

1-MCP 在橡胶树死皮防控中的应用研究

胡义钰¹,白先权²,冯成天¹,袁 坤¹,刘 辉¹,王真辉^{1*}

(1. 中国热带农业科学院 橡胶研究所,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;2. 海南天然橡胶产业集团股份有限公司,海南海口 570100)

摘 要:考察死皮植株割线症状、胶乳产量及各胶乳生理参数,评估 1-MCP 对橡胶树死皮防控效果。结果表明,施用 1-MCP 死皮植株割线症状得到显著好转,其死皮长度恢复率为 54.44%,死皮指数由试验前的 69.33 降低为试验后的 41.33,防效达 48.47%;死皮植株胶乳产量显著增加,试验前后,处理和对照单株胶乳产量分别为:6.40、37.6 mL 和 10.33、4.87 mL,处理植株单株增产 31.2 mL,而对照植株减产 5.46 mL。从胶乳生理参数来看,施用 1-MCP 后死皮植株的各胶乳生理参数得到不同程度的改善,其中胶乳硫醇含量的改善达显著水平。综上所述,施用 1-MCP 有利于改善死皮植株胶乳生理状况,增强其产排胶潜能,对防控橡胶树死皮、增加胶乳产量具有相对较好的效果。

关键词:橡胶树;死皮;1-MCP;生理参数

中图分类号:S794.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2020)03-0161-04

Application of 1-MCP to Tapping Panel Dryness of *Hevea brasiliensis* Trees

HU Yi-yu¹, BAI Xian-quan², FENG Cheng-tian¹, YUAN Kun¹, LIU Hui¹, WANG Zhen-hui^{1*}

(1. Rubber Research Institute, CATAS/Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Rubber Tree, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/State Key Laboratory Incubation Base for Cultivation&Physiology of Tropical Crops, Haikou 571101, Hainan, China;
2. Hainan Rubber Group, Haikou 570100, Hainan, China)

Abstract: 1-MCP was applied to the prevention and control of tapping panel dryness (TPD) occurring in *Hevea brasiliensis* trees. The effects were evaluated by investigating the tapping cut symptoms of TPD plants, latex yield and physiological parameters of latex. The results showed that the tapping cut symptoms of TPD plants treated with 1-MCP improved significantly, the recovery rate of TPD length was 54.44%, the index of TPD decreased from 69.33 (before the experiment) to 41.33 (after the experiment), and the control effect reached 48.47%. The latex yield of TPD plants increased significantly. The latex yields of treated and control plants before and after the experiment were 6.40, 37.6 and 10.33, 4.87 mL, respectively. The yield of treated plants increased by 31.2 mL, while the yield of the control plants decreased by 5.46 mL. The latex physiological parameters of TPD plants improved in varying degrees after the application of 1-MCP, and the latex thiol content improved significantly. In conclusion, the application of 1-MCP can improve the latex physiological status of TPD plants, enhance their latex reproduction and latex flow potential, and have a relatively good effect on preventing and controlling TPD of rubber trees and increasing latex yield.

Key words: *Hevea brasiliensis*; tapping panel dryness (TPD); 1-methylcyclopropene; physiological parameter

收稿日期:2019-06-23 修回日期:2019-10-12
基金项目:海南省重点研发计划项目(ZDYF2019105);中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金(1630022019012);国家天然橡胶产业技术体系(CARS-34-GW5)。
作者简介:胡义钰。研究方向:橡胶树死皮防控综合技术。E-mail:285329810@qq.com
*通信作者:王真辉,博士,副研究员。研究方向:橡胶树死皮防控综合技术。E-mail:wzh-36@163.com

天然橡胶是重要的战略物资,与煤炭、钢铁、石油并列为四大基础工业原料,也是其中唯一的可再生资源。橡胶树死皮是指橡胶树乳管丧失产胶功能所表现的割胶时割线的全部或局部不能排胶的症状^[1]。据估计,目前世界各植胶国有 20%~50% 的橡胶树存在死皮现象^[2],每年因此造成的干胶损失达总产量的 10%~40%^[3]。因我国为非传统植胶区,死皮率相对较高,调查显示我国死皮率高达 24.71%^[4]。近些年,死皮发生率还在逐年上升。橡胶树死皮已成为制约天然橡胶生产发展的重要因子之一,如何对其进行有效的防治是目前生产急需解决的问题^[5]。S. D. Rands^[6]报道橡胶树死皮防治方法最早见于 1912 年 Rutgers 采用的刨皮法;1989 年,Siswanto 等^[7]采用隔离、刮皮同时配合使用棕油(95%)+敌菌丹 5%混和制剂对死皮进行治疗;20 世纪七八十年代国内黎仕聪等^[8]、林维纲等^[9]开展了刨皮、剥皮和开沟隔离等方法治疗橡胶树死皮的研究。上述主要是物理防治方法,且操作繁琐,容易对树体造成二次伤害,恢复周期长。近些年,冯永堂^[10]、陈守才等^[11]、任建国^[12]、胡彦等^[13]先后公布了一些橡胶树死皮防治药剂的专利配方及施用方法,但未见其在生产实践中应用。王真辉等^[14-15]研发出 2 种橡胶树死皮防治药剂,显示其具有一定的防效^[16-18],但还有待提升。因此需要进一步研发更高效的橡胶树死皮防治技术。

多数研究者认为,橡胶树死皮是由强割和强乙烯刺激导致树体内源乙烯的累积,从而引起的一种复杂的生理综合症^[19-21]。甲基环丙烯(1-methylcyclopropene,1-MCP)是环丙烯类化合物,是一类乙烯竞争性抑制剂。它们能强烈竞争植物体内的乙烯受体并通过金属原子与受体紧密结合从而阻碍其对乙烯的正常结合,又由于这种结合是紧密的,因此使受体保持钝化状态,以致与乙烯相关的生理生化反应受抑制,从而避免过量内源乙烯对植物的伤害^[22-23]。1-MCP 在果蔬保鲜领域得到广泛的应用^[22-23],但还未见其在橡胶树死皮防控方面的应用报道。基于 1-MCP 具有如上效果,同时 1-MCP 属于小分子气体,容易穿透树干表层进入树体,本研究将 1-MCP 应用到橡胶树死皮防控中,希望利用 1-MCP 对死皮树过量的内源乙烯生理作用进行调控,避免对树体的进一步伤害,再结合树体的自身恢复,起到死皮防治的效果。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验区位于海南省儋州市中国热带农业科学院

试验场六队 1 号林段,品种为橡胶树热研 7-33-97,定植年限为 1996 年死皮植株(2~4 级死皮)。

试验药剂:1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene,1-MCP)白色粉末购于咸阳西秦生物科技有限公司,有效成分含量为 3.3%。

1.2 试验方法

1.2.1 田间布置 选取长势和树围基本一致的 2~4 级死皮植株,试验分空白、1-MCP 处理,每个处理 3 次重复,共 6 个小区,每个小区有 10 株橡胶树,共 60 株橡胶树,各小区随机分布。

1.2.2 施用方法 用刮刀清理割线中点下方 20 cm 处的粗皮,将内腔约 20 mL 的橡胶气囊安装在清理面,保证气囊和树干粘贴牢固,不漏气;定期通过橡胶气囊的开口施入 1-MCP 及所需的去离子水,然后用胶塞封堵开口;处理植株施用 1-MCP 进行处理,用药量为 0.1 g·株⁻¹·次⁻¹,去离子用量 1.5 mL·株⁻¹·次⁻¹;施药频率为 10 d 1 次,共处理 4 个月(2016 年 5—9 月);对照植株不做任何处理。

1.2.3 胶乳生理参数测定 胶乳硫醇含量参考魏芳等^[24]的 DTNB 试剂法进行测定;无机磷含量的测定采用钼酸铵比色法进行^[25];蔗糖含量的测定采用蒽酮试剂法进行^[26];黄色体破裂指数参照程成等^[27]的方法进行测定。

1.3 数据处理

试验结果采用 Excel2003 和 DPS7.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 处理对橡胶树死皮植株的防效

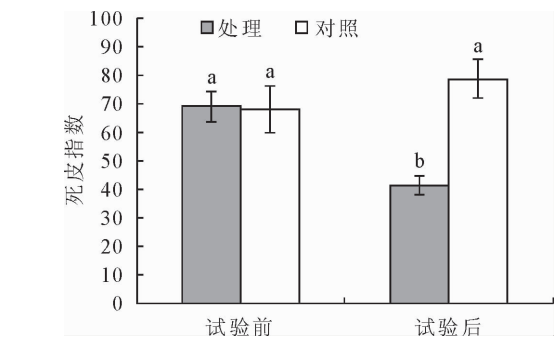
死皮长度恢复值及恢复率是橡胶树割面症状及其变化情况的直观反映。通过跟随胶工割胶,逐株观测,统计各观测结果(表 1),显示试验前对照和处理植株死皮长度相当,无显著性差异;试验后处理植株死皮长度减少 12.63 cm,而对照植株死皮长度增加 6.26 cm;其对应的死皮长度恢复率分别为 54.44%和-27.73%。经 1-MCP 处理的植株死皮长度显著降低,同时也显著低于同时期的对照。

死皮指数是衡量死皮严重程度的一个重要指标(图 1),对照植株死皮指数由试验前的 68.00 加重为试验后的 78.67;而经 1-MCP 处理的植株死皮指数由试验前的 69.33 降低为 41.33,降低了 28 个点,试验前后的变化达显著性水平,同时也显著<同时期的对照。通过计算,得到防效为 48.47%。可见,未经处理植株割线症状进一步恶化,而施用 1-MCP 显著改善橡胶树死皮植株割线症状,防效显著。

表 1 死皮长度变化情况
Table 1 Changes of TPD length

| 处理 | 株均割线 长度/cm | 株均死皮长度/cm | | 死皮长度 恢复值/cm | 死皮长度 恢复率/% |
|----|---------------|-------------|-------------|----------------|---------------|
| | | 试验前 | 试验后 | | |
| 对照 | 47.2±1.92a | 22.57±3.77b | 28.83±4.94b | —6.26 | —27.73 |
| 处理 | 44.2±1.59a | 23.20±4.10b | 10.57±1.16c | 12.63 | 54.44 |

注:表中数值为均值±SE(n=3),不同小写字母表示在 5%水平上 Duncan's 多重比较的显著性差异。下表同。



注:不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。

图 1 不同处理死皮指数的变化

Fig. 1 The index of TPD disease of different treatments

2.2 1-MCP 处理对橡胶树死皮植株的胶乳产量的影响

由图 2 可知,试验前处理和对照单株胶乳产量分别为 6.40 mL 和 10.33 mL;试验后处理和对照单株胶乳产量分别为 37.6 mL 和 4.87 mL。对照植株减产 5.46 mL,而经 1-MCP 处理植株其单株增产 31.2 mL,处理植株的胶乳产量显著增加,同时也显著>同时期对照。这与前述各处理死皮长度、死皮指数及防效的结果相一致。由此可见,施用 1-MCP 显著改善橡胶树死皮植株割线症状防效显著,同时能显著提高死皮植株胶乳产量。

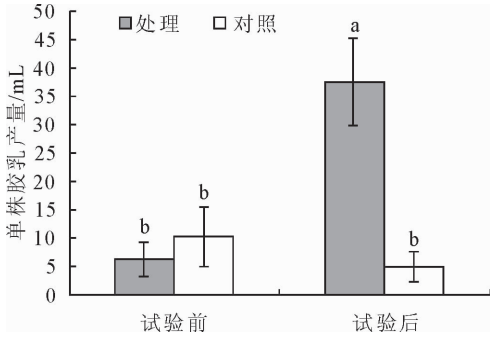


图 2 试验前后各处理的平均单株胶乳产量

Fig. 2 The average latex yield per plant at the end of test

2.3 1-MCP 处理对橡胶树死皮植株的胶乳生理参数的影响

橡胶树胶乳生理与橡胶树胶乳产量密切相关,通过对胶乳生理参数的诊断来判断胶树代谢与健康状况,以指导采胶生产^[28]。试验结果见表 2,相对试验前,试验后对照和处理植株胶乳硫醇含量都有所增加,但对照仅增加 0.12 mmol·L⁻¹,前后差异不显著,而硫醇含量由 0.24 mmol·L⁻¹增加到 0.43 mmol·L⁻¹,增加显著;试验后对照胶乳无机磷含量减少了 0.78 mmol·L⁻¹,而处理无机磷含量增加 2.63 mmol·L⁻¹;对照及处理胶乳蔗糖含量都有所增加,但处理增加幅度更大,增加值为 4.46 mmol·L⁻¹,大于对照

表 2 试验前后各处理胶乳生理参数变化情况

Table 2 Changes of physiological parameters of latex treated before and after the experiment

| 处理 | 时间 | 硫醇含量 /(mmol·L ⁻¹) | 无机磷含量 /(mmol·L ⁻¹) | 蔗糖含量 /(mmol·L ⁻¹) | 黄色体破裂 指数/% | pH |
|----|-----|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------|------------|
| 对照 | 试验前 | 0.25±0.02bc | 9.29±0.75a | 16.88±1.25abc | 18.34±0.77b | 6.66±0.03a |
| | 试验后 | 0.37±0.06ab | 8.51±2.31a | 18.06±4.00ab | 29.57±3.13ab | 6.58±0.06a |
| 处理 | 试验前 | 0.24±0.02bc | 7.39±1.27a | 16.09±1.90abc | 26.81±1.70ab | 6.54±0.06a |
| | 试验后 | 0.43±0.06a | 10.02±1.19a | 20.55±2.59a | 33.69±4.96a | 6.66±0.03a |

的 1.18 mmol·L⁻¹增加值;胶乳黄色体破裂指数,对照和处理都增加,但对照增加幅度更大,其增加值为 11.23,而处理仅增加 6.88;胶乳 pH 的变化趋势与无机磷含量相似,即试验后对照 pH 降低,处理 pH 增加。综上,橡胶树死皮植株经 1-MCP 处理有利于提高死皮植株胶乳硫醇、无机磷及蔗糖含量,同时对提高胶乳 pH,抑制黄色体破裂指数增加也相对有利。即通过施用 1-MCP 能改善死皮植株的胶乳生理,增强死皮植株的产排胶潜能。

3 结论与讨论

除科学割胶与栽培管理外,施用防治药剂也是橡胶树死皮防控的重要方式之一^[29]。近年来,市场现存多种橡胶树死皮防治相关药剂,胶农普遍反映效果不是很理想,有些甚至对树体造成进一步的伤害^[30]。针对橡胶树死皮的严重性与防控的紧迫性,本研究将 1-MCP 应用到橡胶树死皮的防控中,结果显示,通过施用 1-MCP 死皮长度恢复率为 54.44%,

防效达 48.47%，显著增加死皮植株胶乳产量。

从胶乳生理参数来看,施用 1-MCP 后死皮植株的各胶乳生理参数得到不同程度的改善。胶乳硫醇是维持乳管细胞正常代谢的重要成分之一,它能清除乳管细胞代谢所产生的活性氧,从而降低对乳管的伤害,保持胶乳的稳定性;同时它也是乳管内异戊二烯组成代谢中一些关键酶(如丙酮酸激酶、转化酶等)的活化剂,能影响胶乳再生^[31]。试验中硫醇含量在施用 1-MCP 后显著提高,暗示了橡胶树在死皮恢复过程中乳管系统的清除活性氧功能和代谢活性增强,从而有助于胶乳的顺畅排出。无机 P 含量是胶树能量代谢强度的指标。胶树合成腺苷以提供能量,合成 NADPH 以提供还原力,合成核酸以及焦磷酸的水解等过程都会产生无机 P。试验中,经 1-MCP 处理植株其胶乳无机磷含量增加,而对照减小,这一变化趋势与胶乳产量一致。胶乳中无机磷含量与产量呈极显著正相关^[28];黄德宝等^[32]的研究也发现,不同品系的胶乳产量与无机 P 含量呈正相关。说明施用 1-MCP 后死皮植株乳管系统的能量代谢活性增强,促进胶乳产量的增加。蔗糖是光合作用的主要产物,是合成聚异戊二烯分子的前体,因此与橡胶产量密切相关。高蔗糖含量说明胶树或者糖供应活跃或者是糖利用不足,反应胶树有增加产量的潜力^[28]。本研究表明,施用 1-MCP 植株其胶乳蔗糖含量增加值高于未施用植株,同时胶乳产量显著增加,意味着施用 1-MCP 使得死皮植株糖供应更活跃,从而提高胶乳产量。黄色体破裂指数反映了胶乳中黄色体的稳定性、完整性,与乳管堵塞、胶乳停排及橡胶树死皮密切相关^[27,31]。研究结果表明,处理和对照死皮植株胶乳黄色体破裂指数都有所增加,但处理死皮植株胶乳黄色体破裂指数增加值相对较小,这表明经 1-MCP 处理有助于抑制黄色体破裂,增加其稳定性。其原因可能是经 1-MCP 处理后,死皮植株胶乳硫醇显著增加,能清除乳管细胞代谢所产生的活性氧,减少其对黄色体膜的降解、有利黄色体的完整性^[24,33]。胶乳 pH 值是乳管细胞糖酵解多种关键酶(如转化酶、PEPCase、GAPDH、丙酮酸脱羧酶)的调控因子,胶乳 pH 值轻微上升,能明显激活糖酵解途径^[34]。pH 值与产量呈正相关^[34-36]。本研究表明,pH 变化趋势和胶乳产量一致,即经 1-MCP 处理死皮植株其胶乳产量显著增加,pH 也相应增大;未经 1-MCP 处理死皮植株其胶乳产量减小,pH 也相应减小。

综上所述,施用 1-MCP 有助于死皮植株胶乳各生理参数的改善,增强其产排胶潜能,最终改善割线症状,增加胶乳产量。本研究取得了预期的效果,对

进一步揭示橡胶树死皮发生机理及橡胶树死皮防治具有一定的现实意义,为进一步开发新型高效的橡胶树死皮防治药剂提供新的思路,同时对拓展 1-MCP 的用途提供了新方向。

参考文献:

[1] LIU H,WEI Y X,DENG Z,*et al.* Involvement of HbMC1-mediated cell death in tapping panel dryness of rubber tree (*Hevea brasiliensis*)[J]. Tree Physiology,2019,3(39),391-403.

[2] ELISABETH D F. Histo- and cytopathology of trunk phloem necrosis,a form of rubber tree (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) tapping panel dryness[J]. Australian Journal of Botany,2011,59(6),563-574.

[3] GEBELIN V,LECLERCQ J,KUSWANHAD I,*et al.* The small RNA profile in latex from *Hevea brasiliensis* trees is affected by tapping panel dryness[J]. Tree physiology,2013,33(10),1084-98.

[4] 王真辉,袁坤,陈邦乾,等. 中国主要植胶区橡胶树死皮发生现状及田间分布形式研究[J]. 热带农业科学,2014,34(11):66-70.

[5] 胡义钰,孙亮,袁坤,等. 橡胶树死皮防治技术研究进展[J]. 热带农业科学,2016,36(4):72-76.

[6] RANDS R D. Brown bast disease of plantation rubber,its cause and prevention[M]. Jaargang:Archief Voor De Rubber culture in Nederlandsch-Indie,1921.

[7] SISWANTO,FIRMANSYAH. Attempts to control bark dryness in rubber plants[C]. Penang:Proceedings of the IRRDB Workshop Tree Dryness,1989.

[8] 黎仕聪,林钊沐,钟起兴,等. 橡胶树褐皮病的防治[J]. 热带作物研究,1984(2):10-18.

[9] 林维纲,黎良湾,庄有扬,等. 橡胶死皮树生产性处理措施和复割效果[J]. 热带作物研究,1984(2):18-22.

[10] 冯永堂. 一种用于治疗橡胶树死皮病的组合物:101889580A [P]. 2010-11-24.

[11] 陈守才,邓治,陈春柳,等. 一种防治橡胶树死皮病的复合制剂及其制备方法:101743965A [P]. 2010-06-23.

[12] 任建国. 一种防治橡胶树死皮病的制剂及其制备方法和应用:103011956A [P]. 2013-04-03.

[13] 胡彦,黄天明. 一种防治橡胶树死皮的药剂的制备方法:104291953A [P]. 2015-01-21.

[14] 王真辉,袁坤,谢贵水,等. 一种橡胶树死皮康复营养液:103708904A [P]. 2014-04-09.

[15] 王真辉,胡义钰,袁坤,等. 一种橡胶树死皮防治涂施药剂及其制备方法:104003810A [P]. 2014-08-27.

[16] 周敏,王真辉,李芹,等. 橡胶树死皮防控试验[J]. 热带农业科学,2016,36(12):52-55.

[17] 袁坤,白先权,冯成天,等. 死皮康复营养剂恢复橡胶树热研 7-33-97 死皮植株产胶能力的效果分析[J]. 热带作物学报,2017,38(7):1253-1259.

[18] 周敏,胡义钰,李芹,等. 死皮康复营养剂对橡胶树死皮的应用效果[J]. 热带农业科学,2019,39(2):56-60.

[19] 校现周. 乙烯代谢对橡胶树的伤害及其发生机制探讨[J]. 热带农业科学,2000(4):7-11.

研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 146-151.

CHAI Y, MENG G T, FANG X J, *et al.* Community feature of degraded forest along the reaches of Jinshajiang in Yunnan Province [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(2): 146-151. (in Chinese)

[3] Food and Agriculture Organization of the United Nations. State of the world's forests: enhancing the socioeconomic benefits from forests[R]. <http://www.environmentportal.in/content/394679/state-of-the-worlds-forests-2014-enhancing-the-socio-economic-benefits-from-forests/> 2014.

[4] 李少宁, 王兵, 赵广东, 等. 森林生态系统服务功能研究进展——理论与方法[J]. 世界林业研究, 2004, 17(4): 14-18.

[5] PITMAN N C A, SILMAN M R, TERBORGH J W. Oligarchies in Amazonian tree communities: a ten year review [J]. *Echography*, 2013, 36(2): 114-123.

[6] 毕福传, 詹毅. “小班经营、单株培育、采、更、抚系统工程研究”的培育方法和效果分析[J]. 林业勘查设计, 2002, 31(4): 38-40.

[7] 张革, 赵杰, 王克锐. 基于小班区划经营的综合抚育采伐技术[J]. 林业实用技术, 2012, 55(7): 10-11.

[8] 简晓丹, 石凤鸣, 邱岩明. 小班区划经营·综合抚育采伐[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.

[9] 王文成, 林永杰, 郝瑛秋. 区划经营小班完善森林经理调查体系[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2006, 19(4): 66, 92.

[10] 王晶晶, 亢新刚, 高延, 等. 金沟岭林场生态公益林经营类型划分研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(5): 192-197, 235.

WANG J J, KANG X G, GAO Y, *et al.* Classification of management type of non-commercial in Jinggouling forest farm [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(5): 192-197, 235. (in Chinese)

[11] 莫晓勇. 人工林经营模式——集约化小班经营[J]. 中南林业调查规划, 2008, 27(4): 1-4.

[12] 高方莲, 李先强, 刘海峰, 等. 吉林省泉阳林业局森林功能区划及经营措施[J]. 吉林林业科技, 2011, 40(1): 29-31, 53.

[13] 蔡霞, 王祖华, 陈丽娟. 淳安县森林生态系统服务功能空间分异区划[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(5): 727-734.

[14] 张璐, 邓华锋. 县域森林功能区划与功能区管理研究——以江西省崇义县为例[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 223-227.

ZHANG L, DENG H F. County-level forest functional zoning and management of functional zones——a case study of Chongyi County in Jiangxi Province [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(4): 223-227. (in Chinese)

[15] 陆康英, 陈世清, 苏晨辉. 城郊森林功能区划方法研究——以广东省英德市为例[J]. 中南林业调查规划, 2012, 31(4): 29-34.

[16] 欧阳勋志, 廖为明, 彭世揆. 区域森林景观生态功能区划的理论与方法——以江西婺源县为例[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2004, 26(5): 700-704.

[17] 许兰霞, 蔡永茂. 八达岭林场森林功能图的研建[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(Supp. 1): 63-67.

XU L X, CAI Y M. Study and establishment of forest function map of Badaling forest center [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2003, 25(Supp. 1): 63-67. (in Chinese)

[18] 曾群英, 周元满, 李际平, 等. 地级森林生态系统区划与组织实施[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 102-106.

[19] 陆元昌, 刘宪钊, 雷相东, 等. 人工林多功能经营技术体系[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(7): 1-10.

(上接第 164 页)

[20] PUTRANTO R A, HERLINAWATI E, RIO M. Involvement of ethylene in the latex metabolism and tapping panel dryness of *Hevea brasiliensis* [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2015, 16(8): 17885-17908.

[21] 袁坤, 杨礼富, 陈帮乾, 等. 海南植胶区橡胶树死皮发生现状分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 176-179.

YUAN K, YANG L F, CHEN B Q, *et al.* Current situation of *Hevea brasiliensis* tapping panel dryness occurring in Hainan [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 176-179. (in Chinese)

[22] 张艺馨, 尚玉臣, 张晓丽, 等. 1-MCP 在果蔬应用上的研究进展[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(11): 1-6.

[23] 孙志栋, 田雪冰, 倪穗, 等. 1-MCP 对采后果实贮藏品质影响的研究进展[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 336-341.

[24] 魏芳, 罗世巧, 校现周, 等. 橡胶树胶乳中硫醇功能以及模式植物中硫醇合成途径研究进展[J]. 热带农业科学, 2012, 32(8): 12-17.

[25] TAUSSKY H H, SHORR E A. Microcolorimetric method for the determination of inorganic phosphorus [J]. Journal of Biological Chemistry, 1953, 202: 675-685.

[26] ASHWELL G. Colorimetric analysis of sugars [J]. Methods in Enzymology, 1957, 3: 73-105

[27] 程成, 史敏晶, 田维敏. 巴西橡胶树胶乳中黄色体破裂指数测定方法的优化[J]. 热带作物学报, 2012, 33(7): 1197-1203.

[28] 肖再云, 校现周. 巴西橡胶树胶乳生理诊断的研究与应用[J]. 热带农业科技, 2009, 32(2): 46-50.

[29] 胡义钰, 孙亮, 袁坤, 等. 壳聚糖载体橡胶树死皮防治药剂的防效研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(3): 562-565.

[30] 胡义钰, 冯成天, 孙亮, 等. 橡胶树死皮防治缓释颗粒调剂造粒工艺的研究[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(2): 139-145.

[31] 杨少琼, 熊涓涓. 橡胶树乳管系统功能的胶乳诊断——Ⅱ. 黄色体破裂指数的测定[J]. 热带作物研究, 1989(1): 68-71.

[32] 黄德宝, 秦云霞, 唐朝荣. 橡胶树三个品系(热研 8-79、热研 7-33-97 和 PR107)胶乳生理参数的比较研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(2): 170-175.

[33] 校现周. 橡胶胶乳中 R—SH 的生理作用[J]. 热带作物研究, 1996(3): 5-9.

[34] 王岳坤, 阳江华, 秦云霞. PR107 两种割胶制度胶乳生理参数的季节变化[J]. 热带作物学报, 2014, 35(3): 419-424.

[35] 郭秀丽, 孙亮, 胡义钰, 等. 巴西橡胶树不同死皮程度植株的胶乳生理参数分析[J]. 南方农业学报, 2016, 47(9): 1553-1557.

[36] 何晶, 冯成天, 郭秀丽, 等. 高浓度乙烯利刺激诱导橡胶树死皮发生过程中的胶乳生理研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(2): 123-128.

HE J, FENG C T, GUO X L, *et al.* Latex physiological characteristics during tapping panel dryness (TPD) occurrence induced by high-concentration ethrel stimulation in *Hevea brasiliensis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(2): 123-128. (in Chinese)