

中南林业科技大学学报

Journal of Central South University of Forestry & Technology

ISSN 1673-923X，CN 43-1470/S

《中南林业科技大学学报》2026年第10期

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923X.2026.10.005

论文标题： 不同短截方式对油茶春梢叶片生长发育和养分动态的影响

作　　者： 游 芳，唐徐一，雷小林，等

收稿日期： 2025-10-10

引文格式： 游芳,唐徐一,雷小林,等.不同短截方式对油茶春梢叶片生长发育和养分动态的影响[J].中南林业科技大学学报,2026,46(10):61-71.

You F, Tang X Y, Lei X L, et al. Effects of different short-cut methods on growth, development and nutrient dynamics of spring shoot leaves of *Camellia oleifera*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(10):61-71.

相关论文推荐

Recommended articles

油茶分子育种研究进展

Advances in the molecular breeding of *Camellia oleifera*

我国油茶科技进展与未来核心技术

Scientific and technological progress and future core technologies of oil tea *Camellia* in China

不同施肥模式对油茶春梢生长和叶片酶活性的影响研究

Effects of different fertilization modes on growth and leaves enzyme activity of *C. oleifera*

叶面肥对威宁短柱油茶春梢生长、叶片光合生理及结实的影响

Effects of foliar fertilizer on spring shoot growth, leaf photosynthetic physiology and fruit of *Camellia weiningensis*

油茶春梢发育期叶片和果实中氮磷钾元素的动态变化

Changes of nitrogen, phosphorous, potassium contents in leaves and fruits during spring shoots development phase of oil-tea camellia

油茶花、果及春梢生长相关性研究

Research on correlation of flower bud, fruit and spring shoot growth of *Camellia oleifera* Abel

皮部物理处理对油茶春梢和皮部有机营养的影响

Effects of physical treatments on spring shoots and skin organic nutrition of *Camellia oleifera*

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923x.2026.10.005 http: //qks.csuft.edu.cn

不同短截方式对油茶春梢叶片生长发育和养分动态的影响

游　芳[1]，唐徐一[1]，雷小林[2]，吴安琪[2]，胡冬南[1]，陈明鸿[2]，曹　冰[2]，张盛霖[3]
（1. 江西农业大学 林学院，江西 南昌 330045；2. 江西省林业科学院，江西 南昌 330013；
3. 峡江县林木良种场，江西 吉安 331409）

摘　要：【目的】探究不同短截修剪方式下成年油茶林春梢叶片生长发育及养分动态特征的变化，为油茶修剪技术的优化应用提供理论依据。【方法】试验地设于江西省吉安市峡江县水边镇峡江县林木良种场，对该地 14 年生‘长林 53 号’油茶设置 5 种短截修剪处理：[45° 不留茬（D-X0）、45° 留茬 1 cm（D-X1）、90° 不留茬（D-P0）、90° 留茬 1 cm（D-P1）、对照组不修剪（D-CK）]，研究其对春梢生长阶段内叶片生长性状、营养元素及非结构性碳水化合物（NSC）含量的影响。【结果】1）不同短截处理下春梢及叶片形态差异显著，其中以 D-X0 处理效果最为显著；在养分规律上，全氮在 D-X0、D-X1 及 D-P1 处理下显著提高，而全磷、全钾在各短截方式下均呈不同程度增幅；中微量元素在各短截处理下规律各异；NSC 在各短截方式下均呈积累趋势；2）时间动态上，春梢形态指标在 10 ～ 30 d 阶段内呈快速生长趋势，之后趋缓；大量元素、镁（Mg）、铁（Fe）含量均呈先降后升趋势，在 30 d 为含量谷值，钙（Ca）含量持续上升，铜（Cu）含量呈逐步下降趋势，锌（Zn）含量先急剧下降后趋于平缓；NSC 呈先升后降趋势，各处理下均在 30 d 为含量峰值；3）由结构方程模型（SEM）可知，D-X0 处理通过叶片大量元素和 NSC 正向影响叶片生长性状。【结论】D-X0 处理对叶片生长性状、大量元素及 NSC 的积累起显著的促进作用，且通过大量元素和 NSC 正向调控叶片生长。此外，春梢发育及营养物质呈现显著的时序动态，其中 30 d 为关键时间节点。

关键词：油茶；短截；春梢；生长性状；营养元素
中图分类号：S794.4；S753.51^{+}8　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1673-923X(2026)10-0061-11

Effects of different short-cut methods on growth, development and nutrient dynamics of spring shoot leaves of *Camellia oleifera*

You Fang[1], Tang Xuyi[1], Lei Xiaolin[2], Wu Anqi[2], Hu Dongnan[1], Chen Minghong[2], Cao Bing[2], Zhang Shenglin[3]

(1.College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, Jiangxi, China;
2. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 3. Xiajiang County Forest Seed Farm, Ji'an 331409, Jiangxi, China)

Abstract:【Objective】The growth and nutrient dynamic properties of spring shoot leaves in mature *Camellia oleifera* forests under various short-cut pruning techniques were examined in this study.【Method】Xiajiang County forest seed farm, Shuibian Town, Xiajiang County, Ji'an City, Jiangxi Province was the location of the experimental site. For *Camellia oleifera* No.53, a 14-year-old growth forest in this location, five different short-cut pruning treatments were established: [45° no stubble (D-X0), 45° stubble 1 cm (D-X1), 90° no stubble (D-P0), 90° stubble 1 cm (D-P1), control group without pruning (D-CK)]. During the spring shoot growth stage, the effects of various pruning techniques on leaf growth characteristics, nutritional components, and non-structural carbohydrate (NSC) content were investigated.【Result】1) Significant morphological differences were observed in spring shoots and leaves under different short-cutting treatments, with the D-X0 treatment yielding the most pronounced effects. Regarding nutrient patterns, the

收稿日期（Received）：2025-10-10　　**修订日期**（Revised）：2025-12-15
基金项目：江西省重点研发计划“揭榜挂帅”项目（20223BBF61012）；江西省林业科学院基础研究与人才科研专项项目（2024521003）。
第一作者：游芳（1472604362@qq.com），硕士研究生。
通信作者：雷小林（1006801524@qq.com），研究员，博士；吴安琪（Anqi_wu1996@163.com），助理研究员，博士。
引文格式：游芳 , 唐徐一 , 雷小林 , 等 . 不同短截方式对油茶春梢叶片生长发育和养分动态的影响 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2026,46(10):61-71.
You F, Tang X Y, Lei X L, et al. Effects of different short-cut methods on growth, development and nutrient dynamics of spring shoot leaves of *Camellia oleifera*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(10):61-71.

nitrogen (N) levels significantly increased under D-X0, D-X1, and D-P1 treatments, while the phosphorus (P) and potassium (K) showed varying degrees of increase across all pruning methods. Trace elements exhibited distinct patterns across short-cutting treatments; the NSC showed an accumulative trend under all short-cutting methods; 2) In terms of temporal dynamics, the morphological indexes of spring shoot showed a rapid growth trend from the 10th to the 30th day and then slowed down; the concentrations of macronutrients, magnesiumMg) and iron (Fe) all followed a patern of initially decreasing and then increasing, and the content valley value was at the 30th. The calcium (Ca) content continued to climb, the copper (Cu) content exhibited a declining trend, while the zinc (Zn) content first dropped rapidly before leveling out; and the NSC showed an initial rise followed by a decline, the content peaked on the 30th under each reatment; 3) Structural equation modeling (SEM) indicates that the D-X0 treatment exerts a positive influence on leaf growth traits via the macronutrients and NSC in the leaves.【Conclusion】D-X0 treatment favorably regulated leaf growth through macroelements and NSC, and it had the most stimulating influence on leaf growth features, macroelements, and NSC accumulation. Additionally, there were notable temporal dynamics in the development of spring shoots and nutrients, with the 30th day serving as the critical time node.
Keywords: *Camellia oleifera*; short-cutting; spring shoot; growth traits; nutrient elements

油茶 *Camellia oleifera* 属山茶科 Theaceae 山茶属 *Camellia* 乔木，是我国南方重要的木本油料树种，具有栽培历史悠久、分布区域广、栽培面积大和用途广泛等特点 [1]。中国为油茶主要种植区，种植范围主要集中于长江流域及以南地区，其中江西、湖南和广西的油茶种植面积占全国总面积的 70% 以上 [2]。油茶除具有较高的经济价值外，还兼具药用价值 [3]。然而，油茶产业的高质量发展也面临着诸多挑战 [2]，长期以来，油茶低产问题持续存在，加之缺乏科学系统的管理和技术指导，严重地制约了该产业的可持续和健康发展 [4]。

修剪作为林木栽培管理中的重要技术措施，其核心是对植株的茎、枝及叶片等进行选择性剪截或疏除，调节其生长发育进程 [5-6]。通过对油茶成林实施系统和合理的整形修剪，可显著改善林分郁闭度与冠层透光率，提升叶面积指数，扩大有效光合面积 [7]，优化养分在不同器官中的分配与利用效率，进而为花芽分化和果实发育奠定物质基础，对提高油茶产量至关重要 [8-9]。因此，科学的修剪不仅是油茶低产林分结构改造的关键技术手段，也是推动油茶产业实现高质量发展的重要栽培措施之一。

目前，关于林木树形调控及修剪强度的研究已有积累。曹永庆等 [10-11] 和严江勤等 [12] 通过研究不同修剪方式与强度对油茶生长的影响，指出修剪处理能显著影响冠层光能利用效率、春梢生长动态、叶片形态建成、果实性状特征以及各器官生物量的分配格局。孙颖等 [13] 研究精细、简化和粗放 3 种修剪模式下的营养物质变化发现，简化整形修剪模式下新梢内营养物质大幅提升。龙伟等 [14] 和王开良等 [15] 则探讨了修剪措施对油茶叶片和枝条中营养元素含量的影响，提出修剪可通过改变树体结构进一步调控植株整体的养分利用效率，但该方向缺乏系统深入研究 [11]。当前油茶修剪实践中，剪口角度、留茬长度等缺乏统一科学依据，尤其关于修剪模式如何影响油茶生长性状及体内营养元素循环及机理的研究仍较为薄弱，这在一定程度上制约了油茶产业的高质量发展 [16]。因此，构建科学规范的修剪技术体系，并深入解析其与油茶生长特性及关键营养元素代谢之间的互作机制，可为油茶的精准化栽培管理和产业可持续提升提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江西省吉安市峡江县水边镇峡江县林木良种场（115°24′ ～ 115°25′ E，27°33′ ～ 27°34′ N），属中亚热带季风气候，四季分明，全年降水充沛，光照时间长。所属山场东西走向，低丘岗地海拔 70 ～ 120 m，相对高程 15 ～ 20 m，平均坡度为 10° 以下，该地适宜的地貌和气候都为油茶的生长提供了自然环境保障。根据 2024 年 7 月的植被调查，该林场植被类型丰富：包括湿地松 *Pinus elliottii*、马尾松 *Pinus massoniana*、鹅掌楸 *Liriodendron chinense*、油茶 *Camellia oleifera*、山香圆 *Turpinia arguta* 和玉木耳 *Auricularia nigricans* 等。而试验地选于林场内部一片成年‘长林 53 号’油茶林地。

1.2 试验材料与设计

试验材料为 14 年生‘长林 53 号’油茶，株行距 3 m×4 m，平均树高 2.2 m，平均冠幅 3.23 m×2.68 m。光照及立地条件基本一致，树体健康，长势均等。试验前植株未做任何修剪处理，于 2024 年 12 月开展修剪，设置短截（一年生枝梢）修剪，对其进行剪口角度 [45°（斜剪）、90°（平剪）]

和留茬高度 [不留茬（紧贴枝梢）、留茬 1 cm] 的交叉处理，以及 CK（不修剪），共 5 个处理，每个处理做 30 个重复。

处理方法：选取 6 株样树，去除树中的枯死枝，而后于每株样树中层的东、南、西、北不同方位分别选取 1 ～ 2 枝一年生枝梢进行以下处理：短截 45° 不留茬（D-X0）、短截 45° 留茬 1 cm（D-X1）、短截 90° 不留茬（D-P0）、短截 90° 留茬 1 cm（D-P1）、不修剪（D-CK），并挂牌标记，保证不同处理组合均匀分布。修剪时均为枝条 1/2，其中不留茬修剪于紧贴腋芽处开展，留茬 1 cm 在修剪时用直尺进行长度校准，校准起点为腋芽基部，终点为留茬最高点。

1.3　指标测定方法

1.3.1　样品采集和处理

于春梢萌发后 10、30、60 d 分别采集修剪枝上萌发的春梢叶片，选取长势均匀、长势良好且无病虫害的春梢整枝，使用枝剪剪下，而后将叶片及茎段进行区分，摘去顶芽和腋芽，将叶片装袋标记编号带回实验室。油茶叶片处理：新鲜叶片样品采集后用纯水洗净，标记装袋后置入 105 ℃烘箱中杀青 15 min，而后继续 60 ℃烘干至恒质量，最后将烘干的样品用粉碎机磨碎，过 0.147 mm 孔径筛后装入自封袋待测。

1.3.2　春梢生长指标观测

于 2025 年春梢萌发后的 10、30、60 d 运用数显卡尺测量新梢基部直径并用直尺测量新梢长度；运用数显卡尺测量新梢第 3 片功能叶叶长、叶宽，并计算叶面积（叶面积 =2/3× 叶长 × 叶宽）和叶形指数（叶长 / 叶宽）。

1.3.3　春梢叶片营养物质指标测定

采用硫酸 - 过氧化氢进行消煮，然后用凯氏定氮仪法测定氮含量；用钼锑抗比色法测定磷含量；用火焰光度计法测定钾含量。中微量元素（Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn）采用微波消解 - 电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）测定；用蒽酮比色法测定可溶性糖和淀粉含量。

1.4　数据统计

采用 SPSS 26.0 软件对试验数据进行整理与统计分析，进行微分处理、方差分析及极差分析。采用邓肯氏新复极差法进行多重比较，采用双因素分析进行交互效应比较。采用 Amos 26.0 软件构建结构方程模型（Structural equation modeling，SEM），探讨不同短截方式下油茶营养元素与生长特性之间的潜在关系及影响路径。使用 Origin 2024 软件完成所有统计图表的绘制。

2　结果与分析

2.1　不同短截方式对春梢生长性状的影响

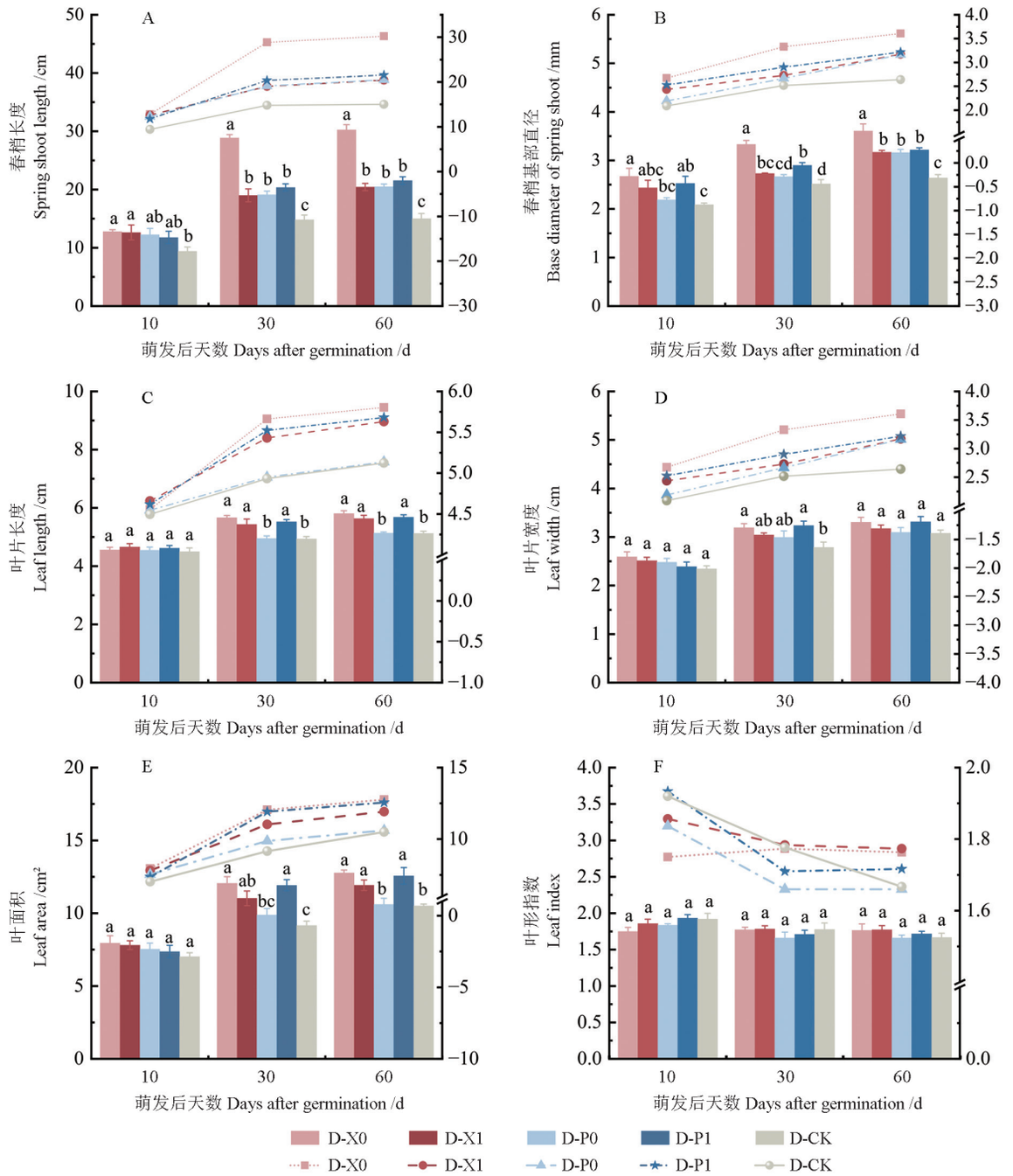
如图 1A 所示，在春梢萌发后 30 d 和 60 d，各短截处理后的春梢长度均显著高于 D-CK。春梢基部直径在 30 d 时，仅 D-X0 和 D-P1 处理显著高于 D-CK；至 60 d 时，各短截处理较 D-CK 均显著提高（图 1B）。如图 1C 和 E 所示，叶片长度和叶面积在 30 d 和 60 d 时，均在 D-X0、D-X1 和 D-P1 处理下较 D-CK 呈显著提升。如图 1D 所示，叶片宽度在 30 d 时，D-X0 和 D-P1 处理对比 D-CK 分别显著提高了 14.47%、16.15%。综上，短截修剪后会显著增加春梢长度和基部直径，并提升叶片长度和叶面积，有效促进了春梢伸长生长及叶片扩张；其中以 D-X0 处理的促进效应更为显著。

从时间维度来看，春梢长度及叶片长度的生长均在 10 ～ 30 d 阶段呈骤升趋势，而后趋于平缓（图 1A、C）。春梢基部直径在 D-X0、D-P0、D-P1 处理下一直呈渐进式增长（图 1B）。叶片宽度及叶面积变化在各处理下整体呈骤升后平缓趋势；叶形指数仅 D-P1 处理下在 10 d 与 30、60 d 间呈显著差异（图 1 D ～ F）。对春梢及叶片横纵径进行微分并绘制生长速率图，由图 2 可知，在 10 ～ 60 d 阶段内各指标均呈单峰型变化，且均在 24 d 前后生长速率最快。综上可见，春梢生长形态变化在 10 ～ 30 d 阶段内呈快速生长趋势，且各处理下生长速率峰值均集中于此阶段内；说明短截修剪可能主要影响生长速率的高低，未改变春梢的生长节律。

2.2　不同短截方式对春梢叶片营养生长的影响

2.2.1　不同短截方式对油茶春梢叶片大量元素的影响

春梢叶片大量元素含量的双因素方差分析结果（表 1）表明，10 d 时剪口角度、留茬高度对叶片 N 含量均具有极显著影响。在 30 d，剪口角度、留茬高度均对 K 含量具有显著影响，剪口角度和留茬高度的交互作用对 N 含量具有极显著影响。在 60 d，剪口角度对叶片 N、K 含量均具有极显著影响，对 P 含量具有显著影响；而留茬高度仅对 K 含量具有显著影响；二者交互作用与 30 d 一致。



相同字母表示组间无显著差异（$P > 0.05$），不同字母表示组间有显著差异（$P < 0.05$），下同。
Identical letters indicate no significant differences between groups ($P > 0.05$), while different letters indicate significant differences between groups ($P < 0.05$), the same below.

图 1　不同短截方式对春梢生长性状的影响
Fig. 1　Effects of different truncation methods on spring shoot growth traits

由图 3 可以看出，春梢叶片大量元素在不同处理间存在显著差异，且具有明显的时间特异性。在 10 d，D-X0、D-X1 和 D-P1 处理后叶片 N、P、K 含量均显著高于 D-CK，其中以 D-X1 处理的增幅最大。在 30 d，叶片 N 含量在 D-X0、D-P1 处理下对比其他处理均呈显著提高；而 P、K 含量在不同短截方式下较 D-CK 均呈显著差异，其中 D-X0 处理下含量提升幅度更大。在 60 d，N、P、K 含量在 D-X0、D-X1 处理后较 D-CK 呈显著差异，其中以 D-X0 处理的提升幅度最大。

从时间进程来看，春梢叶片中大量元素含量整体呈先下降后上升趋势，且以 30 d 为谷值，但至 60 d 时其上升幅度有限。其中，叶片 N、P 含量在三个观测节点均呈显著差异，表现为 10 d > 60 d > 30 d；K 含量在 D-X0 处理下 30 d 与 60 d 差异显著，D-X1 处理在 10 d 与 30 d 差异显著，D-P1 和 D-CK 在 10 d 时与 30 d、60 d 呈极显著差异。

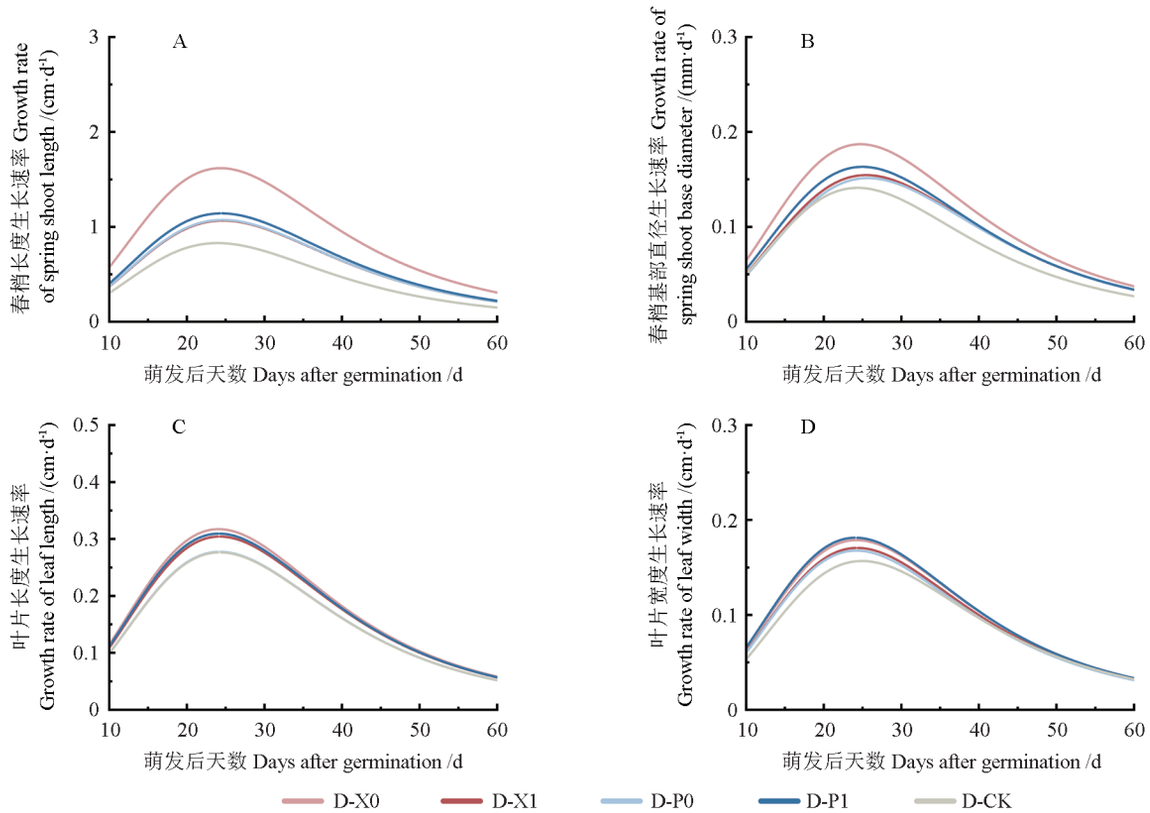


图 2　不同短截处理春梢性状生长速率

Fig. 2　Growth rate of spring shoot traits under different truncation treatments

表 1　春梢叶片 N、P、K 元素含量的双因素方差分析（*P* 值）†

Table 1　Two-way analysis of variance (*P* value) of N, P and K content in leaves of spring shoots

春梢生长时间段 Spring shoot growth period /d	处理 Treatment	N 含量 N content	P 含量 P content	K 含量 K content
10	剪口角度	**	ns	ns
	留茬高度	**	ns	ns
	剪口角度 × 留茬高度	ns	ns	ns
30	剪口角度	ns	ns	*
	留茬高度	ns	ns	*
	剪口角度 × 留茬高度	**	ns	ns
60	剪口角度	**	*	**
	留茬高度	ns	ns	*
	剪口角度 × 留茬高度	**	ns	ns

† ns 表示变量效应不显著，* 表示 $P < 0.05$ 水平差异显著，** 表示 $P < 0.01$ 水平差异极显著。下同。
ns indicates that the variable effect is not significant, * indicates that the $P < 0.05$ level variable effect is significant, ** indicates that the $P < 0.01$ level variable effect is extremely significant. The same below.

2.2.2　不同短截方式对油茶春梢叶片中微量元素的影响

春梢叶片中微量元素含量的双因素方差分析结果（表 2）表明，在 10 d，剪口角度对叶片 Ca、Mg、Mn、Cu、Zn 含量具有显著影响；留茬高度对 Fe、Mn、Cu 含量具有显著影响；二者交互作用对 Fe、Mn 含量均具有显著影响。在 30 d，剪口角度对叶片 Mn 含量具有极显著影响；留茬高度对 Ca 含量具有显著影响；二者交互作用对 Mg、Mn 含量分别具有极显著和显著影响。在 60 d，留茬高度对 Ca 含量具有极显著影响，对 Mg 含量具有显著影响；二者交互作用对 Cu、Zn 含量均具有显著影响。

由图 4 可以看出，在 10 d，D-X0、D-X1 处理显著降低 Ca 含量，但提升了 Cu、Zn 含量；D-X0、D-X1、D-P0 处理显著降低 Fe 含量，但提高了 Mn 含量。在 30 d，D-X1、D-P0 处理显著降低了 Mg 含量；此外，各短截处理下 Mn 含量对比 D-CK 均呈显著下降，但提升了 Cu 含量。在 60 d，春梢叶片中 Ca 含量在 D-X0、D-P0 处理下对比 D-CK 呈

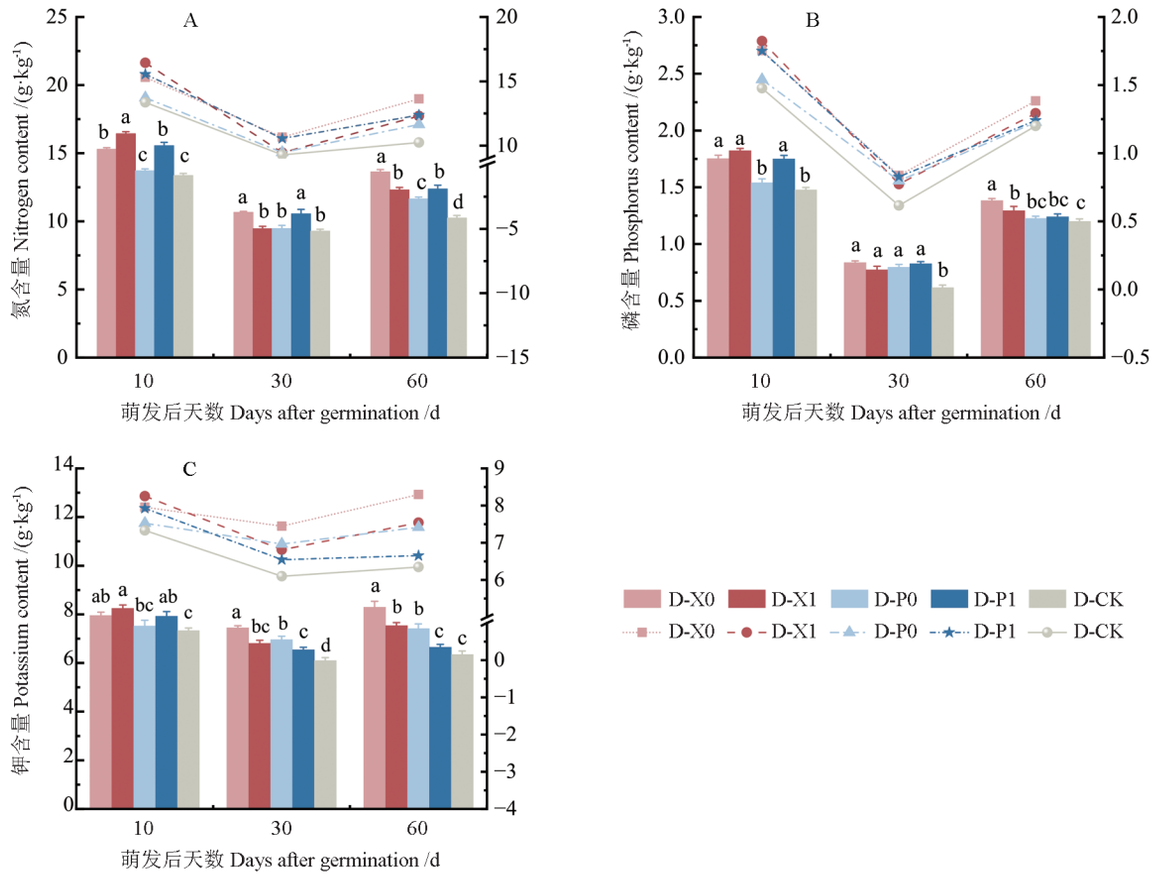


图 3　不同短截方式下油茶春梢叶片 N、P、K 含量

Fig. 3　Contents of N, P and K in leaves of spring shoots of *Camellia oleifera* under different truncation methods

表 2　春梢叶片中微量元素含量的双因素方差分析（*P* 值）

Table 2　Two-way analysis of variance (*P* value) of trace element content in spring shoot leaves

春梢生长时间段 Spring shoot growth period /d	处理 Treatment	Ca 含量 Ca content	Mg 含量 Mg content	Fe 含量 Fe content	Mn 含量 Mn content	Cu 含量 Cu content	Zn 含量 Zn content
10	剪口角度	*	*	ns	*	**	*
	留茬高度	ns	ns	*	*	*	ns
	剪口角度 × 留茬高度	ns	ns	*	*	ns	ns
30	剪口角度	ns	ns	ns	**	ns	ns
	留茬高度	*	ns	ns	ns	ns	ns
	剪口角度 × 留茬高度	ns	**	ns	*	ns	ns
60	剪口角度	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	留茬高度	**	*	ns	ns	ns	ns
	剪口角度 × 留茬高度	ns	ns	ns	ns	*	*

极显著差异；D-X0 处理显著提升了 Mg、Cu 含量；此外，各短截处理后 Zn 含量显著高于 D-CK，而 Mn 含量则显著低于 D-CK。可见，不同短截方式对春梢叶片微量元素含量具有明显的调节作用。

由时间变异特征可见，叶片 Ca 含量随时间持续上升，各处理方式在 10、30、60 d 间均呈极显著差异。叶片 Mg 含量在 D-X0 处理下，60 d 与 30、10 d 相比分别呈极显著和显著差异；D-X1 和 D-P0 处理下，30 d 与 10、60 d 均呈显著差异。而 Fe 含量在 D-X0、D-X1、D-P1 和 D-CK 处理下均呈先降后升趋势。其中，D-X0 处理在 60 d 时较 30 d 极显著提高了 26.52%；D-X1 和 D-P1 处理下，60 d 与 10、30 d 呈显著差异；D-P0 处理下，60 d 与 10、30 d 相比分别呈极显著和显著差异。各处理方式下 Mn 含量整体呈上升趋势，D-X0 和 D-X1 处理在 60 d 与 10、30 d 差异极显著；D-P1 处理下 30、60 d 较 10 d 均呈极显著升高。Cu 含量在不同处理方式下整体呈逐步下降趋势。其中，D-X0、D-P1 和 D-CK 在 30、60 d 时较 10 d 差异极显著，30 d 对比 60 d 差异显著；D-X1 处理在三个观测节

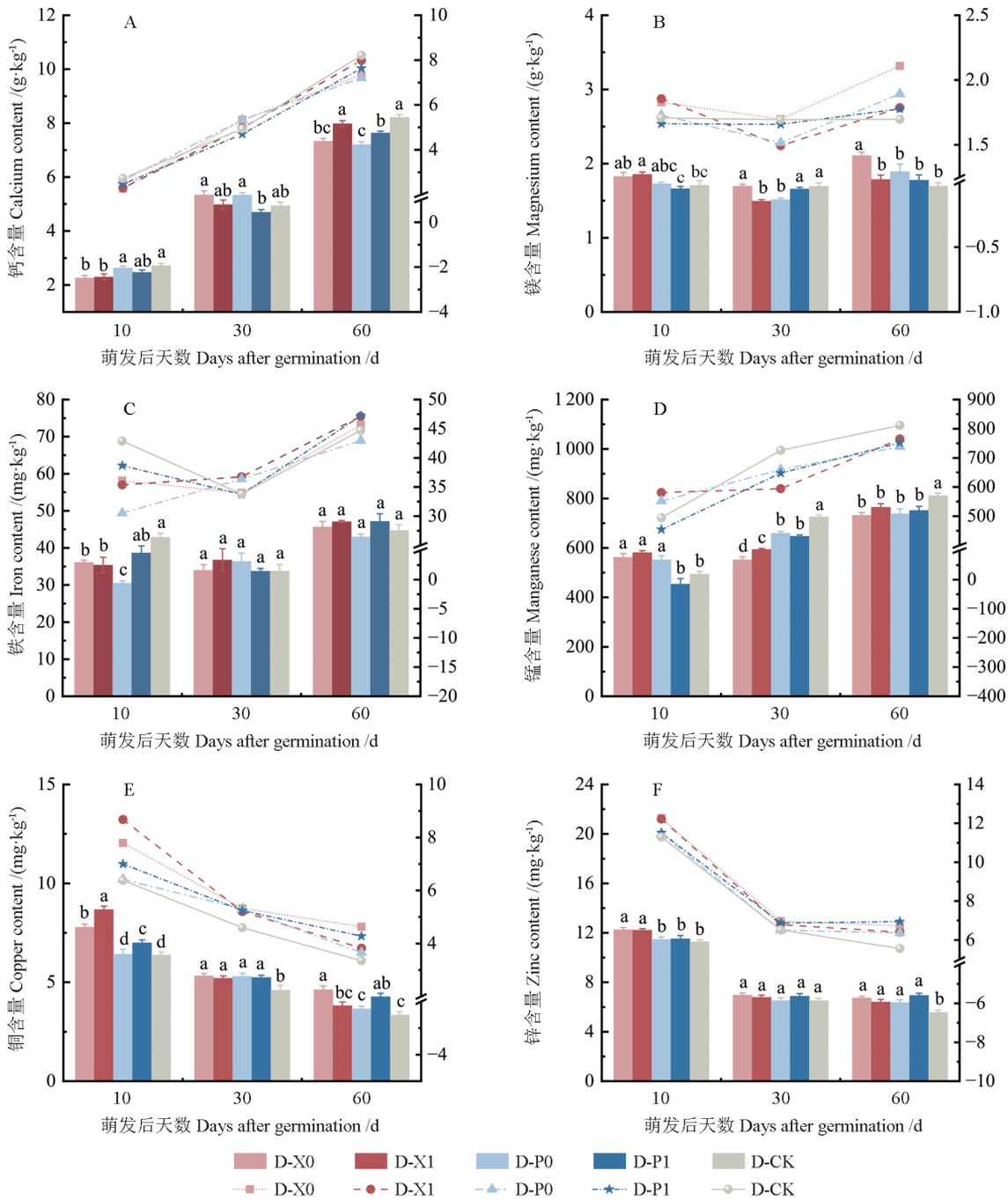


图 4　不同短截方式下油茶春梢叶片中微量元素含量

Fig. 4　The content of trace elements in spring leaves of *Camellia oleifera* under different truncation methods

点间均呈极显著差异；D-P0 处理下 60 d 与 10、30 d 相比分别极显著降低了 43.06% 和 31.08%。Zn 元素含量在各处理下均呈急剧下降后趋缓的变化趋势，在 30、60 d 时较 10 d 呈极显著差异。

2.2.3　不同短截方式对油茶春梢叶片非结构性碳水化合物的影响

由表 3 可以看出，在 10 d，留茬高度对春梢叶片中可溶性糖含量存在极显著影响。在 30 d，剪口角度和留茬高度均对叶片可溶性糖含量存在显著影响。在 60 d，剪口角度对叶片可溶性糖含量具有显著影响。

由图 5 可以看出，在 10 d，D-X0、D-P0 处理对比其他处理方式叶片可溶性糖含量显著提升；而淀粉含量仅 D-X0 处理下对比 D-CK 呈显著差异，含量提升了 23.59%。在 30 d，各短截处理对比 D-CK 均显著提升了可溶性糖含量，而淀粉含量仅 D-X0 较 D-CK 差异显著。在 60 d，D-X0 和 D-X1 处理对比 D-CK 显著提高了可溶性糖及淀粉含量。可见，短截修剪总体上提高了春梢叶片非结构性碳水化合物的含量，其中以 45° 修剪处理后效果更为显著，提升幅度表现为 D-X0 ＞ D-X1。

表 3　春梢叶片中可溶性糖、淀粉含量的双因素方差分析（*P* 值）

Table 3　Two-way analysis of variance (*P* value) of soluble sugar and starch content in leaves of spring shoots

春梢生长时间段 Spring shoot growth period /d	处理 Treatment	可溶性糖含量 Soluble sugar content	淀粉含量 Starch content
10	剪口角度	ns	ns
	留茬高度	**	ns
	剪口角度 × 留茬高度	ns	ns
30	剪口角度	*	ns
	留茬高度	*	ns
	剪口角度 × 留茬高度	ns	ns
60	剪口角度	*	ns
	留茬高度	ns	ns
	剪口角度 × 留茬高度	ns	ns

不同短截处理下春梢叶片中可溶性糖及淀粉含量在 10、30、60 d 表现为先上升再下降趋势，30 d 为峰值。D-X0、D-X1、D-P0 处理后叶片可溶性糖及淀粉含量在三个观测节点间均呈显著差异；D-P1、D-CK 处理的可溶性糖含量在 30、60 d 时显著高于 10 d，淀粉含量则在 10、60 d 时显著低于 30 d。综上，30 d 是春梢叶片非结构性碳水化合物累积的峰值期，30 d 前后春梢生长由碳储存与养分消耗的交替主导，是形态建成的重要转折期。

2.3　不同短截方式下油茶春梢叶片营养元素与生长性状的关系

图 6 为结构方程模型及拟合指标结果。模型的评估指数较为理想，可以有效反映出不同短截方式下油茶春梢营养元素与生长性状的关系。由图 6 可知，45° 不留茬处理对叶片大量元素、非结构性碳水化合物和叶片生长性状具有显著正向影响。90° 留茬处理对中微量元素表现出负向效应。不修剪处理对叶片中微量元素具有显著正向影响，但对叶片大量元素、非结构性碳水化合物和叶片生长性状具有显著负向影响。路径分析表明，叶片大量元素和非结构性碳水化合物均直接显著正向影响叶片生长性状，其中（叶片大量元素→叶片生长性状）的路径系数为 0.85，为影响最大的关键因子。

3　讨　论

3.1　不同短截修剪方式下春梢生长性状

在生产实践中，春梢是油茶当年新生叶片萌发的主要部位，亦是次年重要的结果枝，合理的春梢长度和叶片面积有利于冠层结构的舒展以及光照面积的增加，从而促进营养物质的积累 [17]。曹永庆等 [10] 的研究表明，疏剪和短截措施显著提高了春梢长度及其叶片氮、磷元素含量，本试验结果进一步证实，短截修剪对油茶春梢生长具有积极促进作用，与前述研究结论一致。具体而言，45° 不留茬修剪下春梢长度的提升效果最为显著；春梢基部直径则在 45° 不留茬及 90° 留茬 1 cm 修剪方式下提升效果最明显；而春梢叶片长度及宽度均在 45° 不留茬、45° 留茬 1 cm 及 90° 留茬 1 cm 修剪后在不同时间段显著提升。上述生长响应可能源于修剪后植物顶端优势被改变，衰老及干枯组织被剔除，叶片面积扩大且光合能力增强，进而整体促进春梢生长速率 [18]。综合生长性状、时间变异特征和生长速率来看，春梢生长在 30 d 前处于快速生长期，而后生长幅度明显减缓，表明春梢逐渐进入成熟阶段。

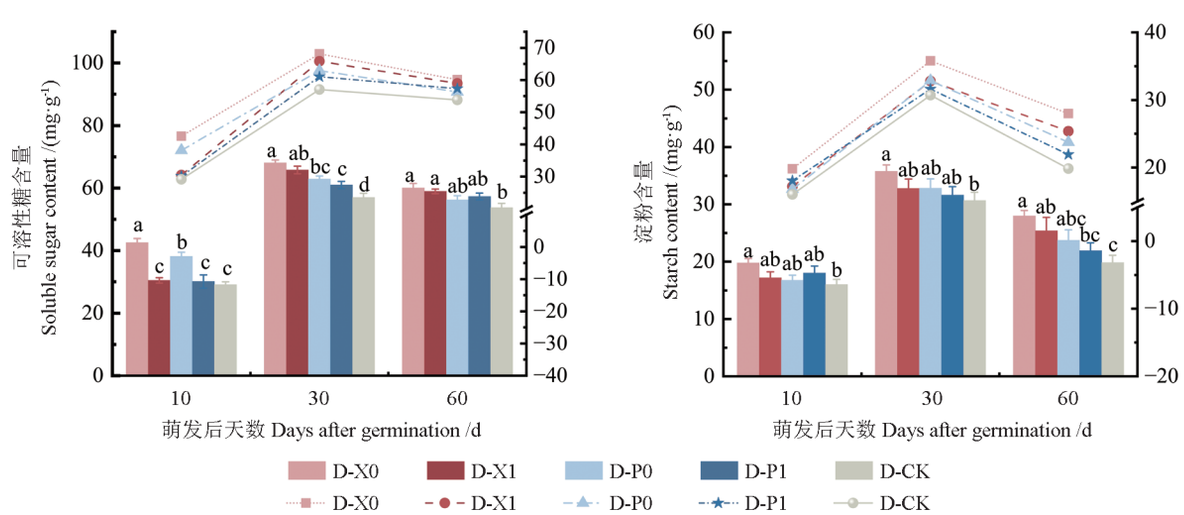
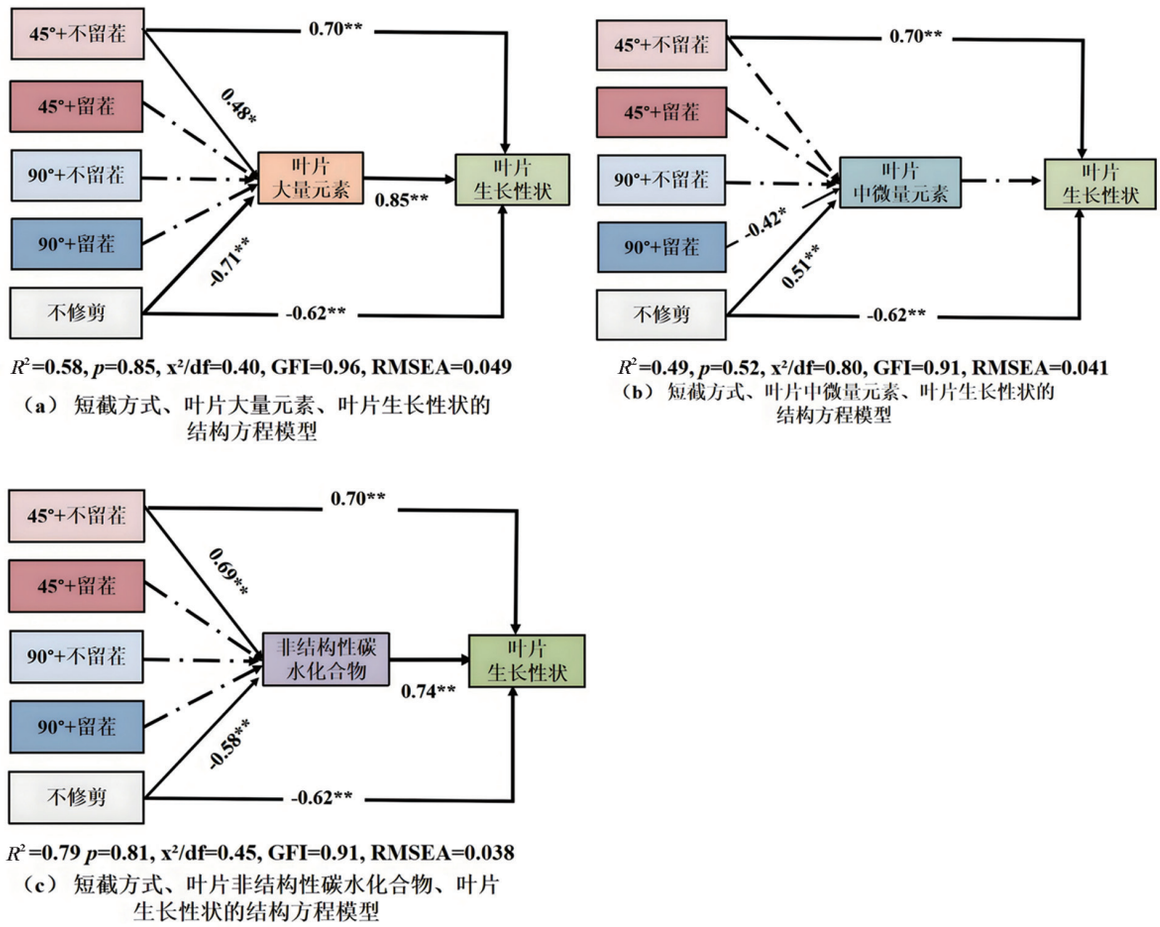


图 5　不同短截方式下油茶春梢可溶性糖、淀粉含量

Fig. 5　Soluble sugar and starch content in spring shoots of *Camellia oleifera* under different truncation methods



图中箭头方向指示变量间的关联方向，箭头旁数字为标准化路径系数：无负号的路径系数代表正向影响，带负号的路径系数代表负向影响；线条粗细反映影响关系强弱，线条越粗则影响程度越强。实线表示显著（$P < 0.05$），虚线表示不显著（$P > 0.05$）；* 表示 $P < 0.05$，** 表示 $P < 0.01$。
The direction of the arrows in the figure indicates the direction of the association between variables. The numbers beside the arrows are standardized path coefficients. Path coefficients without a negative sign represent positive influence, while those with a negative sign represent negative influence. The thickness of the lines reflects the strength of the influence relationship; the thicker the line, the stronger the degree of influence. Solid lines represent significance ($P < 0.05$), and dashed lines represent non-significance ($P > 0.05$); * indicates $P < 0.05$, and ** indicates $P < 0.01$.

图 6　不同短截方式对油茶春梢叶片营养元素和生长性状影响的结构方程模型

Fig. 6　Structural equation model (SEM) of the effects of different truncation methods on nutrient elements and growth traits of spring shoot leaves of *Camellia oleifera*

3.2　不同短截修剪方式下春梢叶片营养元素含量

修剪能够调节植物体内资源的分配格局与生长平衡，进而影响其对养分的吸收与分配能力，最终促进植物的生长发育[19]。在不同修剪处理下，春梢叶片中的营养物质含量表现出差异性响应。其中，大量元素含量在各短截修剪后均不同程度提升，并在植物发育过程中对分生组织的数量形成、质量构建以及抗逆性增强具有重要影响[20]。具体而言，剪口角度、剪口角度与留茬高度的交互作用均对大量元素存在显著影响，其中 45° 不留茬、45° 留茬 1 cm 和 90° 留茬 1 cm 修剪均能在不同程度上有效促进大量元素的富集。从结构方程模型来看，大量元素是调控叶片生长性状的关键驱动因子。其机制可能包括两方面：一方面，由于大量元素是易移动的元素，且修剪缩短了养分在木质部中的运输路径，修剪后树体快速调整自身营养物质分配，使其移动分配至生长旺盛部位[21]；另一方面，修剪可能通过激活植物内源激素信号网络，进而启动与大量元素代谢相关的特定信号转导途径[22]。

中微量元素在油茶生长发育过程中具有重要生理作用。其中，钙、镁在促进光合作用和营养转化运输等方面发挥重要作用[23-24]，而铁、锰、铜、锌则在树体抗逆性、呼吸作用和氧化还原反应等多方面发挥显著作用[25]。本研究中，不同时期剪口角度、留茬高度以及二者间的交互作用均对叶片中微量元素存在复杂影响。45° 不留茬及 45° 留茬 1 cm 处理下，多数中微量元素含量提升效果较为显著，并在时间动态上呈现波动性趋势变化，分析认为可能是由于短截修剪后，春梢生长势增强、蒸腾作用加快，叶片吸收能力也随之提升[26]。此外，值得注意的是，随着时间的推移，修剪对

锰元素表现出一定的负向调控效应，这或许与其在韧皮部中迁移性较低有关，导致其在修剪后难以实现由老叶向新生组织有效转运[27]。中微量元素的合理分配不仅有助于增强油茶的抗逆性，还对后期生长发育以及果实品质与产量具有积极影响。

3.3 不同短截修剪方式下春梢叶片非结构性碳水化合物含量

可溶性糖和淀粉是非结构性碳水化合物的主要组成物质，可以有效调控春梢的生理活性与能量储备，从而为植株整体的健壮生长与高产稳产奠定坚实基础[28]。本试验中，剪口角度和留茬高度对叶片可溶性糖含量分别具有极显著和显著影响；且各短截处理下叶片非结构性碳水化合物含量均呈提升趋势，其中以 45° 不留茬和 45° 留茬 1 cm 处理下效果提升更为显著，且淀粉含量在 3 个时间阶段均以 45° 不留茬处理下提升效果最显著；这是由于短截修剪后春梢叶片舒展度更高、叶片面积更大，光合作用得以增强，光合产物优先分配于叶片，从而使自身营养水平得到改善[29]。且春梢叶片 NSC 含量在 30 d 达到峰值后回落，可能是在 30 d 之前，春梢处于伸长期，需要大量养分供给生长，而在 30 d 之后其光合产物逐渐开始转运并存储起来，为后续发育提供备用能量。

4 结 论

综上所述，合理的短截措施不仅能改善春梢的生理活性，还能提升其对关键营养元素的吸收效率，为油茶高产稳产奠定良好基础。基于春梢物理性状、营养元素及非结构性碳水化合物的变化特征，剪口角度对营养物质积累的影响较为突出，同时，不同短截处理后春梢发育存在差异。其中，以 45° 不留茬处理在促进春梢生长、元素吸收与光合产物积累方面表现最优，并通过大量元素和非结构性碳水化合物正向调控叶片生长。结合时间因子进一步分析发现，在春梢生长过程中 30 d 是生殖生长及营养生长的关键拐点，且各营养元素呈差异性波动。推测油茶树体在春梢发育过程中，将有限的资源进行了生长繁殖和积累储备间的合理分配。为进一步验证该处理方式，后续可通过比对内源物质的变化趋势探讨其内在影响机制。同时，在生产实践中短截应注意结合不同立地条件、树龄差异及枝梢条件进行调整，以实现精准管理与高效栽培。

参考文献：

[1] 邓三龙 , 陈永忠 . 中国油茶 [M]. 长沙 : 湖南科学技术出版社 , 2019:1.
Deng S L, Chen Y Z. China *Camellia oleifera*[M]. Changsha: Hunan Science & Technology Press,2019:1.

[2] 唐慧雯 , 石德生 . 江西省油茶产业发展现状、存在问题及对策研究 [J]. 特产研究 ,2025,47(1):246-250.
Tang H W, Shi D S. Research on the development status quo, problems and countermeasures of oil tea industry in Jiangxi Province[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research,2025,47(1):246-250.

[3] 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站 . 中国油茶品种志 [M]. 北京 : 中国林业出版社 ,2016:2-4.
State Forest Farm and Forest Seedling Workstation of State Forestry Administration of China. Oil-tea *Camellia* cultivars in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House,2016:2-4.

[4] 肖萍 . 油茶果实生长发育的性状研究 [D]. 南昌 : 南昌大学 , 2014:1-6.
Xiao P. Study of fruit growing characters in *Camellia oleifera* Abel.[D]. Nanchang: Nanchang University,2014:1-6.

[5] 王森 , 钟秋平 . 油茶整形修剪 [M]. 北京 : 中国林业出版社 , 2010:11-14.
Wang S, Zhong Q P. *Camellia oleifera* shaping and pruning[M]. Beijing: China Forestry Publishing House,2010:11-14.

[6] 解子安 . 油茶树体精准调控技术研究 [D]. 长沙 : 中南林业科技大学 ,2025:2-4.
Xie Z A. Study on precise regulation technology of *Camellia oleifera* tree[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology,2025:2-4.

[7] Si Y Y, Lu Y F, Bai Q, et al. The combination of high-light efficiency pruning and mulching improves fruit quality and uneven maturation at harvest in *Camellia oleifera*[J]. Horticulturae,2024,10:343.

[8] 曹丽仙 , 曾建亮 , 刘书彤 , 等 . 修剪冠形对油茶穗条生长和质量的影响 [J]. 经济林研究 ,2020,38(2):77-83.
Cao L X, Zeng J L, Liu S T, et al. Effects of different pruned crown shapes in *Camellia oleifera* on growth and quality of scions[J]. Non-wood Forest Research,2020,38(2):77-83.

[9] 肖璐 , 王佳乐 , 王纯 , 等 . 不同修剪与施肥对油茶生长与花芽分化的影响 [J]. 四川林业科技 ,2025,46(2):52-58.
Xiao L, Wang J L, Wang C, et al. Effects of different pruning and fertilization methods on growth and flower bud differentiation of *Camellia oleifera*[J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology,2025,46(2):52-58.

[10] 曹永庆 , 汪舍平 , 王昆喜 , 等 . 不同修剪强度对油茶春梢和结实性状的影响 [J]. 安徽农业科学 ,2025,53(22):97-99,130.
Cao Y Q, Wang S P, Wang K X, et al. The effect of different pruning intensity on spring shoot and fruit traits in *Camellia oleifera*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2025,53(22): 97-99,130.

[11] 曹永庆 , 汪舍平 , 杜红亮 , 等 . 不同疏剪强度对油茶新梢生长

和矿质元素分配的影响 [J]. 农学学报 ,2018,8(5):31-34.
Cao Y Q, Wang S P, Du H L, et al. Different thinning quantities affect spring shoot growth and mineral elements distribution of oil-tea *Camellia*[J]. Journal of Agriculture,2018,8(5):31-34.

[12] 严江勤 , 曹永庆 , 姚小华 , 等 . 油茶春梢发育期叶片和果实中氮磷钾元素的动态变化 [J]. 中南林业科技大学学报 , 2016,36(2):50-55.
Yan J Q, Cao Y Q, Yao X H, et al. Changes of nitrogen, phosphorus, potassium contents in leaves and fruits during spring shoots development phase of oil-tea camellia[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2016,36(2): 50-55.

[13] 孙颖 , 雷小林 , 李建安 , 等 . 油茶树体调控对营养物质变化的影响 [J]. 草业科学 ,2014,31(4):711-716.
Sun Y, Lei X L, Li J A, et al. Effect of tree-controlling on nutrient of *Camellia oleifera*[J]. Pratacultural Science,2014,31(4): 711-716.

[14] 龙伟 , 姚小华 , 吕乐燕 , 等 . 修剪模式对油茶采穗圃穗条性状及矿质元素的影响 [J]. 西南农业学报 ,2018,31(7):1468-1476.
Long W, Yao X H, Lyu L Y, et al. Effects of pruning modes on scion character of *Camellia oleifera* L. and its content of mineral element in cutting orchard[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2018,31(7):1468-1476.

[15] 王开良 , 姚小华 , 申巍 , 等 . 修剪措施对油茶枝条和叶片生长及营养元素的影响 [J]. 东北林业大学学报 ,2016,44(7):13-18.
Wang K L, Yao X H, Shen W, et al. Effect of different pruning treatments on branch and leaf growth and nutrients element of *Camellia oleifera*[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2016,44(7):13-18.

[16] 杨丽琼 . 我国油茶产业化现状及发展思路 [J]. 农家参谋 , 2020(17):62,65.
Yang L Q. Present situation and development ideas of *Camellia oleifera* industrialization in China[J]. The Farmers Consultant, 2020(17):62,65.

[17] 胡英杰 , 范晓明 , 刘兴慧 , 等 . 油茶不同树体结构对光的响应及主要经济性状的差异分析 [J]. 江西农业大学学报 ,2024, 46(6):1522-1532.
Hu Y J, Fan X M, Liu X H, et al. Analysis of different tree structures for light response and the difference of main economic traits in *Camellia oleifera*[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2024,46(6):1522-1532.

[18] Cinosi N, Moriconi F, Farinelli D, et al. Effects of summer pruning on the water status and physiology of olive trees and on fruit characteristics and oil quality[J]. Scientia Horticulturae,2024,324: 112612.

[19] 叶常奇 , 李游 , 刘阳 , 等 . 短截强度对板栗结果枝和发育枝生长的影响 [J]. 经济林研究 ,2020,38(4):184-191.
Ye C Q, Li Y, Liu Y, et al. Effects of shortcut strength on the growth of fruiting and developing branches of Chinese chestnut (*Castanea mollissima*)[J]. Non-wood Forest Research, 2020,38(4):184-191.

[20] 张保全 , 胡勐鸿 , 欧阳芳群 , 等 . 修剪和摘芽对川西云杉采穗母树穗条产量和质量的影响 [J]. 中南林业科技大学学报 , 2023,43(1):33-42.
Zhang B Q, Hu M H, Ouyang F Q, et al. Effects of pruning and bud removal on the yield and quality of spike strips of *Picea likiangensis* var. *rubescens*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2023,43(1):33-42.

[21] Liu Y, Tian J, Liu B, et al. Effects of pruning on mineral nutrients and untargeted metabolites in fresh leaves of *Camellia sinensis* cv. Shuixian[J]. Frontiers in Plant Science,2022,13:1016511.

[22] Ali J, Mukarram M, Ojo J, et al. Harnessing phytohormones: advancing plant growth and defence strategies for sustainable agriculture[J]. Physiologia Plantarum,2024,176:e14307.

[23] Chen L R, Liu M Y, Cai Y J, et al. Magnesium deficiency differentiated effects on the roots growth and shoot metabolism by regulating the distribution of photosynthetic products in tea plants[J]. Scientia Horticulturae,2024,338:113748.

[24] 邓沁 , 袁军 , 卢胜 , 等 . 油茶林地中微量养分与果实经济性状的相关性 [J]. 经济林研究 ,2024,42(3):272-280.
Deng Q, Yuan J, Lu S, et al. Correlation between micronutrients and fruit economic traits in *Camellia oleifera* forest[J]. Non-wood Forest Research,2024,42(3):272-280.

[25] 冯名开 .‘ 岑软 3 号 ’ 油茶促春梢施肥与促花保果施肥初探 [D]. 南宁 : 广西大学 ,2022:50-53.
Feng M K. Preliminary study on fertilization of promoting spring shoots and fertilization of promoting flowers and fruits protecting of *Camellia oleifera* ‘Cenruan3’[D]. Nanning: Guangxi University,2022:50-53.

[26] 胡德玉 . 柑橘树冠层营养和果实品质的空间分布及郁闭植株改造的生理响应研究 [D]. 重庆 : 西南大学 ,2016:66-74.
Hu D Y. Research on spatial distribution of nutrition and fruit quality in canopy and the physiological response to different plant shaping of citrus[D]. Chongqing: Southwest University,2016: 66-74.

[27] Pongrac P, Tolrà R, Hajiboland R, et al. Contrasting allocation of magnesium, calcium and manganese in leaves of tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) plants may explain their different extraction efficiency into tea[J]. Food and Chemical Toxicology,2020,135: 110974.

[28] 冉宪智 , 覃世杰 , 廖仁雅 , 等 . 皮部物理处理对油茶春梢和皮部有机营养的影响 [J]. 经济林研究 ,2023,41(1):245-254.
Ran X Z, Qin S J, Liao R Y, et al. Effects of physical treatments on spring shoots and skin organic nutrition of *Camellia oleifera*[J]. Non-wood Forest Research,2023,41(1):245-254.

[29] Chu L W, Shi C J, Wang X, et al. The molecular mechanism and effects of root pruning treatment on blueberry tree growth[J]. Plants,2025,14:2269.

[本文编校：吴　彬]