

文章编号: 1674-7054(2015)01-0065-04

不同海拔甘蔗蔗糖分的积累特征

甘仪梅¹ 赵兴东² 蔡文伟¹ 张树珍¹ ,
白亚东² 杨丽华² 杨桂林² 曹峥英¹ 杨本鹏¹

(1. 中国热带农业科学院 热带生物技术研究所/农业部热带作物生物学

与遗传资源利用重点实验室 / 甘蔗研究中心 海南 海口 571101;

2. 云南省玉溪市元江县经济作物工作站 云南 玉溪 653300)

摘要: 以甘蔗品种闽糖 69/421 为试材, 分别种植于 400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600 m 海拔高度的蔗区, 对不同海拔的甘蔗成熟期的蔗糖分的积累特征进行研究。结果表明: 不同甘蔗蔗糖分积累时期受海拔影响不一样, 在蔗糖分积累初期, 海拔 400~1 000 m 时, 甘蔗蔗糖分受海拔的影响较大, 随着海拔升高, 蔗糖分降低; 但在海拔 1 000~1 600 m, 甘蔗蔗糖分变化不大。而在甘蔗蔗糖分积累中后期, 海拔对甘蔗蔗糖分积累的影响变小, 随着海拔升高, 甘蔗蔗糖分积累呈现总体下降, 不同海拔间蔗糖分起伏较大, 但下降幅度不大。甘蔗蔗糖分积累除受海拔高度的影响, 还受到多种环境因素的影响。

关键词: 甘蔗; 海拔; 蔗糖分; 积累

中图分类号: S 566.1

文献标志码: A

甘蔗是重要的糖料作物, 全国 92% 以上的食糖来源于甘蔗, 食糖既是人类能源的第 1 供应者, 也是国计民生的战略物资。2002 年农业部开始制定并实施“甘蔗优势区域布局规划”, 我国蔗糖从南方 11 个省区逐步向桂中南、滇西南、粤西琼北 3 个蔗区集中, 集中度达到 95% 以上。云南省已成为全国第 2 大甘蔗生产基地。在滇东南蔗区, 自然条件好, 栽培管理水平较高, 交通便利, 属于最适宜种蔗的老蔗区, 但人多土地少, 竞争作物多, 甘蔗生产向高海拔边缘蔗区不断推进, 使种蔗海拔愈来愈高, 形成以高海拔旱地为主的新生态型蔗区^[1]。海拔包含了温度、湿度、光照和土壤等许多环境因素的剧烈变化, 使植物的生态和生理生化特征产生巨大的变化^[2]。甘蔗蔗糖积累不仅是各种酶相互作用的结果, 同时还受到温度、水分和光照等生态因子的影响。我国云南蔗区不断往高海拔区域推进, 对甘蔗的生理生态乃至其各农艺性状均产生较大影响, 但目前鲜见海拔对甘蔗蔗糖分影响的研究报道。笔者以生长于云南元江蔗区不同海拔的甘蔗为材料, 从甘蔗成熟初期开始调查不同海拔的甘蔗蔗糖分, 分析不同海拔与蔗糖分积累的关系, 旨在摸清不同海拔甘蔗蔗糖分积累特征及其规律, 为研究云南新的高海拔蔗区甘蔗蔗糖分积累情况提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况 试验于 2013 年在云南省元江县进行, 按试验目的选取土壤肥力、坡度、坡向相似的, 海拔高度分别为 400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600 m 的蔗区试验地。各海拔试验地均位于元江县, 东经 102°00′02″~102°06′54″, 北纬 23°23′26″~23°38′10″。实验地气候属典型的干热河谷气候, 年平均气温 23.8℃, 最热月(6月)平均温度 28.8℃, 最冷月(1月)平均温度 16.8℃, 年平均有霜日数 0.5 d, 年平均日照时数 2 291.7 h。

收稿日期: 2014-09-19

基金项目: 现代农业产业技术体系(甘蔗)建设专项资金(CARS-20-6-11)

作者简介: 甘仪梅(1982-)女, 博士, 副研究员, 研究方向: 甘蔗遗传育种/栽培, E-mail: ganyimeigl@126.com

赵兴东(1966-)并列第 1 作者, 男, 农艺师, 研究方向: 甘蔗品种选育, E-mail: yjzxd5732@sina.com

通信作者: 杨本鹏(1964-)男, 研究员, E-mail: y-bp@163.com

1.2 试验方法 不同海拔选用的试验材料均为闽糖 69/421 的宿根蔗。田间种植管理按一般大田管理要求进行。于甘蔗的成熟期(即 10 月底)开始每个月测量甘蔗锤度(2 月份测量数据为甘蔗蔗糖分),每个海拔设 3 个重复,每个重复 10 株,并记录当天的温度及下雨情况。

1.3 数据处理 对获得的数据采用 Excel 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同月份的甘蔗蔗糖分的海拔差异 从图 1 可以看出,随着海拔的升高,甘蔗蔗糖分/锤度总体上呈下降趋势。10 月份,甘蔗蔗糖分初步积累,随着海拔升高而不断下降(除在海拔 1 200 m 为上升外),其中 400~1 000 m 海拔的甘蔗蔗糖分急剧下降,1 000~1 600 m 海拔的甘蔗蔗糖分缓慢下降。说明在甘蔗蔗糖分积累初期,在海拔 400~1 000 m 范围,甘蔗蔗糖分受海拔的影响较大,但在海拔 1 000~1 600 m 范围,甘蔗蔗糖分受海拔的影响相对较小。11 月份,随着海拔的升高,甘蔗蔗糖分总体下降,但起伏较大。12 月份的甘蔗蔗糖分在海拔 400~1 200 m 范围,缓慢下降,至 1 400 m 时急剧下降后再于 1 600 m 海拔处急剧上升。而 1 月份的甘蔗蔗糖分则随着海拔的升高总体下降,且起伏较大。这表明在甘蔗蔗糖分成熟的中后期(11 月至翌年 1 月),海拔对蔗糖分积累的影响变小,且不同海拔的蔗糖分积累程度不一样。2 月份检测的蔗糖分数据表明,在海拔 1 200 m 以下,蔗糖分为 15.6%~16.7%,呈总体下降趋势,且波动较大,在海拔 1 400~1 600 m 时蔗糖分下降低于 15.0%。这暗示着 400~1 200 m 海拔范围蔗糖分变化不大,在海拔 1 400 m 以上,海拔高度对甘蔗蔗糖分影响显著。

2.2 不同海拔的甘蔗蔗糖分的月份积累趋势 不同月份,不同海拔的甘蔗蔗糖分的积累趋势存在一定的差别。在多数情况下,10~11 月份的甘蔗蔗糖分上升最明显,说明该期间是甘蔗蔗糖分积累最快的时期,尤其是在海拔 800 m 和 1 000 m 范围。11 月至翌年 1 月份的甘蔗蔗糖分上升较缓慢,说明蔗糖分积累也较缓慢。海拔 600,1 200,1 400 m 的甘蔗锤度随着时间推进而上升,12 月至翌年 1 月仍在上升,说明甘蔗蔗糖分能在后期继续积累。而海拔 400,800,1 000,1 600 m 的甘蔗蔗糖分在 12 月份停止上升,即停止积累,甚至部分海拔的甘蔗蔗糖分到 1 月份反而下降了。总体上,11 月至翌年 1 月,海拔 400,600 m 的甘蔗蔗糖分不断积累,海拔 800,1 400 m 的甘蔗蔗糖分在 11 月份停止积累,海拔 1 000 m 的甘蔗蔗糖分在 12 月份停止积累,海拔 1 200 m 的甘蔗蔗糖分 12 月份停止积累但在 1 月份时重新积累,而在最高海拔 1 600 m 时甘蔗蔗糖分则是先积累,到 1 月份的时候就“回糖”了。

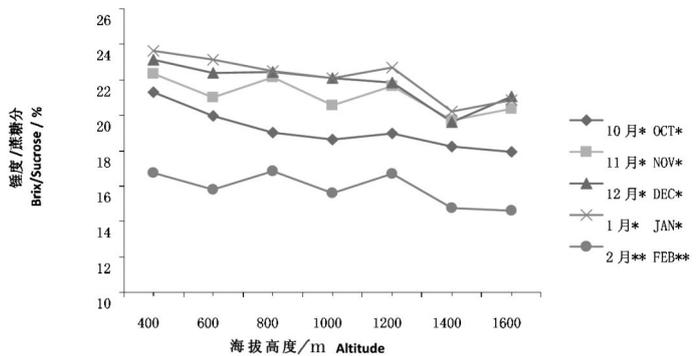


图 1 甘蔗不同海拔的蔗糖分积累趋势

* 表示锤度, ** 表示蔗糖分

Fig. 1 The accumulation of sucrose in sugarcane at different altitudes

* indicates Brix and ** indicates Sucrose

3 讨论

甘蔗是我国最重要的糖料作物,栽培甘蔗的最终目标是要获得最高的单位面积产糖量,只有高产又高糖才能达到这个目的。目前我国甘蔗蔗糖分的研究主要是从生理角度研究蔗糖分的合成、运输等^[3-9],而从生态环境因子角度研究蔗糖分的积累方面尚不多见。虽然不同海拔高度上的温度、水分和光照等环境因子会表现出一定的规律性,如随着海拔的升高,温度和气压等降低,光照强度增加。各种环境因子作用存在差异,但总的来说,海拔越高,生存环境越恶劣^[2]。

3.1 海拔高度是影响甘蔗蔗糖分积累的因素之一 植物由海拔差异表现出的生理生态学差异,是由不同海拔的环境异质性(如地形、温度、水分和光照等)的差异直接或间接造成的^[2]。同一海拔的甘蔗蔗糖分随着甘蔗的不断成熟,蔗糖分呈不断积累的趋势。海拔 400,800,1 000,1 600 m 的甘蔗锤度整体在 10~12 月上升然后下降,这表明蔗糖分主要在这期间转化积累完成。海拔 600,1 200 m 的甘蔗锤度整体在 10 月至翌年 1 月不断上升。海拔 1 400 m 的甘蔗蔗糖分则在 10~11 月积累上升,11~12 月停滞,甚至下降,而在翌年 1 月

份又积累上升,这种不断积累的趋势与甘蔗蔗糖分积累规律基本一致^[10]。本研究定点随机取样测定甘蔗锤度和蔗糖分,但由于天气变化的影响,甘蔗的蔗糖分也在变化,使甘蔗蔗糖分积累产生差异。

前人对不同海拔的玉米品质研究发现,玉米籽粒和茎秆的可溶性糖含量与海拔呈明显的负相关性^[11]。而在本研究中,甘蔗蔗糖分受海拔的影响,但没有表现出明显的负相关关系,蔗糖分基本表现为高海拔低蔗糖分,低海拔高蔗糖分,随着海拔的升高,蔗糖分总体下降,且波动较大。这可能是由于高海拔复杂多变的环境因素以及各环境因子对甘蔗蔗糖分的交互作用所导致的结果。本研究结果表明,各月份的蔗糖分基本是在海拔400 m时的蔗糖分最高,海拔1400 m的甘蔗蔗糖分最低,海拔600~1200 m和1600 m的甘蔗蔗糖分受其他环境因素和因子影响较大,海拔因素只是影响甘蔗蔗糖分积累的因素之一,还有其他环境因子对蔗糖分积累有重要的影响。因此可以在较高的海拔(如1000 m以上)选择新的蔗区,但要考虑蔗区其他地形环境因素对甘蔗蔗糖分的影响。

3.2 高海拔与低海拔对甘蔗蔗糖分积累的影响 可溶性糖对高海拔植物组织抵御低温具有积极作用,被公认为是一种有效的植物抗胁迫机制^[12-13]。通过比较研究同一树种在高山林线与低海拔的可溶性碳水化合物含量发现,随着海拔升高,植物体内可溶性碳水化合物含量明显增加^[14-24]。在本研究中,对能在低温干燥条件下积累蔗糖分的甘蔗,较低温的高海拔地区并未表现出能够积累更多的蔗糖分。可能的原因是甘蔗含有过高含量的糖类,可能直接抑制了光合作用^[25],从而大大抑制了植物的生长速率,进而抑制了甘蔗蔗糖分的积累,导致甘蔗最终的蔗糖分含量偏低。这部分被抑制的蔗糖分多于因海拔升高后温度下降,甘蔗自我保护转换积累的蔗糖分,所以总体上表现出高海拔低蔗糖分。

一般来说,随着海拔的升高,光照强度增加,紫外辐射增强。甘蔗是光饱和点非常高的喜光作物,光照时数越多、强度越大,则生长和糖分积累潜力越大,成熟越好,糖分越高^[10]。在本研究中,光照强度较高的高海拔地区的甘蔗蔗糖分普遍低于低海拔的,说明光照对蔗糖分积累的贡献明显小于海拔的其他负向因素。

4 结 论

与海拔正相关的光照、日温差等因子以及与海拔负相关的温度、生长速率等因子对甘蔗蔗糖分积累有利。本研究结果表明,甘蔗蔗糖分积累是多种因子影响的结果,而随着海拔升高,会引起温度、温差、光照、水分和生长量等的差异。此外,温度和水分对甘蔗蔗糖分的积累具有重要的作用^[3,10],一般而言,不同海拔也存在水分和温差等差异,本研究中的蔗糖分积累结果可能与水分和温差有关,因此,笔者将进一步研究水分和温差等其他环境因素对不同海拔甘蔗蔗糖分的积累,以及不同海拔甘蔗的产量表现和筛选合适的高海拔品种等,旨在利用较高海拔地区开发新蔗区,获得更高经济效益。

参考文献:

- [1] 符菊芬, 陈学宽, 段昌坪, 等. 试论高原蔗区甘蔗生态育种[J]. 甘蔗, 1996, 3(4): 40-43.
- [2] 潘红丽, 李迈和, 蔡小虎, 等. 海拔梯度上的植物生长与生理生态特性[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 722-730.
- [3] SINGELS A, VAN DEN BERG M, SMIT M A, et al. Modelling water uptake, growth and sucrose accumulation of sugarcane subjected to water stress [J]. Field Crops Research, 2010, 117: 59-69.
- [4] RAE A L, GROF C P L, CASU R E, et al. Sucrose accumulation in the sugarcane stem: pathways and control points for transport and compartmentation [J]. Field Crops Res., 2005, 92: 159-168.
- [5] TANASE K, SHIRATAKE K, MORI H, et al. Changes in the phosphorylation state of sucrose synthase during development of Japanese pear fruit [J]. Physiol. Plant, 2002, 114: 21-26.
- [6] UYS L, BOTHA F C, HOFMEYER J H, et al. Kinetic model of sucrose accumulation in maturing sugarcane culm tissue [J]. Phytochemistry, 2007, 68: 2375-2392.
- [7] MCCORMICK A J, CRAMER M D, WATT D A. Differential expression of genes in the leaves of sugarcane in response to sugar accumulation [J]. Tropical Plant Biology, 2008, 1: 142-148.
- [8] MCCORMICK A J, CRAMER M D, WATT D A. Regulation of photosynthesis by sugars in sugarcane leaves [J]. Journal of Plant Physiology, 2008, 165: 1817-1829.
- [9] WU L, BIRCH R G. Physiological basis for enhanced sucrose accumulation in an engineered sugarcane cell line [J]. Functional Plant Biology, 2010, 37: 1161-1174.
- [10] 周文灵, 江永, 李奇伟, 等. 甘蔗蔗糖积累的规律、影响因素及其调控机制的研究进展[J]. 甘蔗糖业, 2011(6): 11-17

- [11] 刘淑云,董树亭,胡昌浩.不同海拔高度对玉米品质性状影响的研究[J].玉米科学,2005,13(2):68-71,78
- [12] VAGUJFALV A, KEREPESEI I, GALIBA G, et al. Frost hardiness depending on carbohydrate changes during cold acclimation in wheat [J]. Plant Science, 1999, 144: 85-92.
- [13] 潘庆民,韩兴国,白永飞,等.植物非结构性贮藏碳水化合物的生理生态学研究进展[J].植物学通报,2002,19(1):30-38
- [14] HOCH G, POPP M, KÖRNER C. Altitudinal increase of mobile carbon pools in *Pinus cembra* suggests sink limitation of growth at the Swiss treeline [J]. Oikos, 2002, 98: 361-374.
- [15] HOCH G, KÄRNER C. The carbon charging of pines at the climatic treeline: a global comparison [J]. Oecologia, 2003, 135: 10-21.
- [16] LI M H, HOCH G, KÖRNER C. Spatial variability of mobile carbohydrates within *Pinus cembra* trees at the Alpine treeline [J]. Phytion, 2001, 41(2): 203-213.
- [17] LI M H, HOCH G, KÖRNER C. Source/sink removal affects mobile carbohydrates in *Pinus cembra* at the Swiss treeline [J]. Trees, 2002, 16: 331-337.
- [18] LI M H, YANG J, KRÄUCHI N. Growth responses of *Picea abies* and *Larix decidua* to elevation in the sub alpine areas of Tyrol, Austria [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2003, 33: 653-662.
- [19] LI M H, YANG J. Effects of microsite on growth of *Pinus cembra* in the subalpine zone of the Austrian Alps [J]. Annals of Forest Science, 2004, 61: 319-325.
- [20] LI M H, KRÄUCHI N, DOBBERTIN M. Biomass distribution of different-aged needles in young and old *Pinus cembra* trees at highland and lowland sites [J]. Trees, 2006, 20: 611-618.
- [21] LI M H, XIAO W F, SHI P L, et al. Nitrogen and carbon source-sink relationships in trees at the Himalayan treelines compared with lower elevations [J]. Plant, Cell and Environment, 2008, 31: 1377-1387.
- [22] LI M H, XIAO W F, WANG S G, et al. Mobile carbohydrates in Himalayan treeline trees I. Evidence for carbon gain limitation but not for growth limitation [J]. Tree Physiology, 2008, 28: 1287-1296.
- [23] SHI P L, KÖRNER C, HOCH G. End of season carbon supply status of woody species near the treeline in western China [J]. Basic and Applied Ecology, 2006, 7: 370-377.
- [24] SHI P L, KÖRNER C, HOCH G. A test of the growth-limitation theory for alpine tree line formation in evergreen and deciduous taxa of the eastern Himalayas [J]. Functional Ecology, 2008, 22: 213-220.
- [25] LARCHER W, BAUER H. Physiological plant ecology [M]. New York: Springer-Verlag, 1981.

Accumulation Characteristics of Sucrose in Sugarcane at Different Altitudes

GAN Yimei¹, ZHAO Xingdong², CAI Wenwei¹, ZHANG Shuzhen¹
BAI Yadong², YANG Lihua², YANG Guilin², CAO Zhengying¹, YANG Benpeng¹

(1. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Ministry of Agriculture Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops Sugarcane Research Center of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 2. Yuanjiang Industrial Crops Working Station, Yuxi, Yunnan 653300, China)

Abstract: The sucrose accumulation characteristics of sugarcane planted at different altitudes in different months were analyzed. Sugarcane cultivar Mintang 69/421 was planted in the field at the altitudes of 400 m, 600 m, 800 m, 1 000 m, 1 200 m, 1 400 m and 1 600 m, respectively, and the Brix or sugarcane sucrose content was measured in different months. The altitude was found to give different influences to the sucrose content of the sugarcane at different accumulation stages. The sucrose content of the sugarcane was affected greatly at the altitude between 400 m and 1 000 m at the early accumulation stage, and it decreased as the altitude increases. But the sugarcane sucrose content did not change much at the altitude between 1 000 m and 1 600 m. The altitude had slight influence on the sucrose accumulation at the middle and late accumulation stages. As the altitude increased the sugarcane sucrose accumulation generally tended to decrease but not considerably, and the sucrose content changed much at different altitudes. Numerous other environmental factors beside altitude gave influence to sugarcane sucrose accumulation.

Key words: sugarcane; altitude; sugarcane sucrose; accumulation