

文章编号: 1674-7054(2021)03-0326-07



白木香人工结香初期营养元素及 叶片叶绿素含量的变化

王龙仁^{1,2,3}, 曾 军^{2,3}, 刘双龙¹, 王雅丽^{2,3}, 孙会举¹,
王 熙¹, 杨福孙¹, 戴好富^{2,3}

(1. 海南大学 热带作物学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院 热带生物技术研究所/海南省沉香工程技术研究中心, 海口 571101; 3. 中国热带农业科学院 海南热带农业资源研究院, 海口 571101)

摘 要: 为了探究白木香(*Aquilaria sinensis*)人工结香初期营养代谢变化规律, 明确结香期白木香合理的施肥技术。以4年生白木香为研究对象, 以未结香白木香植株为对照, 进行人工打洞结香处理, 分析结香初期白木香植株叶片、结香部位树皮以及木质部营养元素含量变化, 同时测定叶片叶绿素含量变化。结果表明: 1. 白木香结香初期叶片中大量元素氮、磷、钾和微量元素铁、锌养分含量呈现减少趋势, 钙、镁、铜、锰元素含量上升, 但只有锌、锰元素的变化达到差异显著水平; 结香部位树皮氮、磷、钙、铁、锌、锰元素含量呈增加趋势, 钾、镁、铜元素呈下降趋势, 其中铜、铁、锌、锰元素含量变化显著; 结香部位木质部氮、磷、钾、钙、镁、铜、铁、锌、锰全部呈现上升趋势, 且钙、镁、铜、锰含量变化达到差异显著水平; 说明结香初期植株营养元素含量变化与土壤养分相关性不显著。2. 与未结香白木香相比, 结香后植株叶片营养元素含量/结香部位木质部营养元素含量比值中, 氮、磷、钾、镁、铜、铁、锌元素比值显著下降, 而钙、锰比值变化不显著, 表明营养元素向结香部位迁移趋势明显。3. 白木香结香后叶片叶绿素含量呈上升趋势, 但没有达到差异显著水平。

关键词: 白木香; 结香; 营养元素; 叶绿素含量

中图分类号: S 796; S 365 **文献标志码:** A

引用格式: 王龙仁, 曾军, 刘双龙, 等. 白木香人工结香初期营养元素及叶片叶绿素含量的变化[J]. 热带生物学报, 2021, 12(3): 326-332. DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2021.03.008

白木香(*Aquilaria sinensis*)为瑞香科(Thymelaeaceae)沉香属(*Aquilaria* Lam)植物, 是我国特有的产沉香植物和药用沉香的法定基原植物^[1-4], 主要分布于我国的广东、海南、广西和云南等地^[3]。近年来, 随着野生白木香生境的片段化和人为掠夺式开采导致白木香野生资源处于濒危状态^[5]。尽管现在白木香的人工栽培规模逐年增加, 但白木香漫长的结香周期和复杂的结香过程, 导致沉香质量和产量仍远远不能满足沉香市场的需求^[6]。白木香人工栽培植株的生长和结香的周期长达5~8 a, 甚至更长, 科学的栽培技术对于促进白木香人工林的生长、结香具有重要意义。营养元素代谢作为白木香植株生长、发育、沉香形成的物质基础是高效栽培技术集成不可缺少的理论基础与科学依据。近年来, 国内外对于白木香营养元素代谢的研究多集中于白木香生长特定时期(如幼苗期等)的营养管理对其生理生长的影响等方面^[7-13], 对在成龄树结香过程中受到强烈人为或者自然因素干预、胁迫阶段的营养代谢方面的研究较少, 为此成龄树结香阶段白木香植株营养代谢规律理论有待丰富。白木香结香过程是植株在自然或者人为因素影

收稿日期: 2020-10-16

修回日期: 2020-12-02

基金项目: 国家重点研发计划中医药现代化研究重点专项(2018YFC1706404); 中国热带农业科学院院级创新团队南药产业技术创新团队项目(1630052017001); 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-21)

第一作者: 王龙仁(1996-), 男, 海南大学热带作物学院 2019 级硕士研究生. E-mail: 1011951984@qq.com

通信作者: 杨福孙(1975-), 男, 教授, 研究方向: 作物栽培生理生态. E-mail: fsyang1590@163.com; 戴好富(1974-), 男, 研究员, 研究方向: 天然产物化学. E-mail: daihaofu@itbb.org.cn

响下进行防御性次生产物代谢、积累、转化的过程^[14],该过程中是否伴随着营养元素代谢规律的改变,以及结香与营养是否存在协同过程有待研究。研究表明,沉香的形成过程伴随着淀粉的转化^[15],但该过程中营养元素的代谢是否与光合产物的积累、代谢、转化存在关联亦需要进一步明确。笔者拟通过分析在白木香结香初期阶段伴随着沉香的形成白木香植株的营养元素、叶片叶绿素含量等指标的变化,开展白木香结香初期营养元素与结香协同变化规律的研究。成龄树结香阶段营养元素代谢规律的研究对于丰富白木香结香理论内容,指导通过营养代谢途径调控沉香的生产具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 材料 试验材料为中国热带农业科学院文昌试验基地4年生的热科2号白木香植株。试验地位于海南省文昌市迈号镇(E 110°45'36.19", N19°32'17.11"),土壤类型为冲积土,质地为沙壤土,土壤养分状况整体偏中下(表1)。

1.2 试验处理与取样 选取长势具有代表性的植株20株,采用人工打洞法在植株树干部位间隔5 cm左右的距离打洞(直径为0.5 cm)并贯穿树干。打洞处理2个月后,在开始出现结香迹象的植株上分别在叶片、结香部位树皮及木质部上进行取样,3次重复;以同地同时期种植且未进行打洞结香处理的热科2号植株为对照,对照的取样方法与处理植株相同。采用“S”型混合取样法,采集试验地块土层深度0~30 cm土壤样品进行营养状况分析。

1.3 样品分析方法 土壤指标测定方法:土壤全氮采用半微量开式法测定;土壤碱解氮采用碱解扩散法测定;土壤全磷采用高氯酸氧化,钼锑抗比色法测定;土壤有效磷采用氟化铵浸提,钼锑抗比色法测定;土壤全钾采用NaOH熔融,火焰光度计法测定;土壤速效钾采用NH₄OAc浸提,火焰光度计法测定;土壤中微量元素采用原子吸收分光光度法(AAS法)测定^[16]。每指标均重复3次,取其平均值。

叶片叶绿素含量测定方法:采用乙醇浸提法^[17]测定叶片叶绿素含量。具体方法:称取0.5 g新鲜叶片剪碎于20 mL 95%乙醇中,在室温下浸提至叶片绿色褪去,将提取液过滤到50 mL容量瓶定容,以95%乙醇作为空白对照,分别在663、645 nm波长下测定吸光度,并分别计算叶片叶绿素a、叶绿素b含量,两者之和为叶片叶绿素含量。重复3次,取其平均值为测定值。

植物样品测定方法:植物的全氮测定采用H₂SO₄-H₂O₂消煮,奈氏比色法测定;植物的全磷测定采用H₂SO₄-H₂O₂消煮,钼锑抗比色法测定;植物的全钾测定采用马弗炉灰化,火焰光度计法;植物的中、微量元素测定采用马弗炉灰化,原子吸收分光光度法测定^[16]。每指标均重复3次。

1.4 数据分析与作图 采用Microsoft Excel完成试验数据的整理、计算和作图。采用SAS9.0进行数据处理与统计分析,相同指标进行T测验比较,以不同大写字母表示极显著差异($P<0.01$),不同小写字母表示显著差异($P<0.05$)。

表1 试验地土壤养分状况

Tab. 1 Soil nutrient regime at the experiment site		
土壤养分	含量/(mg·kg ⁻¹)	分级等级
全氮	297.73±17.32	6
碱解氮	51.33±1.76	5
全磷	592.50±198.55	4
有效磷	36.05±6.96	2
全钾	1375.62±78.5	6
速效钾	31.24±1.14	5
交换钙	279.25±10.44	5
交换镁	39.21±2.21	4
有效铜	0.72±0.14	3
有效铁	17.87±3.45	2
有效锌	1.49±0.29	2
有效锰	11.64±1.94	3

注:根据全国第二次土壤普查养分分级标准,全氮、全磷、全钾1,2,3,4,5,6分别代表很高,高,中上,中下,低,很低水平;碱解氮、有效磷、速效钾1,2,3,4,5,6分别代表极高,很高,高,中,低,很低水平;钙、镁、铜、锌、铁、锰1,2,3,4,5分别代表很高,高,中,低,很低水平。

Note: According to the nutrient classification standard of the second national soil survey, total nitrogen, total phosphorus and total potassium 1, 2, 3, 4, 5, 6 represent very high, high, upper middle, lower middle, low, and very low levels, respectively. Available nitrogen, available phosphorus, available potassium 1, 2, 3, 4, 5, 6 represent extremely high, very high, high, medium, low, and very low levels, respectively. Calcium, magnesium, copper, zinc, iron, manganese, 1, 2, 3, 4, 5 represent very high, high, medium, low, and very low levels, respectively.

2 结果与分析

2.1 白木香结香初期叶片叶绿素含量变化 白木香人工打洞结香初期的叶片叶绿素含量分析结果(图1)表明,结香后白木香叶片叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量均呈上升趋势,但与未结香对照植株相比,均未达到差异显著水平。叶片叶绿素含量的提高可能是白木香植株对人工打洞结香形式的人为损伤胁迫产生的响应,叶片叶绿素含量的提高可为增加光合产物的输出促进树体伤害的修复奠定物质基础。

2.2 结香初期白木香植株的大、中量元素含量的变化 结香初期,白木香的叶片、结香部位树皮和木质部的大、中量元素的分析结果(图2)表明,结香植株叶片的氮、磷、钾营养元素含量呈下降趋势;钙、镁呈现上升趋势,但均未达到差异显著水平。树

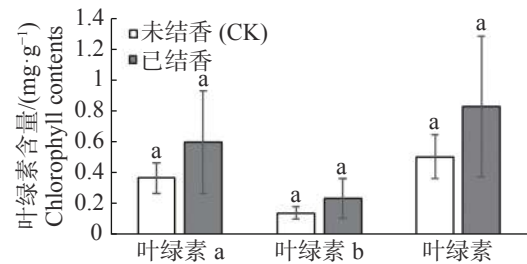


图1 结香初期白木香叶片叶绿素含量的变化

不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示不同处理间极差异极显著($P < 0.01$)

Fig. 1 The change of leaf chlorophyll content of *A. sinensis* at the early agarwood inducing stage

Different lowercase letters means significant difference at 0.05 level; different uppercase letters means highly significant difference at 0.01 level.

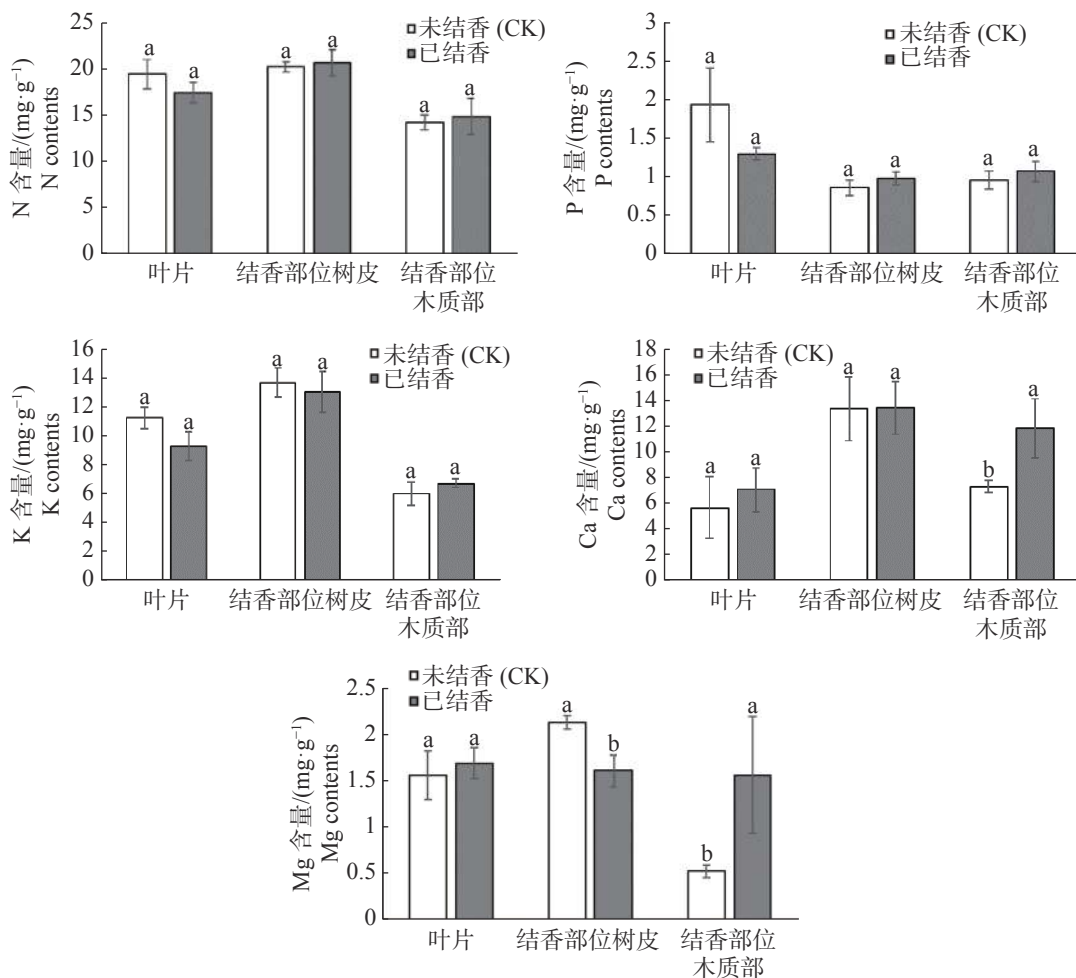


图2 结香初期白木香不同部位大、中量元素含量变化

不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示不同处理间差异极显著($P < 0.01$)。

Fig. 2 The changes of nutrient contents of *A. sinensis* at the early agarwood inducing stage

Different lowercase letters means significant difference at 0.05 level; different uppercase letters means highly significant difference at 0.01 level.

皮的氮、磷、钙含量呈上升趋势,钾、镁元素呈下降趋势,但差异均未达到差异显著水平。结香后木质部部位营养元素氮、磷、钾、钙、镁含量呈上升趋势,其中钙、镁元素含量变化达到差异显著水平。说明结香初期,白木香的叶片、结香部位树皮和木质部的大、中量元素亦均未达到差异显著水平。

2.3 结香初期白木香不同部位微量元素含量变化 从图3可见,结香初期,白木香植株叶片微量元素含量变化差别较大,铜、锰元素含量上升,且锰元素呈极显著上升水平;叶片中铁、锌元素呈下降趋势,其中锌元素含量极显著下降。结香后,结香部位树皮中铁、锌、锰元素上升达到差异显著水平;同时结香部位树皮中铜元素含量显著下降。结香部位木质部微量元素呈上升趋势,其中铜、锰元素含量差异达到显著水平,而铁、锌元素含量上升但未达到差异显著水平。

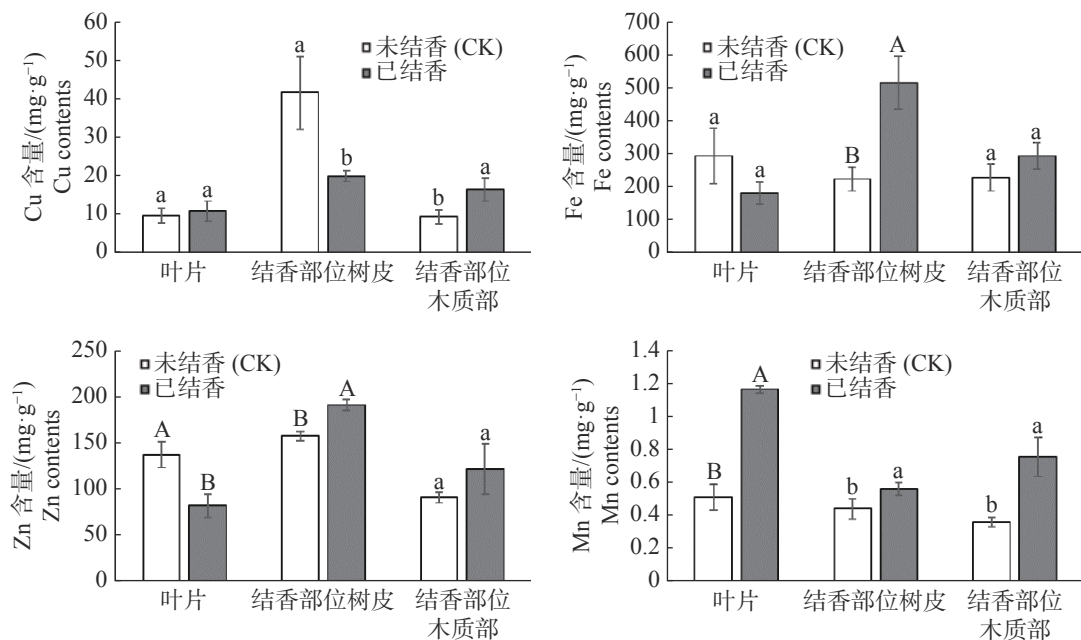


图3 结香初期白木香不同部位微量元素含量变化

不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$); 不同大写字母表示不同处理间差异极显著($P < 0.01$)

Fig. 3 The changes of trace element contents of *A. sinensis* at the early agrwood inducing stage

Different lowercase letters means significant difference at 0.05 level; Different uppercase letters means highly significant difference at 0.01 level

2.4 土壤养分与结香初期养分增减量的相关分析 对结香初期白木香植株叶片、结香部位树皮和木质部养分相对增减量与取样土壤养分相对增减量进行相关性分析,结果(图4)表明,土壤养分相对增减量与植株的叶片、木质部的养分相对增减量成负相关,其相关系数分别为0.363 1、0.417 6;土壤养分相对增减量与植株树皮成正相关,相关系数为0.379 4。统计分析结果显示各相关性均未达到差异显著水平。由此可见,结香后白木香植株营养元素的变化并非是由土壤营养状况的改变而引起的。

2.5 结香初期白木香的叶片和树干营养元素迁移规律的分析 通过分析植物不同部位营养元素比值的的变化可判断营养元素的迁移规律^[18]。结香初期白木香的叶片、木质部营养元素迁移规律的分析结果(图5)表明,与未结香植株相比,结香后植株的叶片、木质部的氮、磷、钾、镁、铜、铁、锌营养元素比值均呈显著下降趋势。同时,植株叶片、木质部钙元素比值成下降趋势,而锰元素比值呈现上升趋势,但均未达到显著水平。结果表明,结香过程中伴随着树体伤害的修复和沉香的形成,白木香植株体内的矿质元素具有由叶片向结香的树干木质部位迁移的趋势,亦在一定程度上表明白木香结香与矿质营养关系密切。

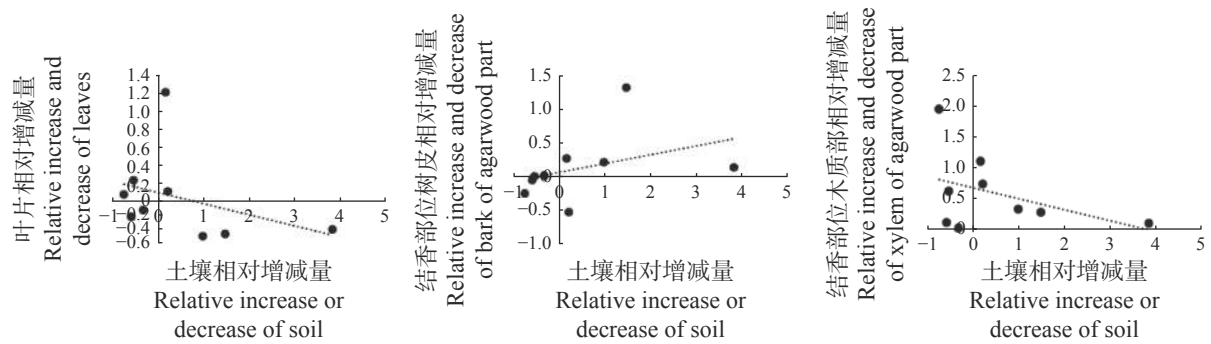


图4 土壤养分与结香期养分增减量的相关分析

纵坐标为结香期各元素相对增减量,横坐标为全国第二次土壤普查养分分级标准的中级水平与取样土壤相对增减量。

Fig. 4 Correlation analysis of changes in soil nutrient contents and *A. sinensis* nutrient contents at the agarwood inducing stage

The ordinate is the change of plant nutrient contents and the abscissa is the difference in soil nutrient contents between the experiment site and the intermediate level of the second national soil survey nutrient classification standard.

3 讨论

3.1 白木香结香初期叶片光合色素的变化

人为非生物胁迫可造成植株光合系统的改变。对柑桔的环割和环剥的研究结果表明,环割和环剥处理导致叶绿素相对含量(SPAD)均下降^[19]。研究人员推测可能是由于环剥破坏了韧皮部,影响了同化物向下运输^[20],导致叶片积累大量光合产物^[21],随着大量光合产物在叶片累积,从而抑制了光合作用。吴文华等^[22]对土沉香进行不同损伤处理后发现,在植株主干砍树干粗的1/3~1/2楔形缺口同时配合部分截枝断根处理后,处理植株叶片光合速率呈增加趋势,但只有配合截断所有树枝处理的光合特性和荧光参数增加达到差异显著水平。可见,严重损伤处理给沉香植株造成较大的胁迫,导致叶片的光合能力显著增强^[22]。本试验人工打洞结香处理是将树干打穿,严重破坏木质部,模拟白木香植株受到严重损伤而结香,结香后叶绿素含量虽然上升,但并未达到显著水平,这可能是人工打洞处理造成的伤害没有前人试验处理严重所致。

3.2 白木香结香后对结香部位养分的影响

结香过程是白木香对人为伤害胁迫进行应答、修复的过程。植物对非生物胁迫的应答可分为感知并产生信号、信号传导、产生信号应答3个阶段,最终诱导逆境相关基因表达^[23]。在植物感知胁迫后,可通过钙离子(Ca^{2+})信号转导途径实现信号的传导^[24]。胁迫状态下,植物细胞质内的游离钙离子浓度会增加,并通过钙离子与钙调蛋白启动一系列生理活动,应对植物对逆境的感知、传递、响应甚至适应。本研究中,在结香处理后,受伤部位全钙含量显著增加,是否与钙离子信号转导有关有待进一步研究。现有研究表明,白木香结香过程中沉香的积累主要发生于木间韧皮部和木射线中,且伴随着木间韧皮部、木射线内储藏物质淀粉的转化^[25-27],同时,白木香木间韧皮部筛管筛孔上附着多糖类的胼胝质,在创伤与逆境胁迫中具有重要的调控作用^[27],可见沉香形成过程中与光合产物等能量物质的储藏、转化有密切的关系。周晓超等^[28]的研究结果表明,钾、钙元素含量与可溶性糖含量呈正相关。本研究结果表明,白木香结香部位钾、钙元素含量呈现上升趋势,其中钙元素显著增加。

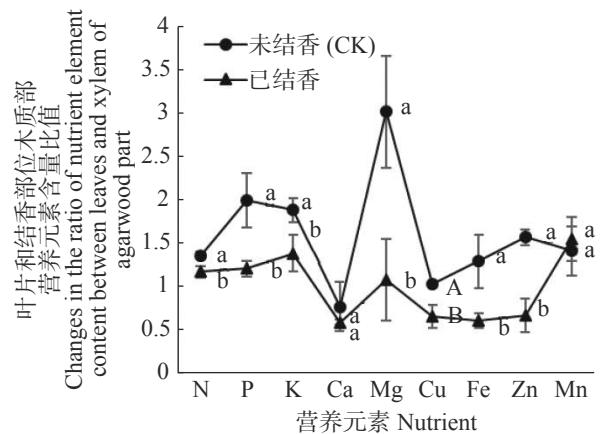


图5 白木香结香期树叶和树干营养元素含量比值变化

不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示不同处理间极差异显著($P < 0.01$)

Fig. 5 The change of ratio of the leaves to the stem of *A. sinensis* in nutrient contents at the agarwood inducing stage

Different lowercase letters means significant difference at 0.05 level; different uppercase letters means highly significant difference at 0.01 level

沉香特征性成分以倍半萜类和 2-(2-苯乙基)色酮类为主^[29],然而关于沉香中这两大类成分积累与结香期植株营养间的相关性尚不明确。针对镁、锰在调控小白菊内酯(Parthenolide)代谢的研究结果^[30]表明,镁、锰可通过影响萜烯合酶的活性影响小白菊内酯的生物合成;镁、锰元素的合理供应对提高次生代谢产物的含量至关重要。本研究结果表明,白木香结香过程中,结香部位营养元素呈上升趋势,其中钙、镁、铜、锰的增加达到差异显著水平,其中大量元素氮、磷、钾营养元素呈上升趋势但未达到差异显著水平;叶片中氮、磷、钾呈下降趋势但差异亦未达到差异显著水平。这意味着白木香植株在结香过程中伴随着次生产物的代谢、积累过程,可能发生营养元素代谢的变化和对营养元素需求的增加,需要合理的营养供应,其中微量元素的作用可能更加显著。

3.3 白木香结香后养分的转移 白木香生长环境与结香关系的分析结果^[31]表明,环境因子与结香关系密切,其中土壤因子与沉香特征性成分呈不同程度的负相关,交换性钙和交换性镁与结香质量有着较高的负相关性。笔者通过分析白木香结香后植株不同部位与种植地块养分相对增减量的相关性,发现植株不同部位养分的相对增减量与土壤养分的相对增减量相关性均未达到显著相关,表明白木香结香期营养元素的变化主要取决于植株代谢过程的改变,而非由种植地营养状况的改变而引起,这说明树体受到伤害胁迫后,结香部位作为树体修复、次生产物代谢最活跃的部位,光合产物及其相关营养元素优先向生理活动最为活跃部位分配。这与文献^[32]的研究结果一致。与未结香植株相比,白木香结香后叶片与木质部营养元素的比值(叶片含量/木质部含量)显著下降,表明结香阶段营养元素向结香部位迁移趋势明显且营养元素迁移的趋势与种植地块营养状况的相关性不明显。

参考文献:

- [1] DING X P, MEI W L, LIN Q, et al. Genome sequence of the agarwood tree *Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng: the first chromosome-level draft genome in the Thymelaeaceae family [J]. *GigaScience*, 2020, 9(3): 1–10.
- [2] 黄俊卿, 魏建和, 张争, 等. 沉香结香方法的历史记载、现代研究及通体结香技术[J]. *中国中药杂志*, 2013, 38(3): 302–306.
- [3] 中国植物志编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [4] 国家药典编委会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [5] 梅文莉, 杨德兰, 左文健, 等. 奇楠沉香中 2-(2-苯乙基)色酮的 GC-MS 分析鉴定[J]. *热带作物学报*, 2013, 34(9): 1819–1824.
- [6] 谭小明, 孙雪萍, 周雅琴, 等. 内生真菌诱导沉香形成的研究进展[J]. *黑龙江农业科学*, 2018(10): 177–182.
- [7] 王冉, 李吉跃, 张方秋, 等. 不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(1): 98–106.
- [8] 何茜, 王冉, 李吉跃, 等. 不同浓度指数施肥方法下马来沉香与土沉香苗期需肥规律[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(5): 1193–1203.
- [9] PAGE T, AWARAU W. Performance of agarwood (*Aquilaria crassna*) seedling transplants improved by shade and fertiliser [J]. *Forest Ecology and Management*, 2012, 265: 258–269.
- [10] 刘俊, 郁培义, 曾德华, 等. 不同措施施肥对白木香幼苗生理生长的影响[J]. *热带林业*, 2014, 42(4): 30–33.
- [11] 郁培义, 麦志贝, 曾德华, 等. 不同施肥措施对土沉香幼苗土壤肥力的影响[J]. *林业科技通讯*, 2015(10): 21–24.
- [12] 许平华. 土沉香幼林配方施肥对生长和叶绿素的影响研究[J]. *绿色科技*, 2020(2): 50–52.
- [13] 庞圣江, 张培, 杨保国, 等. 生物菌肥与化肥配施对土沉香生长及土壤养分的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2020(3): 101–106.
- [14] 戴好富, 梅文莉, 王军, 等. 沉香实用栽培和人工结香技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [15] 刘培卫, 杨云, 张玉秀, 等. 白木香结香过程中阻隔层的形成及其特性研究[J]. *植物研究*, 2016, 36(5): 697–704.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [17] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 5.
- [18] 蒋高明, 韩荣庄, 孙建中. 闪电河流域 6 种农作物磷元素含量动态变化规律研究[J]. *植物生态学报*, 1995, 19(4): 329–336.
- [19] 王世明. 环剥对柑桔叶片光合作用影响最严重[J]. *中国果业信息*, 2018, 35(7): 56.
- [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 Biology and Biochemistry*, 2009, 41(8): 1622–1631.
- [21] 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.
- [22] 吴文华, 韦阳莲, 蔡楚雄, 等. 不同损伤处理对土沉香光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. *广东农业科学*, 2019, 46(12): 20–26.
- [23] SHINOZAKI K, YAMAGUCHI-SHINOZAKI K. Gene expression and signal transduction in water-stress response [J].

- Plant Physiology*, 1997, 115(2): 327 – 334.
- [24] MARKULIN L, DROUET S, CORBIN C, et al. The control exerted by ABA on lignan biosynthesis in flax (*Linum usitatissimum* L.) is modulated by a Ca^{2+} signal transduction involving the calmodulin-like LuCML15b [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2019, 236: 74 – 87.
- [25] RAO K R, DAYAL R. The secondary xylem of *Aquilaria agallocha* (Thymelaeaceae) and the formation of ‘Agar’ [J]. *IAWA Journal*, 1992, 13(2): 163 – 172.
- [26] 张玉秀, 刘培卫. 木间韧皮部的定义、分布、发育和生理功能[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(15): 3589 – 3592.
- [27] 潘质洪. 白木香植物激素诱导结香解剖学及化学成分的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- [28] 周晓超, 苏阳, 高丹, 等. 叶面钙和镁营养对妃子笑荔枝果实主要内外品质发育的影响[J]. 中国南方果树, 2015, 44(3): 64 – 69.
- [29] 杨锦玲, 梅文莉, 董文化, 等. 沉香 GC-MS 指纹图谱分析[J]. 中成药, 2016, 38(8): 1765 – 1770.
- [30] FARZADFAR S, ZARINKAMAR F, BEHMANESH M, et al. Magnesium and manganese interactively modulate parthenolide accumulation and the antioxidant defense system in the leaves of *Tanacetum parthenium* [J]. *Journal of Plant Physiology*, 2016, 202: 10 – 20.
- [31] 马惠芬, 郑科, 王卫斌, 等. 环境因子对白木香结香质量的影响[J]. 西部林业科学, 2018, 47(6): 136 – 140.
- [32] 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]. 福建: 福建农林大学, 2007.

The Changes of Nutrient and Leaf Chlorophyll Contents of *Aquilaria sinensis* at the Early Agarwood Inducing Stage

WANG Longren^{1,2,3}, ZENG Jun^{2,3}, LIU Shuanglong¹, WANG Yali^{2,3},
SUN Huiju¹, WANG Xi¹, YANG Fusun¹, DAI Haofu^{2,3}

(1. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology/ Hainan Engineering Research Center of Agarwood, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 3. Hainan Academy of Tropical Agricultural Resources, CATAS, Haikou, Hainan 571101, China)

Abstract: An attempt was made to analyze the metabolic changes of nutrients in *Aquilaria sinensis* at the early agarwood inducing stage for the development of the fertilizer application method for *A. sinensis* at the agarwood inducing stage. *A. sinensis* trees at the age of 4 years old were holed on the stem manually to induce agarwood with the trees without stem holing as control. The nutrient contents of the leaves and the barks and the xylems of the holed stem at the early agarwood inducing stage were determined and the leaf chlorophyll content were measured. The results showed at the agarwood inducing stage the leaf contents of N, P, K, Fe and Zn in *A. sinensis* decreased, while the leaf contents of Ca, Mg, Cu and Mn increased. Only the leaf contents of Zn and Mn showed a significant change. The bark contents of N, P, Ca, Fe, Zn and Mn increased and the bark contents of K, Mg and Cu decreased, but the change was significant only in the bark contents of Cu, Fe, Zn and Mn. In the xylem the contents of N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn and Mn all showed an upward trend, of which the contents of Ca, Mg, Mn and Cu showed a significant change. Correlation analysis showed that there was no significant correlation between changes in plant nutrient contents and soil nutrient contents at the early agarwood inducing stage. The ratios of the leaves to the xylem of the trees treated with agarwood inducing were decreased significantly in the contents of N, P, K, Mg, Cu, Fe and Zn and were not significantly changed in the contents of Ca and Mn at the early agarwood inducing stage, as compared with those of the control without agarwood inducing. The leaf chlorophyll content was increased at the early agarwood inducing stage without any significance.

Keywords: *Aquilaria sinensis*; agarwood; nutrient content; leaf chlorophyll content