

文章编号: 1674-7054(2022)01-0007-06



橡胶苗不同器官渗透调节物质组成及其对渗透势的贡献

程玉弯^{1,2}, 安 锋², 史静儒^{1,2}, 谢贵水², 蔡 靖¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌, 712100; 2. 农业农村部 儋州热带作物科学观测
实验站/中国热带农业科学院 橡胶研究所, 海南 儋州 571737)

摘 要: 为研究橡胶苗不同器官渗透调节物质对渗透势的贡献及其与物质运输的关系, 进而为进一步研究橡胶树不同器官渗透调节过程与光合作用、木质部—韧皮部水分平衡、胶乳产量等之间的关系提供依据, 以橡胶树‘热研 7-33-97’袋育苗为材料, 测定了其根、叶渗透势和可溶性糖、游离氨基酸、有机酸、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺、NO³⁻、Cl⁻、P、S 等渗透调节物质含量。结果表明, 橡胶苗叶片中渗透调节物质主要由有机物组成, 根部渗透调节物质主要由无机物组成, 且橡胶苗叶片中的渗透调节物质总含量远高于其根部的; 在根和叶中, 可溶性糖、游离氨基酸、K⁺、Ca²⁺对渗透势的贡献虽不同但均为其主要渗透调节物质。

关键词: 橡胶树; 渗透调节物质; 渗透调节; 物质运输

中图分类号: S 794.1; S 718.43 **文献标志码:** A

引用格式: 程玉弯, 安锋, 史静儒, 等. 橡胶苗不同器官渗透调节物质组成及其对渗透势的贡献 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(1): 7-12. DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.01.002

橡胶树 (*Hevea brasiliensis*) 是大戟科橡胶树属高大乔木, 原产于降水丰沛且分布均匀的亚马逊河流域热带雨林地区, 喜高温高湿环境。我国橡胶树种植区地处热带北缘次适宜区, 每年均会遭受不同程度的寒害、台风和季节性旱害, 严重影响橡胶树产量^[1]。渗透调节与植物生长、产量、抗逆性和韧皮部光合产物运输密切相关^[2-3], 它可以使植物在干旱土壤中存活更久并保持新陈代谢过程。在小麦、玉米、高粱、豌豆等农作物中, 渗透调节能力与干旱胁迫下植物的生长、产量呈正相关^[4]。另外, 渗透调节物质的存在是植物细胞膨压产生的基础, 而根据植物韧皮部物质运输的“压力流动学说”, 渗透调节驱动的膨压是光合产物从“源”端到“库”端运输的驱动力^[5-7]。不同植物、甚至同一植物不同生长阶段和不同器官的主

要渗透调节物质存在差异^[8]: K⁺和氨基酸是小麦水分胁迫下的主要渗透调节物质^[9]; 枸杞幼苗叶片在水分胁迫下, K⁺、Cl⁻、Na⁺起主要渗透调节作用^[10]; 核桃树中山梨醇和草酸盐是主要渗透调节物质^[11]。而在盐胁迫下, 葡萄砧木叶片和根系的渗透调节物质含量均升高, 可溶性糖是主要渗透调节物质, 贡献均为 96% 以上^[12]。不同浓度 NaHCO₃ 溶液处理的碱胁迫下对新疆枸杞和枸杞幼苗根部渗透调节相对贡献由大到小的物质依次是 Na⁺、有机酸、可溶性糖, 其中 Na⁺ 的平均贡献率分别为 17.44%、11.66%, 有机酸的贡献率分别为 10.72%、9.97%^[13]。张宜辉^[14] 对红树科植物木榄的研究结果表明, 成熟胎生繁殖体以无机离子 Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺、Cl⁻ 作为主要渗透调节物质。蔡昆争等^[15] 研究发现, 不同生育期水稻渗透调节

收稿日期: 2021-06-01

修回日期: 2021-06-25

基金项目: 国家天然橡胶产业技术体系(CARS-33-ZP1); 国家重点研发计划(2020ZDYF1000600)

第一作者: 程玉弯(1998-), 女, 西北农林科技大学林学院 2019 级硕士研究生. E-mail: 2232050349@qq.com

通信作者: 安锋(1977-), 男, 研究员. 研究方向: 作物栽培生理与生态. E-mail: an-f@catas.cn; 蔡靖(1968-), 女, 教授. 研究方向: 树木水分生理生态, 森林生态, 森林植物资源开发利用. E-mail: cjcailing@163.com

能力存在差异,由强到弱依次是:抽穗期、幼穗分化期、结实期、分蘖期。符云鹏等^[16]研究结果表明,不同生育期香料烟在水分胁迫下,渗透调节物质增加幅度不同,对渗透调节的贡献也不一样,其中 K^+ 、可溶性糖、 Ca^{2+} 对渗透调节的相对贡献较大。王瑞^[17]研究发现,处于干旱处理的前中期的棉花叶片渗透调节主要物质是 K^+ ;处理后期, K^+ 含量减少,叶片渗透调节能力明显降低,此时氨基酸成为渗透调节的主要贡献者。蔡昆争等^[15]研究结果表明,对于同一小麦品种,叶片中渗透调节物质贡献由大到小依次是 K^+ 、可溶性糖、游离氨基酸、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、脯氨酸,而根系中 K^+ 虽然也是渗透调节的主要物质,但 Ca^{2+} 对根系渗透调节的贡献也值得关注。王西石^[18]研究发现,干旱胁迫下红砂的叶和茎中 K^+ 和 Na^+ 大量积累,而根中其含量变化不大。李莉莎等^[19]研究结果表明,高山蒿草返青期根和叶中可溶性糖含量一样,随着高山蒿草的生长,叶片中可溶性糖显著积累,根部含量比较稳定只有在枯黄期才显著增加,作为冬季的物质基础。王瑞^[17]通过研究花铃期干旱对棉花产量品质的影响,发现干旱不影响棉株碳代谢变化,但显著抑制上部果枝叶片的同化作用,同时促进碳水化合物向下部果枝大龄棉铃的运转;研究还发现叶片中主要碳水化合物的含量变化不受叶龄和叶位的影响而受到棉株的统一调控^[17]。符云鹏等^[16]研究结果表明,不同植物主要渗透调节物质不同可能与其生长环境及适应不同环境的机制有关,而同一植物不同器官渗透调节物质相对贡献存在差异可能与其生育期、胁迫强度、同化物质运输等有关。

橡胶树在一天的生长过程中以及割胶过程中水分条件变化剧烈,不同器官中渗透调节物质含量及其变化与生长状况和物质运输是否存在一定联系尚不清楚。本研究以橡胶树品种‘热研 73397’袋装组培苗为研究对象,测定橡胶苗正常水分条件下根和叶渗透势及可溶性糖、游离氨基酸、有机酸、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 NO_3^- 、 Cl^- 、P、S 等渗透调节物质的含量,以研究橡胶苗根和叶渗透调节物质组成及其对渗透势的贡献,进而阐明其变化规律,旨在为进一步研究橡胶树不同器官渗透调节过程与光合作用、木质部—韧皮部水分平衡、胶乳产量等之间的关系提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料及处理 选取两蓬叶、顶蓬叶稳定、无病虫害且生长一致的‘热研 7-33-97’袋育橡胶树组培苗(高 80 ~ 100 cm)15 株。将橡胶苗置于试验大棚内,每天下午 6 点向育苗袋中浇水,直至袋中土壤完全湿润,使橡胶苗处于充分供水、无水分胁迫生长环境下。培养 5 ~ 7 d,采集嫩根、完全展开的功能叶,洗净,擦干,用于生理生化指标的测定。

1.2 植物水分生理指标测定 相对含水量的测定:随机选取 3 株橡胶苗,摘取 3 片叶片,将塑料袋沿缝线剖开,整株取出,立即带回实验室用去离子水冲洗干净根和叶并用滤纸吸干即为鲜样,称鲜质量(FW),置烘箱中 105 °C 杀青 15 min, 80 °C 烘至恒质量,得到干样,称干质量(DW)。

相对含水量% = (鲜质量 - 干质量) / 鲜质量 × 100%。

用植物水势压力室(3005 型、美国 SoilMoisture Equipment Corp.)测定叶水势^[20]。用冰点渗透压仪(OM807、德国 VOGEL 公司)测定不同组织渗透势:将洗净、擦干后的根、叶新鲜组织迅速放入液氮中冷冻,15 min 后取出,置于装有 0.22 μm 针式过滤器的注射器中,室温下消融 30 min 后压出汁液用以测定。

1.3 渗透调节物质含量测定方法 无机离子质量摩尔浓度($mmol \cdot g^{-1} DW$)的测定如下: Na^+ 、 K^+ 质量摩尔浓度的测定采用火焰光度计法^[21]; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 质量摩尔浓度的测定采用原子吸收光谱法^[22-23];全 P 质量摩尔浓度的测定采用钼锑抗显色法^[24-25];S、 Cl^- 质量摩尔浓度的测定采用比浊法^[26-27]; NO_3^- 、可溶性糖、游离氨基酸的质量摩尔浓度的测定采用比色法^[28];有机酸质量摩尔浓度的测定采用酸碱滴定法^[29]。

1.4 渗透调节物质对渗透势贡献率的计算 各渗透物质组分对渗透势贡献率的计算参考周强^[29]的方法利用公式 $\psi = -icRT$ 计算,式中 ψ 为渗透势, i 为溶液中溶质的活度系数, c 为溶质的摩尔浓度($mol \cdot L^{-1}$), R 为气体常数($R = 0.0083143 L \cdot MPa \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$),测定温度为 25 °C (即 $T = 298.15 K$)。各渗透物质组分对渗透势的贡献通过为单一溶质占总渗透调节物质含量的比例及测定的渗透势计算。

1.5 数据统计分析 每个指标重复 3 次。应用统计分析软件 SPSS 26.0 对试验数据进行独立样

本 t 检验 ($P < 0.05$ 为显著, 用 * 表示; $P < 0.01$ 为极显著, 用 ** 表示), 应用统计分析软件 Origin 2018 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同器官的含水量、水势和渗透势差异

正常生长状态下橡胶苗根和叶的相对含水量无显著差异, 分别为 64.79% 和 58.2% (图 1)。根、叶

水势分别为 -0.051 Mpa 和 -0.60 Mpa, 根水势极显著高于叶水势。根、叶渗透势分别为 -0.75 Mpa 和 -2.15 Mpa, 根渗透势极显著高于叶渗透势。

2.2 有机渗透调节物质含量 叶中可溶性糖含量为 $1.55 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ (DW), 极显著高于根, 根和叶中有机酸和游离氨基酸含量没有显著差异 (图 2)。可溶性糖和游离氨基酸在各器官中的含量均较高, 而有机酸含量相对较少。

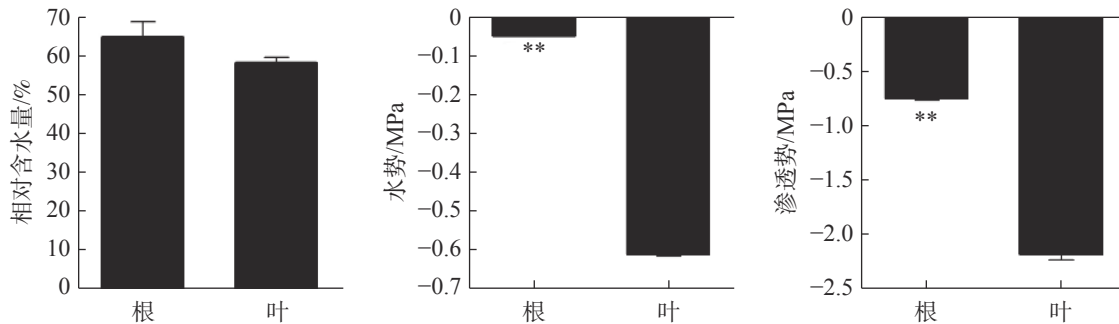


图 1 正常水分状态下橡胶苗根和叶的相对含水量、水势和渗透势差异

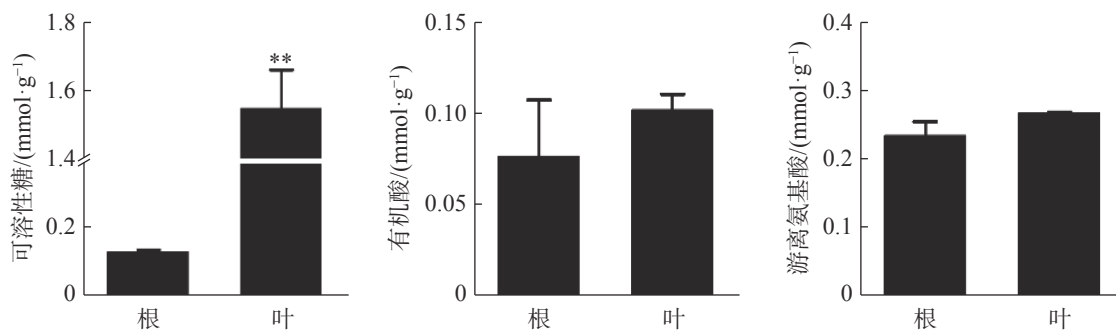


图 2 橡胶苗根和叶中有机物含量

2.3 无机渗透调节物质的含量 橡胶树叶片中 S 的含量显著高于根, NO_3^- 和 P 的含量极显著高于根 (图 3); Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量分别为 0.21 、 $0.078 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ (DW), 也极显著高于根 (图 4)。根和叶中 Cl^- 、 K^+ 含量无显著差异。根中 Na^+ 含量极显著高于叶 (图 4)。除 Cl^- 、 K^+ 和 Na^+ 外, 其他无机离子在叶片中的含量均高于根, 其中大多数具有显著或极显著差异。

2.4 根和叶中各种渗透调节物质组成及其对渗透势的贡献 叶片中渗透调节物质总含量是根中总含量的 2.54 倍 (图 5)。叶片中有机物含量远高于无机物, 以可溶性糖含量占比最高; 而在根中渗透调节物质主要由无机物组成, 以 K^+ 含量所占比例最高。根中无机物和有机物对渗透势的贡献分

别为 57.78% 和 42.22%, 各渗透物质对根渗透势的贡献度大小依次为: K^+ (25.97%) > 游离氨基酸 (22.13%) > 可溶性糖 (12.94%) > Ca^{2+} (10.94%) > Na^+ (9.59%) > 有机酸 (7.15%) > Mg^{2+} (3.66%) > P (3.28%) > S (2.44%) > NO_3^- (1.37%) > Cl^- (0.54%); 而在叶片中有机物贡献率达 70.15%, 无机物贡献率仅为 29.85%, 其中可溶性糖贡献率最大, 占 56.55%, 叶片各渗透调节物质对叶片渗透势的贡献度大小依次为: 可溶性糖 (56.55%) > K^+ (11.66%) > 游离氨基酸 (9.86%) > Ca^{2+} (7.61%) > 有机酸 (3.74%) > Mg^{2+} (2.85%) > P (2.13%) > Na^+ (2.07%) > S (1.72%) > NO_3^- (1.63%) > Cl^- (0.18%)。结果表明, 橡胶苗根和叶中的主要渗透调节物质是: K^+ 、游离氨基酸、可溶性糖和 Ca^{2+} 。

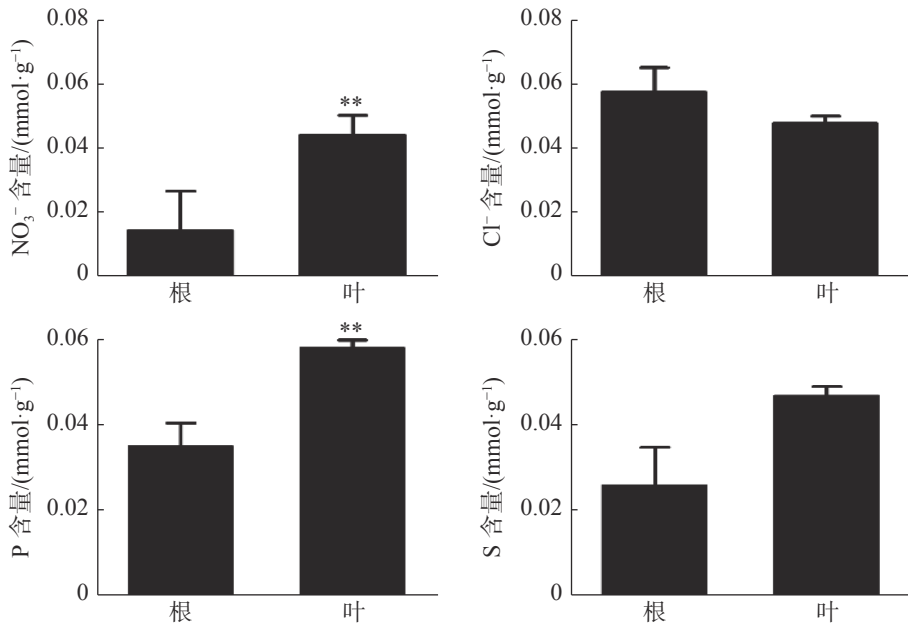


图3 橡胶苗根和叶中无机阴离子含量

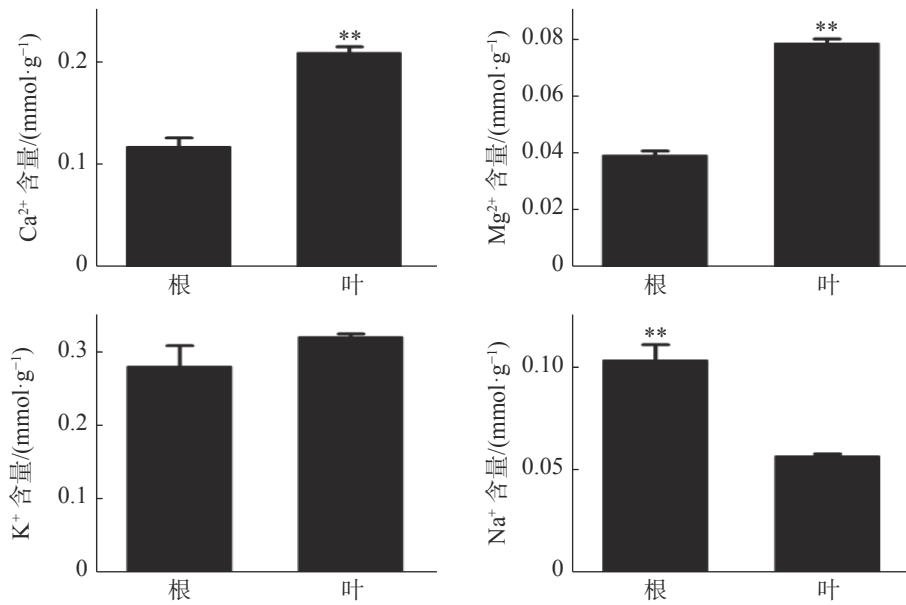


图4 橡胶苗根和叶中无机阳离子含量

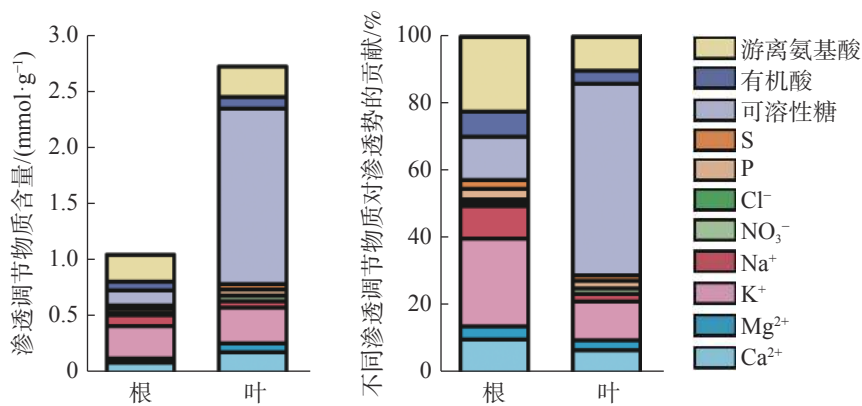


图5 橡胶苗根和叶渗透调节物质组成及其对渗透势的贡献

3 讨 论

本研究结果表明, 橡胶苗根中各渗透调节物质的贡献从大到小依次为 K^+ 、游离氨基酸、可溶性糖、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、有机酸、 Mg^{2+} 、P、S、 NO_3^- 、 Cl^- , 叶片中各渗透调节物质贡献从大到小依次为可溶性糖、 K^+ 、游离氨基酸、 Ca^{2+} 、有机酸、 Mg^{2+} 、P、 Na^+ 、S、 NO_3^- 、 Cl^- 。可溶性糖对叶片渗透势的贡献大于根系, K^+ 对根系渗透势的贡献大于叶片, 这与王玮等^[30]研究不同玉米品种根和叶中渗透调节能力的结果一致。水稻叶片和根系中对渗透调节贡献最大的是 K^+ , 其次是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ^[15]。水分胁迫下玉米根和叶中的渗透调节物质主要是可溶性糖和 K^+ ^[30]。小麦叶片中的主要渗透调节物质依次是 K^+ 、可溶性糖、游离氨基酸^[31]。由此可见, 各物质在不同器官中对渗透调节的贡献随物种不同而异, 但 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、可溶性糖和游离氨基酸都在渗透调节过程中发挥着重要作用, 本研究结果与此一致。橡胶苗叶中渗透调节物质总量是根的 2.54 倍, 而渗透物质含量高低与其渗透势高低一致。高山嵩草^[19]和玉米^[30]中根系渗透调节物质的含量及渗透调节过程中的增加量均小于叶片, 根系渗透调节能力低于叶片。橡胶苗根和叶渗透调节能力的差异可能与其光合产物积累和运输相关, 可溶性糖可能是橡胶树渗透调节驱动的物质运输的关键。

橡胶苗根和叶中渗透调节物质的含量和组成不同。叶片中渗透调节物质总含量高, 且主要由有机物组成。根中渗透调节物质主要是无机物。不同器官中各物质对渗透势的贡献不同, 但主要渗透调节物质均为可溶性糖、游离氨基酸、 K^+ 、 Ca^{2+} 。本研究尚未做胁迫处理, 只是初步阐明了橡胶苗不同器官渗透调节物质的组成和贡献。因此, 建议后续可以加入干旱胁迫实验, 以深入了解橡胶树在干旱期间通过渗透调节调控生理过程的机制, 也可以与不同部位光合产物的含量变化、水通道蛋白和蔗糖转运蛋白的表达等多方面指标结合, 进一步探讨渗透调节物质变化与光合产物运输、木质部—韧皮部水分平衡等的关系, 对橡胶树抗逆栽培技术的研发提供指导。

参考文献:

[1] 何康, 黄宗道. 热带北缘橡胶树栽培[M]. 广州: 广东科技出版社, 1987: 4-5.

- [2] 李德全, 邹琦, 程炳嵩. 植物在逆境下的渗透调节[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 1989, 20(2): 78-83.
- [3] ABRAHAM B. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production [J]. *Plant, Cell & Environment*, 2017, 40(1): 4-10.
- [4] GOODMAN R M. *Encyclopedia of Plant and Crop Science* [M]. Boca Raton: CRC Press, 2012.
- [5] 刘新, 刘稳生, 葛才林, 等. 韧皮部同化物和水分运输相关关系的示踪动力学研究[J]. 江西农业大学学报, 1998, 20(4): 99-102.
- [6] DAMIEN S, YOUCEF M. Diurnal dynamics of phloem loading: theoretical consequences for transport efficiency and flow characteristics [J]. *Tree Physiology*, 2019, 39: 300-311.
- [7] D'AUZAC J. *Physiology of Rubber Tree Latex* [M]. Boca Raton: CRC Press, 1989: 181-195.
- [8] HANDA S, BRESSAN R A, HANDA A K, et al. Solute contributing to osmotic adjustment in cultured plant cells adapted to water stress [J]. *Plant Physiology*, 1983, 73(3): 834-843.
- [9] PATAKAS A, NIKOLAOU N, ZIOZIOU E, et al. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines [J]. *Plant Science*, 2002, 163(2): 361-367.
- [10] 郑国琦, 许兴, 邓西平, 等. 盐分和水分胁迫对枸杞幼苗渗透调节效应的研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(2): 56-59.
- [11] ZHOU Q, YU B. Changes in content of free, conjugated and bound polyamines and osmotic adjustment in adaptation of vetiver grass to water deficit [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2010, 48(6): 417-425.
- [12] 付晴晴, 谭雅中, 翟衡, 等. 盐胁迫下不同抗性砧木杂交 F_1 代株系渗透调节物质分析探究[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2017, 216(6): 5-11.
- [13] 刘强, 王占武, 周晓梅. $NaHCO_3$ 胁迫下新疆枸杞和枸杞的渗透调节作用[J]. *东北林业大学学报*, 2017, 45(2): 34-38.
- [14] 张宜辉. 几种红树植物繁殖体发育和幼苗成长过程的生理生态学研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2003.
- [15] 蔡昆争, 吴学祝, 骆世明. 不同生育期水分胁迫对水稻根叶渗透调节物质变化的影响[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 491-500.
- [16] 符云鹏, 李国芸, 王义伟, 等. 短期水分胁迫对香料烟叶片含水量及渗透调节物质的影响[J]. *中国烟草学报*, 2008, 14(6): 41-43.
- [17] 王瑞. 花铃期持续土壤干旱影响棉花产量品质形成的生理生态机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [18] 王西石. 荒漠植物红砂在干旱胁迫和盐胁迫下的渗透调节研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [19] 李莉莎, 徐海燕, 吴晓东, 等. 青藏高原高山嵩草叶、根抗寒性生理特征[J]. *草地学报*, 2020, 28(6): 1544-1551.
- [20] 党维, 姜在民, 李荣, 等. 6个树种1年生枝木质部的水力特征及与栓塞修复能力的关系[J]. *林业科学*, 2017, 53(3): 49-59.
- [21] 王宝罗, 张安丽, 徐坤荣. 火焰光度法同时测定常见水果中的钾钠含量[J]. *淮阴师范学院学报(自然科学*

- 版), 2007, 6(1): 61 – 63.
- [22] 兰艳素, 王宁宁, 常相雾. 火焰原子吸收法测定荔枝草中金属元素含量[J]. *广州化工*, 2016, 44(22): 78 – 80.
- [23] 曹叶霞, 郭杨, 李秋. 微波消解火焰原子吸收光谱法测定香菜中的金属元素[J]. *中国调味品*, 2017, 42(9): 119 – 122.
- [24] 苗雪雪, 龚浩如, 陶曙华, 等. 微波消解-钼锑抗光度法测定蔬菜中总磷[J]. *中国测试*, 2017, 43(12): 45 – 49.
- [25] 李师. 分光光度法测定土壤底质中总磷的实验研究[J]. *科学之友*, 2013(6): 50 – 51.
- [26] 杨璐, 依丽米努尔, 朱苗苗, 等. 植物叶片中硫含量测定方法研究[J]. *应用化工*, 2015, 44(3): 575 – 579.
- [27] 周强, 李萍, 曹金花, 等. 测定植物体内氯离子含量的滴定法和分光光度法比较[J]. *植物生理学通讯*, 2007, 43(6): 1163 – 1166.
- [28] 贾洪秀, 朱云勤, 朱必学, 等. 分光光度法测定轻质碳酸钙中硝酸根含量[J]. *无机盐工业*, 2010, 42(5): 53 – 55.
- [29] 周强. 渗透溶质、多胺和水孔蛋白在香根草适应盐分和干旱胁迫过程中的作用机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [30] 王玮, 李德全, 李春香, 等. 水分胁迫对抗旱性不同的玉米品种根、叶渗透调节能力及渗透调节物质的影响[J]. *华北农学报*, 2000, 15(Z1): 8 – 15.
- [31] 李春香, 王玮, 李德全. 长期水分胁迫对小麦生育中后期根叶渗透调节能力、渗透调节物质的影响[J]. *西北植物学报*, 2001, 21(5): 924 – 930.

Composition of osmotica in different organs of rubber seedlings and their contributions to osmotic potential

CHENG Yuwan^{1,2}, AN Feng², SHI Jingru^{1,2}, XIE Guishui², CAI Jing¹

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences /Danzhou Investigation and Experiment Station of Tropical Crops of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: Osmotic regulation plays an important role in maintaining plant turgor, protecting cell function, regulating water relationship and coping with environmental stresses. However, the osmotic regulators and their contribution to osmotic potential are different in different plant organs. Polybag tissue cultured rubber plants of clone Reyan 73 397 were selected to determine the contents of osmotic regulators such as soluble sugar, free amino acid, organic acid, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NO_3^- , Cl^- , P and S in the roots and leaves to analyze the contribution of the osmotic regulators to osmotic regulation. The results showed that osmotic regulators in the roots were mainly composed of inorganic substances, while osmotic regulators in the leaves were mainly composed of organic substances, the total content of which was much higher than those in the roots. The contents of soluble sugar, free amino acids, K^+ and Ca^{2+} in the roots and leaves contributed differently to the osmotic potential, but they were the main osmotic regulators.

Keywords: *Hevea brasiliensis*; osmotic regulator; osmoregulation; transport of substance

(责任编辑: 吴志祥 责任编辑: 钟云芳)