

摘 要

龙眼是我国南方重要的果树，但龙眼产区普遍存在树体高大，果园郁闭，管理困难等问题，产业也面临劳动力日益昂贵和稀缺的新常态。提高管理效率，降低劳动力需求，需要将树冠压低，而重修剪是压低树冠的主要途径。重修剪往往引发枝梢徒长，需合适当的拉枝处理来控制枝梢旺长。修剪和拉枝在改善落叶果树的树体结构和提升光合作用以及产量方面有了一定的研究，但目前修剪和拉枝后对常绿果树的生物学效应及生理机制的研究尚较少。本研究选用的是广东省栽培面积最大的储良龙眼为实验材料，观测重修剪和拉枝对龙眼枝梢生长和成花影响，并探索其生理机理。追踪了修剪处理前后不同成熟度的叶片的光合速率、叶绿素荧光动力学、矿质营养、碳素营养的变化。重修剪刺激产生的旺盛生的新梢，除留部分以直立枝为对照外，其余进行拉枝处理，使其枝角约为 90° ，观测拉枝对龙眼枝条生长和成花的影响，分析拉枝处理枝梢叶片净光合速率（ P_n ）、叶绿素含量、叶绿素荧光、碳素营养水平、内源激素含量。主要研究结果如下：

1. 随叶片不断的成熟，叶片的 P_n 不断的升高。叶片的 P_n 与气孔导度（ G_s ）、蒸腾速率（ E ）以及 SPAD 呈正相关，而 P_n 与细胞间 CO_2 浓度（ C_i ）呈负相关。在末梢叶片成熟前，倒数 2、3 梢叶片光合功能最旺盛，而倒数第 4 梢叶片已经衰落，光合功能显著降低。嫩叶和衰老叶光合能力弱除气孔导度低外，还涉及非气因素孔限制。

2. 在不同梢次中，末次梢叶片的 N、P、K 含量显著高于倒 2、3 和 4 次梢的含量，但后三者含量无显著性差异；而倒第 4 次梢的叶片中 Ca、Zn、Mn、Fe、B 元素的含量显著高于末次梢，而 Mg 元素的含量无显著性差异；随叶片成熟，Cu 元素的含量呈先下降后上升的趋势。因此，大量元素整体在新叶含量高，而中微量元素含量老叶整体上高于新叶。

3. 重修剪处理后，留树的内膛老叶和外围新叶净光合速率 P_n 、 G_s 、 E 、叶绿素 a/b 以及最大荧光（ F_m ）、最小荧光（ F_o ）显著上升；而 C_i 、 F_v/F_m 以及 ΦPS_{II} 显著降低，说明重修剪后叶片气孔开度提高，也使提高羧化效率，但也发生了明显的光抑制现象，部分老叶出现明显光伤害症状。重修剪处理还导致老叶的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量以及类胡萝卜素含量显著降低，而对新叶的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量以及类胡萝卜素含量无显著性差异。重修剪显著增加了老叶的 N、P、Ca 元素的含量，以及新叶中的 N、Ca 元素的含量，但显著降低了新老叶中 Fe 元素的含量，

对 K、Mg、B、Mn、Zn 无影响。

4. 拉枝显著降低了枝梢的节间长度、枝梢长度，但显著增加了枝梢的节位数、侧芽数以及成花率。拉枝增加了叶片 Pn、SPAD 以及白坚木皮醇和 Ca、Mg、Mn、B 元素的含量；但降低了 Ci、总糖、葡萄糖、蔗糖和 P 的含量，果糖和淀粉的含量呈现先升后降的趋势。说明拉枝有利于叶片光合作用，抑制枝梢伸长生长势，刺激侧芽萌发成侧枝，而消耗了碳素营养。

5. 拉枝可显著降低幼叶赤霉素（GAs）、生长素（IAA）含量，但显著增加了幼叶中脱落酸（ABA）和细胞分裂素（CTK）含量以及 CTK/IAA 的比值。说明拉枝可以通过降低幼叶 IAA 和 GAs 而抑制枝梢伸长生长；通过提高幼叶 CTK/IAA 而促进侧芽萌发。然而，拉枝处理可显著提高顶芽中 IAA、CTKs、GAs 含量，而显著降低 ABA 含量，这可能有利于顶芽分生组织细胞分裂，而导致了拉枝后节位数反而增加。

综上所述，重修剪配合拉枝处理可以改善树冠通风透光，提高叶片光合作用，降低树冠高度，抑制枝梢徒长，提高成花率，从而提高管理效率，增加经济效益，值得推广应用。

关键词：重修剪；拉枝；龙眼；光合作用；矿质营养；内源激素

缩略词及英汉对照

英文缩写	英文全称	中文全称
ABA	Absciscic acid	脱落酸
B	Boron	硼
Ca	Calcium	钙
Ci	Inter-cellular CO ₂ Concentration	细胞间 CO ₂ 浓度
CTK	Cytokinin	细胞分裂素
Cu	Cuprum	铜
DHZR	Dihydrozeatinriboside	二氢玉米素核苷
E	Transpiration Rate	蒸腾速率
Fe	Ferrum	铁
Fm	maximal fluorescence	最大荧光
Fo	minimal fluorescence	初始荧光产量
Fv/Fm	optimal/maximal quantum yield of PSII	PSII最大光化学量子产量
GA	Gibberellin	赤霉素
Gs	Stomatal Conductance	气孔导度
IAA	Indole-3-acetic acid	吲哚乙酸
iP	Isoamyl alkenyl adenine	异戊烯基腺嘌呤
K	Potassium	钾
Mg	Magnesium	镁
Mn	Manganese	锰
N	Nitrogen	氮
P	Phosphorus	磷
Pn	Net photosynthetic rate	净光合速率
Φ PSII	PS II actual photochemical efficiency	PSII实际光化学效率
Zn	zinc	锌
ZR	Trans-Zeatin-riboside	玉米素核苷
ZT	Zeatin	玉米素

目 录

1 前言	1
1.1 龙眼产业发展现状及存在的问题	1
1.2 修剪对果树影响的国内外研究进展	2
1.3 拉枝对果树影响的国内外研究进展	3
1.4 本研究的目的地及意义	5
2 材料与方法	6
2.1 试验材料	6
2.2 实验处理	6
2.3 观测指标及测定方法	7
2.3.1 叶片 SPAD 的测定	7
2.3.2 叶片叶绿素含量的测定	7
2.3.3 叶片光合参数的测定	7
2.3.4 叶片叶绿素荧光参数的测定	8
2.3.5 叶片矿质营养含量的测定	8
2.3.6 叶片及枝条碳素水平的测定	8
2.3.7 枝梢长度、节位数、节间长度的测量	9
2.4 腋芽数与成花枝率的调查	9
2.5 植物内源激素含量的测定	9
2.5.1 样品处理	9
2.5.2 色谱质谱检测方法	9
2.6 数据处理与分析	10
3 结果与分析	11
3.1 不同梢次龙眼叶片光合作用、SPAD 及矿质营养动态的比较	11
3.1.1 叶片光合作用参数	11
3.1.2 叶片 SPAD	12
3.1.3 不同梢次对龙眼叶片矿质营养含量的影响	13
3.2 重修剪处理对龙眼叶片生理状态的研究	14
3.2.1 重修剪对龙眼叶片叶绿素含量的影响	14

3.2.2 重修剪处理对龙眼叶片叶绿素荧光参数的影响	15
3.2.3 重修剪处理对龙眼叶片光合参数的影响	17
3.2.4 重修剪处理对龙眼叶片矿质元素含量的影响	18
3.3 拉枝处理对龙眼枝梢及叶片功能生理状态的研究	20
3.3.1 拉枝处理对龙眼枝梢伸长的影响	20
3.3.2 拉枝处理对龙眼枝条节位数的影响	20
3.3.3 拉枝处理对龙眼枝条节间长度的影响	21
3.3.4 拉枝处理对龙眼枝条萌芽率的影响	21
3.3.5 拉枝处理对龙眼成花率的影响	22
3.3.6 拉枝处理对龙眼叶片叶绿素含量及 SPAD 的影响	23
3.3.7 拉枝处理对龙眼叶片光合参数的影响	24
3.3.8 拉枝处理对龙眼叶片和枝条碳素营养水平的影响	25
3.3.9 拉枝处理对龙眼叶片矿质元素的影响	27
3.3.10 拉枝处理对龙眼叶片内源激素的影响	30
4 讨论	37
4.1 不同梢次叶片光合功能与矿质营养差异	37
4.2 重修剪处理对龙眼内膛叶片生理状态影响的研究	38
4.3 拉枝处理对龙眼枝梢生长及生理影响	39
4.3.1 拉枝对龙眼枝梢生长发育及叶片光合功能的影响	39
4.3.2 拉枝对龙眼枝梢营养状态的影响	40
4.3.3 拉枝对龙眼叶片内源激素变化的影响	40
5 结论	42
参考文献	43
致 谢	51

1 前言

1.1 龙眼产业发展现状及存在的问题

龙眼 (*Dimocarpus longan* Lour.)，是无患子科龙眼属的常绿乔木果树（中国植物志编委会，1985）。荔枝、柑橘、香蕉和龙眼合称南方四大果树，是我国南方主要经济果树（齐文娥等，2016）。龙眼果肉中含有多种氨基酸、微量元素及维生素等营养成分（彭成绩，2000），对人体有益气补血，增强记忆力、安神定志、养血补胎等功效（肖更生，2004）。由于龙眼具有很高的食用价值和药用价值，所以从古到今龙眼果肉都被视为珍贵的补品。

目前，栽培龙眼的国家和地区主要有中国、泰国、越南、马来西亚等等。我国龙眼主产区有广西、广东、福建等，此外，海南、四川、贵州等省份也有所栽培。国内虽有 400 多个龙眼品种或株系记载，而主栽品种少，有石硖、储良、福眼、大乌圆等，其中，储良栽培面积最大（广东省茂名市统计局，2021）。随着龙眼栽培面积不断扩大，龙眼产业出现诸多问题。目前，我国龙眼产业主要存在品种单一，产期集中；树体高大，不便管理；同时面临劳力稀缺，成本日增的问题；在国内市场还面临来自泰国和越南大量进口龙眼的巨大压力。我国龙眼的采收期大部分集中在 6 月下旬至 10 月下旬之间，而泰国的龙眼可周年采收，这导致了国产鲜龙眼价格出现季节性下跌（汪汇源，2019）。据海关调查统计，2021 年 1 月至 10 月，我国龙眼及制品进出口贸易总额为 63544.1 万美元，其中进口额为 61571.1 万美元，而出口额为 1973 万美元，国际贸易严重失衡，进口主要来自泰国和越南。我国龙眼市场受东盟国家的冲击，国内市场竞争激烈，丰产后往往出现价格低迷。2021 年广东省所有龙眼品种的单价有所下降，总体均价（1.93 元/斤）相比 2020 年（3.22 元/斤）下降了 40.06%（广东省农业农村厅，2021）。低价格、管理成本日益升高也导致大面积果园粗放管理，甚至失管、弃管的主要原因（陈厚彬，2017）。而粗放管理又导致产量和品质保障降低，进一步降低产业效益。

龙眼产量和品质形成对管理水平要求高，从上世纪 80 年代初至今，大部分龙眼果园的树龄已达二三十年之久。随着树龄的增加，树冠也不断变高，部分老龄树已有 6-10m 之高。树体高大、果园郁闭易滋生病虫，造成果园管理和采收困难。在劳动力日益稀缺昂贵的环境下，压低树冠，改善果园环境，提高树体管理效率，势在必行。重修剪是压低树冠的主要措施，但重修剪往往刺激新梢徒长，又会形成高大的树冠，

也不利花芽分化。因此，对徒长梢进行拉枝处理，可以避免这问题。因此，本课题将分析龙眼重修剪对叶片光合功能和营养状态的影响，探索拉枝对枝梢生长和成花，叶片光合功能及碳素营养和矿质营养的影响，从内源激素角度分析拉枝效应的生理机理，为重修剪后树冠管理提供参考。

1.2 修剪对果树影响的国内外研究进展

整形修剪是指对树体的枝条进行剪截（短截、回缩、拉枝等）并修剪成一定形状的技术措施(刘权，2000)。通过整形修剪可控制果树树冠的大小，调节枝类比例，平衡树体生长（Peter and Lehmann, 2000）。修剪可以改善果园的生长环境，提高树冠的光捕获量，增加叶片的光合效率，提高碳素营养的水平（Wagenmakers, 1996; Widmer and Kreh, 2001），从而达到提高果实产量和品质的目的。合理的修剪可以调节枝组结构比例、枝叶的分布、控制树冠大小以及影响新梢的生长量等作用（柳尚燕，2018）。杜社妮等（2012）对衰老的“富士”苹果进行更新修剪，可降低树体的冠层高度，增加徒长枝、长枝、中枝量及比例。吴振华（2018）研究了不同修剪方式对苹果幼树的生理影响，结果表明：修剪可以提高新梢的生长，快速形成骨干枝，也可以提高萌芽率，但会降低成花率。

树形结构是影响光照分布的主要因素(Tustin *et al.*, 1988)，不同的树形结构，其树冠叶幕的光截获量和光照分布情况不同（董树亭等, 1992; 姜红英和张大鹏, 1994），这就导致树冠内部的微环境有所区别。而植物光合作用的主要器官是叶片，光照分布不均会影响叶片的厚度、叶面积的大小以及叶绿素的合成等（王跃进等，1998; Warrington *et al.* 1996）。许多学者研究认为，合理的修剪可以提高树冠内部的光照、温度，提升叶片的净光合速率（ P_n ）、气孔导度（ G_s ）和蒸腾速率（ E ），降低叶片的细胞间 CO_2 浓度（ C_i ）（李明霞等，2011；邓朝军，2018）。程建峰等（2009）人研究表明，修剪可以提高二球悬铃木叶片的 P_{max} ，提高叶片对低浓度 CO_2 的同化率。夏季去新梢修剪可以提高内膛老叶的 P_n 和 E （Taylor and Ferree, 1981）。而光合作用与树体的碳素营养供应水平有直接的关系，光合速率提高就会制造更多的光合产物。李明霞等（2011）人研究发现，更新修剪可以提高山地苹果的叶面积以及叶绿素含量。并提高了枝条、叶片中 N、P、K、Ca 等矿质元素的含量。樊卫国等（2011）人对野刺梨进行回缩更新修剪的研究表明，回缩修剪可以增加新叶的 N、P、K、Zn 等元素的含量，但对新梢的 Ca、Mg、Fe 元素的含量没有影响。但也有人的研究结果与之相

反，卢美英等（2004）和黄永敬等（2006）等研究发现重回缩修剪后大乌圆龙眼枝条严重徒长，降低了叶片中N、P、K、Ca、Cu、Fe、B、Mn等元素的含量。王燕燕等（2019）研究发现，修剪的时期不同叶片中的矿质元素含量的变化也不同。综上所述可知，合理的修剪可以改变树体的库-源关系，从而调节养分的分配，进而调节源叶光合作用和器官碳素营养水平。

植物激素对植物生长发育和营养分配具有重要的调控作用。植物内源多种激素间也有复杂的互作，包括相互促进、诱导、拮抗等（熊国胜等，2009）。修剪可以促进新梢的生长，改变树体各器官的数量以及各部分组成的比例关系，打破植物内原有的内源激素的分布和平衡。前人对苹果进行冬季修剪处理后研究发现，冬季修剪可以提高主干内的生长素（IAA）、赤霉素（GAs）、细胞分裂素（CTK）的含量，特别是提高了游离CTK含量，而降低了结合态的CTK含量（祝集，1985）。冬季修剪对苹果新根CTK含量有影响，且不同种类的CTK分布情况有所变化（陈美霞，1995）。修剪可以增加树体内游离态CTK的含量（Mika *et al*, 1978）。王雅倩（2012）发现，修剪越重芽内的IAA、GAs和玉米素(ZT)含量越高，而脱落酸(ABA)的含量就越低。

综上所述，整形修剪可以解决果园郁闭、树冠高大、内膛透光等问题。但修剪后会出现枝条严重徒长，过度消耗养分，无法进行生殖生长的转换（卢美英等，2004）。梁森苗等（2018）对杨梅进行修剪可以矮化其树冠大小，增加外围新梢数量，但通过开张角度可以缓和树体的生长势，增加果实的可溶性糖、Vc等营养物质，达到即矮化树体高度，又提高果实品质的目的。

关于龙眼重修剪的研究虽有一定报道，但尚不够系统。采用重回缩修剪、隔行间伐修剪等方式可以改造低产郁闭的龙眼果园（玉桂成等，2015）。林智明（2006）对老龄龙眼进行回缩修剪处理结果表明，疏缩修剪可使老龄树势更新复壮，且营养生长旺盛，部分枝条萌发但不会成花结果。修剪可以使叶片中乙烯和IAA降低，GA3、ZT含量的增加，从而不利于龙眼进行花芽分化，但可通过喷施PP333和氯酸钾调节树体营养平衡，促进花芽分化（黄永敬等，2006；李建光等，2013）。然而，重修剪对龙眼叶片光合功能、叶片光抑制发生、叶片营养状态的影响尚缺乏深入研究。

1.3 拉枝对果树影响的国内外研究进展

拉枝就是人为的改变枝条生长的方向，空间位置，即可以向上拉枝也可以向下拉

枝。拉枝已经被证实是控制树体旺长、促进开花结果最有效的措施之一。并被广泛应用于高密、高产的欧洲矮砧苹果园和北方落叶果树中(Costes *et al*, 2006)。目前,生产上采用的拉枝方式主要有拿枝、扭梢、拧枝等管理措施。Lawes 等(1997)研究结果表明拉枝能够抑制梨树枝梢的旺盛生长。拉枝可以抑制顶端优势,降低苹果新梢的枝梢长度(Mike, 1969)。随拉枝角度的增加,苹果枝梢长度逐渐降低,而枝条总量在增加(冯毓琴等, 2016)。宁万军等(2020)对‘温 185’核桃进行了拉枝刻芽处理发现,90°拉枝处理下枝条抽生率达到 67.72%,拉枝角度越大,枝梢长度及粗度越小,但坐果率显著高于直立枝。许家辉等(2003)对枣树研究发现,小角度的拉枝(>0°~≤30°)会促进枝梢旺长,达不到矮化树冠的目的。而大角度的拉枝(>60°)会抑制枝梢旺长,促进不定芽大量萌发,改变枝组结构。

通过拉枝措施改变树冠内部的枝条的空间布局,使其达到一个合理的树体结构。王凯等(2009)对黄波罗(*Phellodendron amurense* Rupr.)研究表明,遮阴显著降低了植物的 Pn、暗呼吸速率和光补偿点等参数。李美美等采用重回缩配合拉枝处理即可以扩大树冠,提高树冠内部叶片的 Pn 又可以控制营养生长。但树冠内部叶片曝光后,其叶片的 Fv/Fm 下降速度最快,恢复也快,重回缩加拉枝处理提高了叶片光系统II的光化学活性,但也发生光抑制现象(李美美等, 2014)。拉枝可以增加总叶绿素的含量,提高净光合速率,从而增加光合产物(张仕杰等, 2012)。许利军(2004)研究结果表明,拉枝促进中短枝的形成,有利于苹果开花坐果。

将直立的枝条弯曲可促进花芽分化(Meilan, 1997; Ito *et al*, 1999)。张伯虎等(2018)对苹果进行拉枝处理表明,随着拉枝角度的增加,成花率在不断的增加。巴梨幼树进行拉枝处理后的成花率是对照的 3 倍,而对照的新梢生长量是拉枝的 2 倍之多,说明拉枝可以减缓营养生长,提高成花坐果率(李素艳等, 1995)。朴松树(1990)发现,拉枝虽然会削弱新梢的生长势,但并不影响果树在生长发育过程中贮存营养物质的器官形成。随树龄的增加,果树叶片制造的光合产物主要集中在地上部的枝条的主轴中(赵德英等, 2009),但不同种类枝条之间差异很大,直立枝输出的营养多,横向枝输出的少(束怀瑞等, 1993)。余拱鑫等(2012)对“嘎啦”苹果进行拉枝处理研究结果表明,拉枝角度越大叶片中的淀粉和可溶性糖积累的越多,氮元素含量越少。Keller 等(1998)通过对苹果的研究,发现氮元素对苹果树的生长发育起着至关重要的作用,氮元素的积累可以促进果树的营养生长和生殖生长并可以提高产量以及果实品质。杨勇(2010)发现拉枝 90°可以增加富士苹果叶片中

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/718055125067007023>