

钾镁胁迫对橡胶幼苗叶片物质成分影响的 FTIR 表征

薛欣欣, 王文斌, 罗雪华, 张永发, 赵春梅

中国热带农业科学院橡胶研究所, 土壤肥料研究中心, 农业农村部橡胶树生物学与遗传资源利用重点实验室,
省部共建国家重点实验室培育基地-海南省热带作物栽培生理学重点实验室, 海南海口 571101

摘要 养分亏缺是作物产量和质量提升的重要限制因子。我国砖红壤植胶区钾、镁缺乏及其低的有效性长期制约天然橡胶的产、质量。以“热研 7-33-97”橡胶幼苗为研究对象, 利用傅里叶变换红外光谱(FTIR)对钾、镁胁迫下橡胶树叶物质组成特征进行研究, 分析不同钾、镁胁迫条件下叶片红外光谱图谱特征峰的变化及其差异, 探讨钾、镁胁迫对叶片物质成分和结构的影响, 以期为钾镁缺乏影响橡胶树生长与生理代谢的机理研究提供参考。结果表明: (1)缺钾条件下, 1 554, 1 519 和 1 075 cm^{-1} 处的吸收峰缺失, 表明橡胶叶片中蛋白质酰胺 II 带、酚类物质、碳水化合物的化学结构受到破坏, 并且其他特征峰吸光度与正常处理相比均有不同程度的升高, 表明缺钾造成蛋白质、碳水化合物等物质在叶片中大量积累, 物质转运效率降低; (2)缺镁条件下, 1 554 cm^{-1} 处吸收峰向高频方向位移了 6 cm^{-1} , 说明缺镁造成蛋白质酰胺 II 带的结构发生改变, 同时, 1 550~1 350 cm^{-1} 波数范围内吸收峰相对吸光度明显下降, 说明缺镁降低了细胞壁多糖以及含油脂化合物的含量, 且该波数范围内的三个吸收峰较其他吸收峰变化敏感, 表明该波段可以较好地指示橡胶叶片镁营养状况; (3)钾镁同时缺乏条件下, 各吸收峰的相对吸光度和强度明显减弱, 1 554, 1 519 和 1 075 cm^{-1} 处的吸收峰缺失, 说明蛋白质酰胺 II 带、酚类物质、碳水化合物的化学结构受到破坏, 1 057 cm^{-1} 处吸收峰向高频方向位移了 11 cm^{-1} , 表明橡胶叶片中果胶类多糖分子结构发生了变化。综上所述, 缺钾造成橡胶叶片蛋白质、糖类物质的含量的大量积累, 缺镁造成叶片细胞壁多糖和油脂化合物下降, 而钾镁同时缺乏时蛋白质、脂类、糖类物质等物质含量均明显下降。研究表明, 使用 FTIR 技术对养分缺乏下的橡胶叶片物质成分定性分析具有一定的可行性, 同时可为橡胶钾、镁营养生理代谢的机制研究提供新的思路和方法。

关键词 橡胶; 钾; 镁; 傅里叶红外光谱

中图分类号: S576.1

文献标识码: A

DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)01-0074-06

引言

天然橡胶是重要的战略物资和工业原料, 在国民经济发展中具有非常重要的地位和作用。橡胶树(*Hevea brasiliensis*)是天然橡胶的重要来源, 为我国热带和亚热带地区重要的经济作物。然而, 我国橡胶林的大规模垦植、刺激割胶应用、化肥施用不当等造成胶园土壤肥力出现下降趋势^[1-2]。研究表明, 海南植胶后土壤速效钾含量仅为未开垦土壤的 50%^[3]。橡胶缺钾会造成碳水化合物转运受阻、叶片结构(面积、厚度、叶绿体结构等)发生变化^[4], 进而影响橡胶树产、排胶及橡胶质量^[5]。海南作为我国最大的热区之一, 其砖红壤具有阳离子交换能力低、强风化、酸性和砂质等特

点, 土壤中水合半径较大的镁离子存在较高的淋失风险^[6]。研究发现, 海南植胶区 80% 以上的土壤交换性镁含量低于正常值^[7]。橡胶缺镁会造成暴老叶叶脉间呈鱼骨褪绿而变黄, 严重时出现黄叶落叶病, 影响产量形成^[8]。

傅里叶变换红外光谱(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)技术是一种基于化合物中官能团和极性键振动的结构分析技术, 可对样品进行定性和定量分析, 具有灵敏度高, 制样方法简单, 样品用量少, 测试时间短等优点^[9]。植物体内生物大分子如核酸、脂类和碳水化合物, 具有特征性的官能团和独特的分子振动模式, 通过分析红外光谱吸收位置、宽度和强度, 有助于了解植物体内有机物分子官能团的组成和结构特征。以往研究认为, 植株组织的 FT-IR 吸收峰特征会因营养状态的不同而产生差异^[10-11]。Butler

收稿日期: 2020-12-25, 修订日期: 2021-03-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0201100)和中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金项目(1630022017029, 1630022020012, 1630022017006)资助

作者简介: 薛欣欣, 1986 年生, 中国热带农业科学院橡胶研究所助理研究员 e-mail: xuexinxin_2010@163.com

等^[12]证实 FTIR 能够对缺钙胁迫下模式植物鸭跖草的营养状态进行精确评估。王盛峰等^[13]利用 FTIR 研究了缺锌条件下玉米碳水化合物、脂类、蛋白质及核酸等组分发生了改变。有报道利用 FTIR 研究了低硼和高硼胁迫下影响柑橘叶片物质组成和结构。有工作对棉花功能叶片 FTIR 谱图特征峰的研究发现缺钾破坏了叶片表皮结构, 蛋白质、纤维素、可溶性糖和核糖等结构发生变化, 缺硼造成蛋白质及可溶性糖、纤维素等碳水化合物在叶片大量积累。姚宇洁等^[14]利用 FTIR 研究了枳橙实生苗缺铁胁迫下叶片蛋白质、纤维素、可溶性糖和核糖结构发生了变化而且含量降低。尽管如此, 利用 FTIR 技术对橡胶叶片物质成分构成及其对钾、镁胁迫的响应鲜有报道。本研究以橡胶树幼苗作为试验材料, 采用 FTIR 技术来表征钾镁胁迫下橡胶叶片化学组分的变化特征, 以期对橡胶钾、镁生理代谢的机制研究提供新的思路和方法。

1 实验部分

1.1 材料与设

供试材料为生长一致且状态良好的橡胶 (*Hevea brasiliensis*) 幼苗, 品系为热研 7-33-97。试验于 2017 年 10 月—2018 年 1 月在中国热带农业科学院橡胶研究所进行。将冲洗干净的幼苗固定在双孔黑色泡沫板上, 再移栽到盛有 5 L 营养液的黑色塑料桶中, 使泡沫板漂浮在营养液表面, 同时保证幼苗根部完全浸没在营养液中, 每盆定植 2 株, 置于人工气候箱中进行培养。人工气候箱内设常温 (25 °C/20 °C) (昼/夜), 光照强度 (5 000 lx), 光周期为 12 h/12 h (昼/夜), 相对湿度 85%。营养液配方参考 Hogland and Aron (略有调整)。大量元素 (mg · L⁻¹): KCl, 596; MgSO₄, 240; Ca(NO₃)₂, 656; (NH₄)₂SO₄, 462; NaH₂PO₄, 120; 微量元素 (mg · L⁻¹): MnSO₄, 15; H₃BO₃, 6.2; ZnSO₄, 5.0; Na₂MoO₄, 0.21; CuSO₄, 0.016; EDTA-Fe, 50 μmol · L⁻¹。设正常 (全营养液 CK)、缺钾 (-K)、缺镁 (-Mg) 和钾镁同时缺乏 (-K-Mg) 四个处理, 3 次重复, 每重复 10 盆、共 20 株幼苗, 为维持营养液中离子浓度平衡, 缺素处理采用 NaCl 和 (Na)₂SO₄ 来调整 Cl⁻ 和 SO₄²⁻。第 1 周、第 2 周和第 3 周分别采用 CK 处理浓度的 1/4、1/2 和全量进行预培养, 第 4 周开始采用各处理的营养液配方进行处理。营养液每三天更换一次, 每隔 3 h 用通气泵通气 5 min。培养期间, 营养液 pH 值调节在 6.0 左右。

1.2 取样与测定

叶片样品采集和处理: 橡胶幼苗培养 60 d 后, 选取橡胶幼苗顶端完全展开叶片, 一级水冲洗干净后将样品置于 105 °C 烘箱中杀青 30 min, 之后在 75 °C 烘箱中烘干至恒重, 磨细并过 100 目筛, 备用。

样品测定: 采用溴化钾压片法。压片之前, 将溴化钾 (光谱纯) 粉末放入烘箱烘干至恒重, 然后分别称取叶片粉末样品和溴化钾 (光谱纯) 0.200 和 2.000 g (质量比 1:10) 加到玛瑙研钵中, 在红外灯照射干燥条件下按同一方向磨细呈淀粉状, 取少许样品, 在真空条件下, 用压杆缓慢加压至约 15 MPa, 维持 1 min 左右, 得到样品薄片; 采用上述方法, 将溴

化钾制成薄片作为背景。将薄片放在 Nicolet 公司的 Impact-410 型 FTIR 光谱仪上进行测定, 测定波数范围 4 000~400 cm⁻¹, 扫描累加次数 32, 分辨率 4 cm⁻¹, 每个样品测定前均对背景进行扫描, 去除背景的影响。

1.3 数据处理与分析

采用 OMNIC8.2 软件对叶片样品的 FTIR 谱图进行数据处理, Origin8.0 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 钾镁胁迫下橡胶叶片的 FTIR 全图谱分析

橡胶幼苗叶片的红外光谱图如图 1 所示。各化学键的吸收处于中红外区, 即波数为 4 000~400 cm⁻¹。各处理下的叶片具有一些典型的共有吸收峰, 但各处理间的特征峰数目以及相对吸光度存在不同程度差异。结合表 1 进一步分析发现, 与正常处理 (CK) 相比, 缺钾 (-K) 条件下, 橡胶叶片 1 554, 1 519 和 1 075 cm⁻¹ 处的吸收峰缺失, 并且 3 345 和 1 541 cm⁻¹ 处的吸收峰分别向高频方向位移了 9 和 6 cm⁻¹ 后分别位于 3 354 和 1 547 cm⁻¹ 处; 缺镁 (-Mg) 条件下, 橡胶叶片 1 075 cm⁻¹ 处的吸收峰缺失, 并且 3 345, 1 631, 1 554 和 1 057 cm⁻¹ 处的吸收峰分别向高频方向位移了 8, 4, 6 和 11 cm⁻¹; 钾镁同时缺乏 (-K-Mg) 条件下, 1 554, 1 519 和 1 075 cm⁻¹ 处吸收峰缺失, 并且 3 345 和 1 541 cm⁻¹ 处的吸收峰向高频方向位移了 8 和 5 cm⁻¹。由此可见, 钾、镁营养缺乏下, 橡胶叶片物质组分结构发生了变化。

4 000~400 cm⁻¹ 范围, 钾镁同时缺乏条件下特征峰的相对吸光度明显低于其他处理, 且特征峰吸收强度明显减弱; 缺钾条件下的特征峰相对吸光度高于正常处理; 在 4 000~1 600 cm⁻¹ 波数范围, 缺镁条件下的特征峰相对吸光度高于正常处理, 而波数处于 1 600~400 cm⁻¹ 时, 缺镁则低于正常处理。由此表明, 钾、镁营养缺乏时, 橡胶叶片各物质组分的含量发生了改变。由于 1 800~900 cm⁻¹ 波数范围内特征峰的数量较为集中, 且相对吸光度变化幅度最显著, 为提高谱图的分辨率以减少叠加, 对不同处理下 1 800~900 cm⁻¹ 波数范围内的 FTIR 谱图做进一步分析。

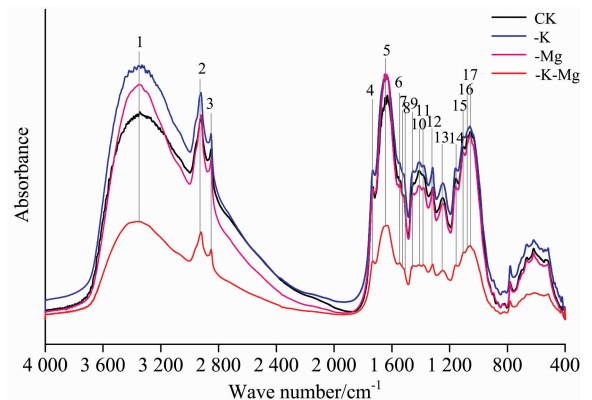


图 1 不同处理下橡胶叶片的 FTIR 全图谱 (4 000~400 cm⁻¹)

Fig. 1 FTIR spectra of the leaves of rubber seedlings under different treatments (4 000~400 cm⁻¹)

表 1 不同处理下橡胶叶片的特征峰

Table 1 Characteristic peak of FTIR in rubber leaf under different treatment

处理	波数/cm ⁻¹																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
CK	3 345	2 920	2 851	1 731	1 631	1 554	1 541	1 519	1 451	1 412	1 382	1 318	1 247	1 157	1 102	1 075	1 057
-K	3 354	2 922	2 852	1 731	1 632	—	1 547	—	1 453	1 409	1 379	1 317	1 246	1 158	1 103	—	1 060
-Mg	3 353	2 921	2 851	1 731	1 635	1 560	1 542	1 519	1 453	1 413	1 380	1 317	1 246	1 157	1 104	—	1 068
-K-Mg	3 353	2 920	2 851	1 732	1 631	—	1 546	—	1 452	1 412	1 381	1 317	1 246	1 157	1 101	—	1 058

表 2 叶片官能团和相应的红外吸收频率

Table 2 Functional groups of the leaf and the corresponding infrared absorption frequencies

顺序	波数/cm ⁻¹	主要基团及振动方式	可能来源
1	3 350	O—H, N—H 的伸缩振动	蛋白质、纤维素和半纤维素等碳水化合物
2	2 920	亚甲基—CH ₂	膜脂和细胞壁果胶中常见的酯类化合物
3	2 851		
4	1 731	C=O 的伸缩振动	脂类
5	1 631	C=O 的伸缩振动	蛋白质酰胺 I 带
6	1 554	C—N 的伸缩振动和 N—H 的弯曲振动	蛋白质酰胺 II 带
7	1 541		
8	1 519	苯环骨架振动	酚类物质
9	1 451	C—H 弯曲振动	细胞壁多糖
10	1 412	—C—H 面内变性振动	酯类化合物
11	1 382	饱和的 C—H 弯曲振动	膜和胞壁含油脂化合物
12	1 318	—CH ₂ 面外摇摆振动	纤维素
13	1 247	苯羟基 C—O 伸缩振动	木质素
14	1 157	C—O—C 的伸缩振动	蛋白质分子氨基酸残基、纤维素糖苷
15	1 102	C—O 的伸缩振动	碳水化合物(醇、醚基、或酚)
16	1 075		
17	1 057	C—O, —C—C, C—OH	果胶类

2.2 缺钾胁迫下橡胶叶片 1 800~900 cm⁻¹ FTIR 图谱分析

由图 2 可知,与正常处理(CK)相比,缺钾(-K)条件下橡胶叶片在 1 800~900 cm⁻¹ 范围内的吸收峰数量、吸光度以及吸光强度等方面均发生了明显的变化,其中,1 554 和 1 075 cm⁻¹ 处的特征峰缺失,结合红外光谱特征峰归属表(表 2)可知,1 554 cm⁻¹ 附近表征总蛋白酰胺 II 带吸收,为 C—N 键和 N—H 键的弯曲振动,1 075 cm⁻¹ 附近表征碳水化合物 C—O 键的伸缩振动,由此可见,低钾胁迫破坏了蛋白质及碳水化合物的分子结构,这与郝艳淑在棉花上的研究结果相似^[15]。此外,相比正常处理下的 1 541.01 cm⁻¹ 的吸收峰,缺钾胁迫造成该吸收峰向高频方向移动 6.40 cm⁻¹,1 541 cm⁻¹ 为蛋白质酰胺 II 带,说明缺钾胁迫影响了橡胶叶片中 C—N 键和 N—H 键的结合,造成蛋白质的结构发生改变。

由图 2 可明显看到,缺钾胁迫时各特征峰的相对吸光度均高于正常处理,说明缺钾胁迫影响叶片蛋白质及可溶性糖、纤维素、果胶、酯类等碳水化合物的积累,并造成光合产物向韧皮部的运输或转载受阻,导致这些大分子物质较多的积累在叶片中,进而影响植株的正常生长发育。该结果与相关研究相似,但与有些研究结果相反。研究认为,缺钾条件下棉花功能叶片蛋白质和碳水化合物纤的含量均降低。分析以上结果差异的可能原因,一方面与缺钾造成光合作用减

弱,蛋白质和碳水化合物合成受阻有关^[16],另一方面也可能与品种的钾效率高有关(钾高效品种降低、低效品种积累)^[15]。以往研究通过化学分析方法也证实了本研究结果,即缺钾橡胶叶片中可溶性糖含量显著增加、叶绿体中的淀粉粒明显增多,导致碳水化合物在叶片中积累,阻碍了其向其他器官的运输^[4]。

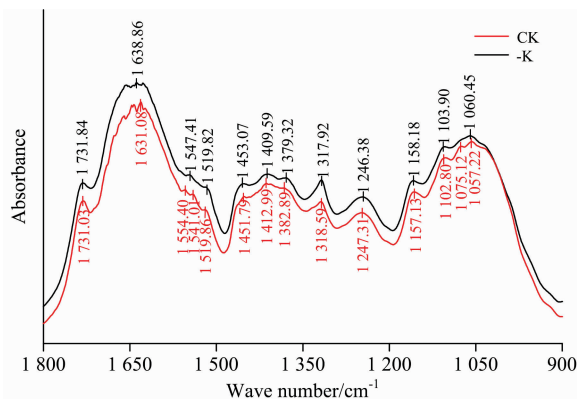


图 2 缺钾条件下橡胶叶片的 FTIR 光谱特征(1 800~900 cm⁻¹)

Fig. 2 FTIR spectra of the leaves of rubber seedlings under K deficiency (1 800~900 cm⁻¹)

2.3 缺镁胁迫下橡胶叶片 1 800~900 cm^{-1} FTIR 图谱分析

由图 3 可以看出,与正常处理(CK)相比,缺镁(-Mg)胁迫下 1 075 cm^{-1} 处的吸收峰缺失,结合红外光谱特征峰归属(表 2)可知,1 075 cm^{-1} 附近的吸收峰表征碳水化合物的 C—O 伸缩振动吸收,表明缺镁胁迫造成 C—O 键受到破坏,进而改变了碳水化合物的分子结构。另外,与正常处理相比,缺镁胁迫增加了 1 631 cm^{-1} 峰的吸收强度,1 631 cm^{-1} 表征酰胺 I 带的 C=O 伸缩振动,说明,缺镁胁迫增加了橡胶叶片蛋白质酰胺 I 带的含量,但降低了 1 554 cm^{-1} 的吸光强度,1 554 cm^{-1} 附近代表蛋白质的酰胺 II 带的 C—N 伸缩振动和 N—H 弯曲振动。此外,1 554 cm^{-1} 处吸收峰向高频方向位移了 6 cm^{-1} ,说明缺镁胁迫造成蛋白质酰胺 II 带的结构发生了改变。

由表 2 可知,1 731, 1 519 和 1 318 cm^{-1} 处吸收峰分别代表细胞壁果胶成分中脂类化合物的 C=O 伸缩振动吸收、酚类物质的苯环骨架振动吸收以及纤维素的 CH_2 面外摇摆振动吸收。与正常处理相比,缺镁胁迫对以上吸收峰的吸光度和位置均无明显影响,由此说明缺镁胁迫并不影响细胞壁果胶中的脂类化合物、酚类物质以及纤维素含量和结构。从 1 550~1 350 cm^{-1} 的特征峰吸光度变化分析,缺镁胁迫处理明显低于正常处理,且相比其他吸收峰的降幅较大,说明以上波段吸收峰变化对缺镁胁迫较为敏感,可以作为橡胶镁营养变化的特征光谱识别区域;该区间内的三个特征吸收峰分别代表细胞壁多糖的 C—H 弯曲振动、酯类化合物的—COO 伸缩振动和纤维素类物质的 C—H 弯曲振动及 CH_3 的剪式振动,由此也说明缺镁胁迫明显减少了橡胶叶片细胞壁多糖以及含油脂化合物等物质含量。以往有关研究也证实了利用红外光谱技术快速无损诊断黄瓜镁元素亏缺是可行的^[17],但在橡胶上的应用鲜有报道,仍需更深入开展研究。

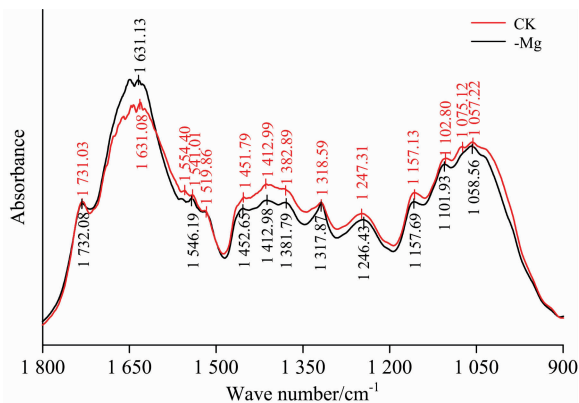


图 3 缺镁条件下橡胶叶片的 FTIR 光谱特征 (1 800~900 cm^{-1})

Fig. 3 FTIR spectra of the leaves of rubber seedlings under Mg deficiency (1 800~900 cm^{-1})

2.4 钾镁同时缺乏橡胶叶片 1 800~900 cm^{-1} FTIR 图谱分析

分析图 4,与正常处理(CK)相比,钾镁同时缺乏(-K-Mg)条件下橡胶叶片 FTIR 图谱的吸收峰明显变少,并且吸收峰的吸光强度明显减弱,由此说明钾镁同时缺乏造成橡胶叶片中蛋白质、脂类、纤维素、可溶性糖等含量明显下降以及某些物质的结构发生改变。进一步分析发现,1 554, 1 519 和 1 075 cm^{-1} 吸收峰缺失,这与缺钾胁迫较为相似,其中 1 554 cm^{-1} 吸收峰附近为蛋白质酰胺 II 带的 C—N 伸缩振动,1 519 cm^{-1} 为酚类物质的苯环骨架振动,1 075 cm^{-1} 为碳水化合物的 C—O 伸缩振动,说明钾镁同时缺乏破坏了蛋白质酰胺 II 带、酚类物质以及碳水化合物的化学结构。另外,钾镁同时缺乏造成 1 541.01 cm^{-1} 向 1 546.19 cm^{-1} 位移了 5.18 cm^{-1} ,1 541 cm^{-1} 附近的吸收峰为蛋白质酰胺 II 带的 N—H 弯曲振动,进一步也说明钾镁同时缺乏造成蛋白质酰胺 II 带的结构发生改变。

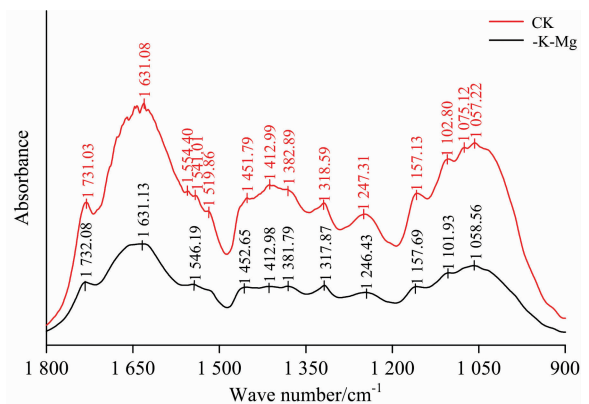


图 4 钾镁同时缺乏条件下橡胶叶片的 FTIR 光谱特征 (1 800~900 cm^{-1})

Fig. 4 FTIR spectra of the leaves of rubber seedlings under both K and Mg deficiency (1 800~900 cm^{-1})

3 结论

采用傅里叶红外光谱测定了不同钾、镁胁迫处理下的橡胶叶片化学物质组成。得到以下结论:(1)缺钾造成橡胶叶片中蛋白质酰胺 II 带、酚类物质、碳水化合物的化学结构受到破坏,以及蛋白质、碳水化合物等物质在叶片中大量积累;(2)缺镁降低了细胞壁多糖以及含油脂化合物的含量,1 550~1 350 cm^{-1} 波段内的吸收峰可以较好地指示橡胶叶片镁营养状况;(3)钾镁同时亏缺造成橡胶叶片中果胶类多糖分子结构发生了变化,蛋白质、脂类、糖类物质等物质含量均明显下降。本研究表明,使用 FTIR 技术对养分缺乏下的橡胶叶片物质成分定性分析具有一定的可行性,同时可为橡胶钾、镁营养生理代谢的机制研究提供新的思路和方法。

References

- [1] LI Tao, LI Qin, CHEN Lin-yang, et al(李 涛, 李 芹, 陈林杨, 等). Journal of Yunnan Agricultural University • Natural Science(云南农业大学学报 • 自然科学), 2017, 32(2): 303.
- [2] CHEN YONG-chuan, YANG Chun-xia, ZHAO Zhi-ping, et al(陈永川, 杨春霞, 赵志平, 等). Chinese Journal of Ecology(生态学杂志), 2012, 31(4): 954.
- [3] WANG Da-peng, WANG Xiu-quan, CHENG Jing, et al(王大鹏, 王秀全, 成 镜, 等). Chinese Journal of Tropical Agriculture(热带农业科学), 2013, 33(9): 22.
- [4] XUE Xin-xin, WU Xiao-ping, LUO Xue-hua, et al(薛欣欣, 吴小平, 罗雪华, 等). Chinese Journal of Tropical Crops(热带作物学报), 2019, 40(8): 1507.
- [5] HUA Yuan-gang, BEI Mei-rong, LIU Hai-lin, et al(华元刚, 贝美容, 刘海林, 等). Chinese Journal of Tropical Crops(热带作物学报), 2019, 40(4): 623.
- [6] Gransee A, Fühns H. Plant and Soil, 2013, 368(1): 5.
- [7] DU Zhong-jie, LIN Dian, XU Jie, et al(杜忠杰, 林 电, 许 杰, 等). Guangdong Agricultural Sciences(广东农业科学), 2011, 38(11): 73.
- [8] LI Peng-yi, ZHENG Mei-xuan, LIANG Xiu-qiu, et al(李彭怡, 郑美漩, 梁秀球, 等). Chinese Journal of Tropical Agriculture(热带农业科学), 2019, 39(8): 1.
- [9] WENG Shi-fu(翁诗甫). Fourier Transform Infrared Spectrum Analysis(傅里叶变换红外光谱分析). Beijing: Chemical Industry Press(北京: 化学工业出版社), 2010.
- [10] Jebsen C, Norici A, Wagner H, et al. Physiologia Plantarum, 2012, 146(4): 427.
- [11] Heiko W, Christian J. Journal of Phycology, 2019, 55: 543.
- [12] Butler H J, Adams S, Mcainsh M R, et al. Vibrational Spectroscopy, 2017, 90: 46.
- [13] WANG Sheng-feng, LIU Yun-xia, GAO Li-li, et al(王盛峰, 刘云霞, 高丽丽, 等). Journal of Plant Nutrition and Fertilizers(植物营养与肥料学报), 2014, 20(4): 1005.
- [14] YAO Yu-jie, JIANG Cun-cang(姚宇洁, 姜存仓). South China Fruits(中国南方果树), 2016, 45(6): 10.
- [15] HAO Yan-shu, JIANG Cun-cang, WANG Xiao-li, et al(郝艳淑, 姜存仓, 王晓丽, 等). Acta Agronomica Sinica(作物学报), 2011, 37(11): 2094.
- [16] HU Wen-shi, LU Zhi-feng, MENG Fan-jin, et al(胡文诗, 陆志峰, 孟凡金, 等). Plant Physiology Journal(植物生理学报), 2019, 55(6): 774.
- [17] SHI Ji-yong, ZOU Xiao-bo, ZHAO Jie-wen, et al(石吉勇, 邹小波, 赵杰文, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2011, 27(8): 283.

FTIR Spectroscopic Characterization of Material Composition in Leaf of *Hevea Brasiliensis* Seedlings Under Potassium and Magnesium Deficiency

XUE Xin-xin, WANG Wen-bin, LUO Xue-hua, ZHANG Yong-fa, ZHAO Chun-mei

Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Soil and Fertilizer Research Center, Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Rubber Tree, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Ministry of Agriculture and Rural Affairs-State Key Laboratory Incubation Base for Cultivation & Physiology of Tropical Crops, Haikou 571101, China

Abstract Nutrient deficiency is a vital limiting factor for crop yield and quality improvement. It has restricted the yield and quality of natural rubber for a long time because of the depletion of soil potassium (K) and magnesium (Mg) and their low plant availability in the Laterite soil of rubber plantations, South China. Rubber seedlings of “CATAS 7-33-97” was chosen as test material, the material composition characteristics of rubber leaves under K and Mg deficiency were studied by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The changes and differences of FTIR characteristic peaks of leaves were analyzed, and the material compositions and structures were discussed. It would provide some physiological evidence of rubber plants subjected to K and Mg deficiency stress. The results showed that: (1) the characteristic peaks of $1\ 554$, $1\ 519$ and $1\ 075\ \text{cm}^{-1}$ disappeared due to K deficiency, implying that the structure of amide II band, phenolic compounds and carbohydrate were broken. The relative absorbance of all characteristic peaks was increased compared with normal treatments, suggesting that protein and carbohydrate were accumulated in leaf to reduce their translocation efficiency. (2) The absorption peak at $1\ 554\ \text{cm}^{-1}$ shifted $6\ \text{cm}^{-1}$ to high frequency as $1\ 560\ \text{cm}^{-1}$ when the plant was subject to Mg deficiency, which indicated that the structure of the protein amide II band was changed. Meanwhile, Mg deficiency decreased the relative absorbance in the range of $1\ 550\sim 1\ 350\ \text{cm}^{-1}$, implying that Mg deficiency decreased the contents of polysaccharides and lipid compounds of the leaf cell wall. The three absorption peaks in the wave number of $1\ 550\sim 1\ 350\ \text{cm}^{-1}$ were more sensitive to Mg deficiency than other absorption peaks, indicating that the wave band could better represent the magnesium nutrition status of rubber plant leaves. (3) The relative absorbance and intensity of each absorption peak decreased obviously at both K and Mg deficiency. Absorption peaks at $1\ 554$, $1\ 519$ and $1\ 075\ \text{cm}^{-1}$ disappeared similar to that K deficiency, which indicated that the chemical structure of protein amide II band, phenols and carbohydrates was destroyed. Meanwhile, the absorption peak of $1\ 057\ \text{cm}^{-1}$ shifted to the high frequency direction by $11\ \text{cm}^{-1}$ to $1\ 068\ \text{cm}^{-1}$, implying the molecular structure of pectin polysaccharides changed in rubber leaves. In conclusion, K deficiency caused a large accumulation of protein and carbohydrates in rubber leaves, and magnesium deficiency caused the decrease of polysaccharide and lipid compounds in the leaf cell wall. However, the contents of protein, lipid and carbohydrates decreased significantly when the plant was subjected to both K and Mg deficiency. The results showed that FTIR technology was feasible for qualitative analysis of the material components of rubber leaves under nutrient deficiency and could provide new ideas and methods for studying the mechanism of K and Mg nutrition and physiological metabolism of the rubber trees.

Keywords *Hevea brasiliensis*; K; Mg; FTIR

(Received Dec. 25, 2020; accepted Mar. 11, 2021)