rate	落果率			产量
			Fruit drop rate					Fruit drop rate			
			3—5 月份	5—8 月份	8—10 月份			3—5 月份	5—8 月份	8—10 月份	
全氮/(g·kg ⁻¹) Total nitrogen	5 月	-0.117	-0.117	0.145	-0.295	-0.198	0.418*	-0.148	-0.093	0.018	0.191
	7 月	-0.204	-0.107	0.234	0.082	-0.275	0.343	-0.113	-0.053	-0.129	0.018
	8 月	-0.109	-0.334	0.026	-0.257	-0.561**	0.160	-0.209	-0.210	-0.043	-0.522**
	10 月	-0.132	0.076	0.141	0.000	-0.466**	0.300	-0.114	-0.059	-0.086	-0.033
全磷/(g·kg ⁻¹) Total phosphorus	5 月	-0.261	0.147	-0.065	-0.400*	-0.192	0.237	-0.156	0.038	-0.106	-0.043
	7 月	-0.323	0.114	0.036	0.346	0.088	-0.148	-0.130	0.406*	-0.273	-0.349
	8 月	-0.012	0.134	-0.329	0.179	-0.081	0.389*	-0.164	-0.235	0.191	0.554**
	10 月	-0.372*	0.117	0.163	0.106	-0.366*	0.275	-0.104	-0.126	-0.045	0.629**
全钾/(g·kg ⁻¹) Total potassium	5 月	0.011	-0.195	0.155	0.049	-0.219	0.450**	-0.153	-0.069	0.118	0.356*
	7 月	0.329	-0.277	-0.042	0.007	0.475**	0.344	-0.214	0.006	-0.138	0.392*
	8 月	0.041	-0.025	0.208	0.451**	0.406*	0.287	-0.206	0.057	-0.117	0.081
	10 月	-0.105	0.049	-0.200	-0.137	-0.484**	0.337	-0.204	0.050	-0.072	0.461**
可溶性糖/(mg·g ⁻¹) Soluble sugars	5 月	-0.030	0.021	-0.194	-0.198	-0.674**	-0.368*	0.116	0.346	0.063	0.157
	7 月	-0.305	0.242	0.042	-0.148	-0.293	-0.228	0.111	-0.190	0.381*	-0.163
	8 月	0.156	0.133	-0.114	0.229	0.677**	-0.061	0.194	-0.162	0.150	-0.312
	10 月	-0.089	-0.072	0.035	-0.119	-0.805**	0.415*	-0.068	-0.399*	0.255	0.069
可溶性蛋白/(g·kg ⁻¹) Soluble protein	5 月	0.114	-0.150	-0.275	0.073	-0.438*	-0.313	0.223	0.033	-0.049	0.027
	7 月	0.452**	-0.104	-0.185	0.023	0.073	-0.165	0.037	0.282	0.169	0.629**
	8 月	0.395*	-0.163	-0.221	0.126	0.050	-0.251	0.192	0.072	-0.096	0.220
	10 月	0.102	0.017	0.073	0.216	-0.126	0.121	0.018	-0.393*	0.011	-0.113
可溶性淀粉/(mg·g ⁻¹) Soluble starch	5 月	-0.206	0.101	0.199	0.257	0.294	-0.235	0.027	-0.086	-0.065	-0.860**
	7 月	0.025	0.000	-0.045	0.278	0.548**	0.148	-0.174	0.031	0.050	-0.142
	8 月	-0.209	0.204	0.205	0.276	0.359*	0.112	0.014	-0.231	-0.353*	-0.022
	10 月	-0.349	0.072	0.441*	-0.202	-0.312	0.124	-0.058	0.044	-0.008	-0.581**

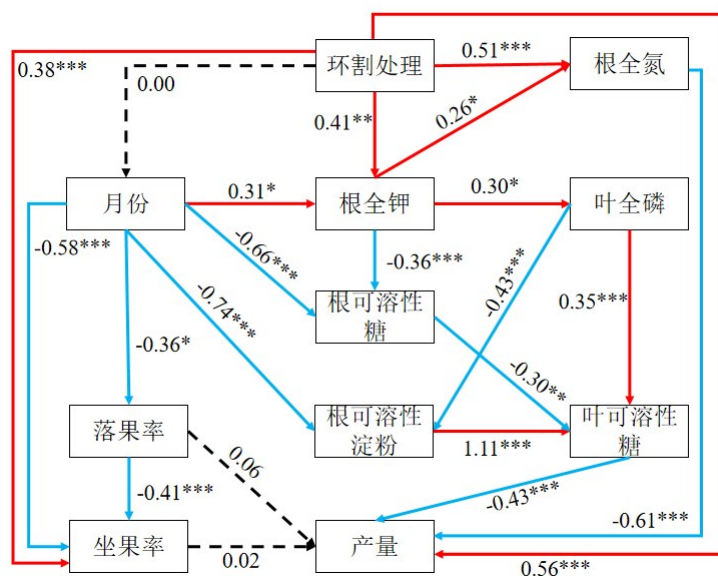
*在 0.05 级别(双尾)相关性显著,**在 0.01 级别(双尾)相关性显著。

* Significant correlation at 0.05 level(two-tailed), ** Significant correlation at 0.01 level(two-tailed).

2.5 基于结构方程模型分析环割对油茶树体营养分配及结实的影响

对环割作用下油茶叶、根营养、坐果率、落果率及产量情况进行结构方程模型分析,结果如图 7 所示。从图中可以看出,环割后随着时间的推移,油茶根系全钾含量(0.31)显著增加;而根系可溶性糖(-0.66)、可溶性淀粉含量(-0.74)、坐果率(-0.36)、落果率(-0.41)均显著降低。适宜的环割处理可以显著提高坐果率(0.38)和产量(0.56),主要是通过增加油茶根系全钾、叶片全磷、叶片可溶性糖含量并降低根系可溶

性淀粉含量来增加产量;而环割时间或弧度不当,则会增加根系全氮含量或者全钾含量、降低根、叶可溶性糖含量而降低油茶产量。



CMIN/DF=1.26, $P=0.147$, IFI=0.97, TLI=0.94, CFI=0.97, RMSEA=0.077, 实线表示显著路径;虚线表示不显著路径;红色箭头表示正相关,蓝色箭头表示负相关,数字为标准化路径系数,*表示0.05水平显著相关,即 $P<0.05$,**表示0.01水平显著相关, $P<0.01$,***表示0.001水平显著相关 $P<0.001$ 。

CMIN/DF=1.26, $P=0.147$, IFI=0.97, TLI=0.94, CFI=0.97, RMSEA=0.077, Solid lines indicate significant paths; dotted lines indicate non-significant paths; red arrows indicate positive correlations, blue arrows indicate negative correlations, and the numbers indicate standardized path coefficients. * indicates significant correlation at the 0.05 level, i.e., $P<0.05$, ** indicates significant correlation at the 0.01 level, $P<0.01$, and *** indicates significant correlation at the 0.001 level, $P<0.001$.

图7 结构方程组模型(SEM)路径分析

Fig.7 Plot of structural equation system model(SEM)path analysis results

3 讨论

环割是果树上常用的物理调控措施,在调控果树的营养生长、提高果实产量和品质上都取得了良好的效果,而不同的环割时期和环割量对树体的生长结实影响也不同。本试验养分循环结果表明,油茶主干环割后,韧皮部筛管的运输功能受阻,导致叶片光合产物向下运输受阻,部分有机营养也更多地积累在地上部分,并进一步影响根系向地上茎叶运输矿质养分,且不同环割处理和采样时间对油茶叶、根无机养分和有机营养含量存在着极显著影响。冷熹华^[16]的研究发现,冬枣环剥后叶片可溶性糖、根系有机碳含量增加;叶片氮磷钾、根系全磷、可溶性糖含量降低。而本试验中对油茶进行环割后果实膨大期叶片有机营养含量、环割伤口愈合前根系无机养分含量增加;叶片全氮、果实成熟期根系可溶性淀粉含量降低,与本研究结果存在一定差异,推测存在差异的可能原因是冬枣为夏天开花结果树种,与油茶的生长机制有所不同,其树体对各养分的调控过程也可能有所不同。同时环割处理还提高了油茶叶片可溶性蛋白含量,降低了根系可溶性淀粉含量,与乔景娟等^[17]、杨丽君^[18]的研究结果一致。且环割弧度较环割时间对油茶叶、根营养物质含量的影响更为明显,相比 180° 环割, 360° 环割提高了根系无机养分及果实膨大期叶片钾、可溶性蛋白含量,降低了果实膨大期叶片磷、可溶性糖、可溶性淀粉及根系可溶性糖含量。

环割改变了油茶叶、根各时期各无机养分和有机营养的分配,并进一步影响油茶结实。但相关性分析结果表明油茶座果率、落果率与叶、根营养间相关性不是很显著,猜测可能原因是油茶花果同树且存在大小年,环割处理通过调控叶、根营养使更多的营养物质向花芽和果实转移,导致相应时期内根叶养分与油茶座果率、落果率间的差异并不显著。而油茶果实产量与根叶养分间存在较强的相关性,其中与叶片钾、可溶性淀粉以及根系磷、钾、可溶性蛋白含量间存在明显的协同关系,而与叶片氮、磷、可溶性糖

以及根系氮、可溶性淀粉间存在明显的拮抗关系。而从结构方程模型分析结果可知,对油茶进行环割显著增加了油茶坐果率及产量,其中环割通过调控树体叶、根营养从而影响最终产量。但分析结果表明,环割处理下油茶叶、根营养对坐果、落果的影响并不显著,其原因可能是油茶花果同树且存在大小年,环割处理通过调控叶、根营养使更多的营养物质向花芽和果实转移,从而导致其间关系并不显著。

曹翠霞^[19]、张琦等^[20]的研究发现,对果树进行环剥和环割处理能有效提高果树的坐果率,从而提高产量;同时董科阳等^[21]的研究发现,对灰枣进行环剥处理在增加灰枣坐果率的同时还显著增加了枣树的结果数。本试验研究表明对油茶进行环割处理同样可以在提高坐果率的同时显著提高油茶的结果数,达到促产的目的。然而油茶果实膨大后,挂果多的油茶开始出现大量落果,落果率开始高于对照,且挂果多的处理油茶单果质量普遍偏小,这与邵峰等^[4]环割处理可提高猕猴桃单果质量的结论不同,而造成这一现象的原因可能是油茶结果数过多导致油茶树体的养分供应不足,因此在其生长过程中也要加强对所需养分的供应及管理。

4 结 论

对油茶进行环割处理可以提高环割伤口愈合前根系无机养分以及果实膨大期叶片磷、钾、有机营养含量,降低叶片氮及果实成熟期叶片可溶性糖、可溶性淀粉含量,且环割弧度较环割时间对油茶叶、根营养物质含量的影响更为明显。

相同环割时间下,360°环割更有利于提高油茶单株平均挂果数和最终产量;相同环割弧度下,春梢萌发前环割更有利于提高油茶单株挂果数和最终产量。

在春梢萌发前360°环割处理下有利于叶片可溶性糖、可溶性蛋白以及根系氮、磷、钾养分的积累;其落果率低,单株平均挂果数和单株产量明显高于其余处理,对油茶的保果促产效果最好。

油茶座果落果与叶、根营养间相关性不显著,但果实产量与部分叶、根营养间存在有明显的协同与拮抗关系。适宜的环割处理主要是通过增加油茶根系全钾、叶片全磷、叶片可溶性糖含量并降低根系可溶性淀粉含量来提高坐果率和增加产量。

参考文献 References:

- [1] 庄瑞林.中国油茶[M].2版.北京:中国林业出版社,2008.
ZHUANG R L.Chinese *Camellia oleifera* [M].2nd ed.Beijing: China Forestry Press, 2008.
- [2] 高超.油茶后期自交不亲和性的细胞学研究[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
GAO C.The cytological study on late-acting self-incompatibility in *Camellia oleifera* [D].Changsha: Central South Forestry University of Science and Technology, 2017.
- [3] 王建勇,张峰玲,唐崇袍.不同肥料处理对油茶林生长发育及油茶产量影响研究[J].绿色科技,2023,25(9):130-133.
WANG J Y,ZHANG F L,TANG C P.Effects of different fertilizer treatments on the growth and yield of *Camellia oleifera* forest[J].Journal of green science and technology, 2023,25(9): 130-133.
- [4] 邵峰,刘安乐,岳芳.环割对修文贵长猕猴桃果实生长及品质的影响[J].农技服务,2022,39(11):42-44.
SHAO F,LIU A L,YUE F.Effects of ring cutting on fruit growth and quality of Xiuwen Guichang kiwifruit[J].Agricultural technology service, 2022,39(11): 42-44.
- [5] CHOI S T,SONG W D,PARK D S,et al.Effect of different girdling dates on tree growth,fruit characteristics and reserve accumulation in a late-maturing persimmon[J].Scientia horticulturae, 2010,126(2): 152-155.
- [6] 陈惠敏.环割对柑橘植株衰老的影响及其机制研究[D].广州:华南农业大学,2017.
CHEN H M.The effect of ringing on senescence of citrus plant and its mechanism[D].Guangzhou: South China Agricultural University, 2017.
- [7] 涂美艳,陈栋,李靖,等.环割对“Hort 16A”猕猴桃枝叶营养和果实品质的影响[J].四川农业大学学报,2020,38(1):79-86.
TU M Y,CHEN D,LI J,et al.Effect of girdling treatments on the nutrition of branches and leaves and the fruit quality of ‘Hort 16A’ kiwifruit[J].Journal of Sichuan agricultural university, 2020,38(1): 79-86.
- [8] 李慧,李白云,刘超.赤霉素和环割对灵武长枣生长发育、着果及果实品质的影响[J].中国南方果树,2020,49(4):90-94.
LI H,LI B Y,LIU C.Effects of GA3 and girdling on growth,fruit set and quality of *Zizyphus jujube* Mill. cv. Lingwuchangzao

- [J].South China fruits, 2020, 49(4): 90-94.
- [9] 梁春辉, 陈惠敏, 李娟, 等. 环割对柑橘叶片衰老的影响[J]. 园艺学报, 2018, 45(6): 1204-1212.
LIANG C H, CHEN H M, LI J, et al. Effects of girdling on senescence of citrus leaf[J]. Acta horticulturae Sinica, 2018, 45(6): 1204-1212.
- [10] 刘新江. 环割对乔砧红富士苹果缓势促花的作用[J]. 果树资源学报, 2020, 1(4): 92.
LIU X J. Role of ring-cutting in slowing down and promoting flowering in arbor-rooted red Fuji apples[J]. Journal of fruit resources, 2020, 1(4): 92.
- [11] 盖甜甜, 邹中华, 任志华等. 不同氮养分条件下油茶幼苗生物量及养分利用对磷水平的响应[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(3): 626-634.
GAI T T, ZOU Z H, REN Z H, et al. Effects of biomass and nutrient utilization of *Camellia oleifera* seedlings to phosphorus level under different nitrogen nutrients[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(3): 626-634.
- [12] JIN Z, JUIN L, LUNAN L, et al. Effects of scion variety on the phosphorus efficiency of grafted *Camellia oleifera* seedlings[J]. Forests, 2022, 13(2): 203.
- [13] SZCZEPANEK M, SIWIK-ZIOMEK A. P and K accumulation by rapeseed as affected by biostimulant under different NPK and S fertilization doses[J]. Agronomy, 2019, 9(9): 477.
- [14] 邓秋菊, 李小飞, 陈文静, 等. 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[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(5): 790-795.
DENG Q J, LI X F, CHEN W J, et al. Effects of girdling and ringing on branch growth and accumulation of carbon-nitrogen metabolites in leaves of *Carya illinoensis*[J]. Journal of Anhui agricultural university. 2017, 44(5): 790-795.
- [15] 孔炜浩, 高琳, 周起, 等. 蛋白质提取分离纯化及特性研究进展[J/OL]. 中国食物与营养, 1-7(2024-04-04)[2024-10-28]. <https://doi.org/10.19870/j.cnki.11-3716/ts.20230829.001>.
KONG W H, GAO L, ZHOU Q, et al. Progress of protein extraction, separation, purification and characterization[J/OL]. Food and nutrition in China, 1-7(2024-04-04)[2024-10-28]. <https://doi.org/10.19870/j.cnki.11-3716/ts.20230829.001>.
- [16] 冷熹鸣. 环剥对冬枣细根和叶片生理特性的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019.
LENG X M. Girdling effects on physiological characteristics of fine root and leaf of *Ziziphus jujuba* Mill. cv Dongzao[D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2019.
- [17] 乔景娟, 厉辉, 潘冉冉, 等. 环割阻断木薯光合作用与储藏根淀粉积累的蛋白质组学[J]. 植物生理学报, 2018, 54(12): 1803-1812.
QIAO J J, LI H, PAN R R, et al. Effects of girdling on proteomic changes related to photosynthesis and starch accumulation in storage root of cassava[J]. Plant physiology journal, 2018, 54(12): 1803-1812.
- [18] 杨丽君. 环割、施肥对栎树苗体内碳氮分配的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
YANG L J. Effects of stem gridled and soil fertilized on C and N allocation of *Koelreuteria paniculata* seedlings[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.
- [19] 曹翠霞. 环剥技术在现代果园中的应用[J]. 果农之友, 2023(11): 11-14.
CAO C X. Application of ring peeling technology in modern orchards[J]. Fruit growers' friend, 2023(11): 11-14.
- [20] 张琦, 陈俊, 杨梦宇, 等. 拉枝、环割(剥)对干旱荒漠区富士苹果成花坐果的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(6): 1071-1077.
ZHANG Q, CHEN J, YANG M Y, et al. Effects of branching and ring-cutting(stripping) on flowering and fruit setting of Fuji apple in arid desert area[J]. Xinjiang agricultural science, 2021, 58(6): 1071-1077.
- [21] 董科阳, 张琦, 苏之航, 等. 环剥对灰枣叶片性状及坐果的影响[J]. 落叶果树, 2023, 55(3): 48-53.
DONG K Y, ZHANG Q, SU Z H, et al. Effect of girdling on leaf traits and fruit setting of Huizao[J]. Deciduous fruits, 2023, 55(3): 48-53.
- [22] 王毓曼, 吴怀远, 谢双岭, 等. 环割时间和环割量对油茶果实养分及经济特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(6): 1443-1453.
WANG Y M, WU H Y, XIE S L, et al. Effects of girdling time and amount on fruit nutrient and economic characteristics of *Camellia oleifera*[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2023, 45(6): 1443-1453.