

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201510031

朱艳梅, 罗兴录, 颜国彪, 等. 木薯蔗糖合成、转运与块根淀粉积累关系研究 [J]. 广西植物, 2016, 36(12):1492-1497

ZHU YM, LUO XL, YAN GB, et al. Relationship between sucrose's synthesis, distribution and the starch accumulation in the root tuber of cassava [J]. Guihaia, 2016, 36(12):1492-1497

# 木薯蔗糖合成、转运与块根淀粉积累关系研究

朱艳梅<sup>1</sup>, 罗兴录<sup>1,2\*</sup>, 颜国彪<sup>1</sup>, 樊吴静<sup>1</sup>

(1. 广西大学 农学院, 南宁 530005; 2. 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 南宁 530005)

**摘要:** 本研究以淀粉含量不同的两个木薯品种(辐选 01 和 华南 124)为材料,通过测定各品种不同生育期叶、茎和根的蔗糖含量及块根淀粉含量,分析了蔗糖合成、转运和块根淀粉积累过程的相关性。结果表明:与 华南 124 相比,在整个生育期内辐选 01 叶、茎的蔗糖含量均较高,块根蔗糖含量在块根膨大初期以前高于 华南 124,块根膨大初期以后则相反。在木薯的整个生育期,与辐选 01 相比,华南 124 的淀粉合成量和淀粉合成速率均较低。叶和茎蔗糖含量的变化规律与淀粉合成速率的变化规律相反,即块根淀粉积累明显加快时叶和茎的蔗糖含量略呈下降趋势,而块根淀粉合成减慢时叶、茎的蔗糖含量又开始上升。随着生育期的延后,块根蔗糖含量越来越低。在块根形成初期,蔗糖含量最高的组织部位为块根,其次为茎秆,最低的是叶片;而在块根成熟期时则相反,即蔗糖含量最高的部位是叶片,其次为茎秆,块根的蔗糖含量最小。相关性分析结果表明,木薯叶片蔗糖含量与块根淀粉含量呈显著的正相关;茎秆蔗糖含量与块根淀粉积累量呈不显著的正相关;块根蔗糖含量与淀粉积累量呈显著的负相关。由此可见,木薯叶、茎和根蔗糖与块根淀粉积累过程密切相关,其中叶片合成蔗糖的能力与块根利用蔗糖的能力在淀粉的积累过程中发挥关键作用。该研究结果为木薯的生产选育与高效栽培提供了理论依据。

**关键词:** 木薯, 蔗糖, 合成, 分配, 淀粉积累

**中图分类号:** Q945, S533      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3142(2016)12-1492-06

## Relationship between sucrose's synthesis, distribution and the starch accumulation in the root tuber of cassava

ZHU Yan-Mei<sup>1</sup>, LUO Xing-Lu<sup>1,2\*</sup>, YAN Guo-Biao<sup>1</sup>, FAN Wu-Jing<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, China; 2. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources, Nanning 530005, China)

**Abstract:** Two cassava cultivars with different starch contents were taken as materials in the study, and were Fuxuan 01 and SC124. The relationship between sucrose's synthesis, distribution and the starch accumulation in the root tuber was studied. Leaf, stem and root sucrose accumulation and starch accumulation in the root tuber of different cassava cultivars were determined, and their relations were analyzed in the different growth periods, respectively. The results showed that the

收稿日期: 2015-10-23      修回日期: 2016-08-09

**基金项目:** 国家“973”计划课题项目(2010CB126601); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科重 14121005-2-1); 南宁市科学研究与开发计划项目(201109044B); 国家现代农业产业体系广西薯类产业创新团队“薯类产业功能专家”项目(nycytxgxcxtd-03-11-2); 南宁市科学研究与技术开发计划项目(20132307) [Supported by the National “973” Plan (2010CB126601); the Program of Science Research and Technology Development in Guangxi (14121005-2-1); the Plan of Science Research and Development in Nanning(201109044B); the Innovation Team of Potato Industry “the Expert on Potato Industry Function” of National Modern Agricultural Industry System(nycytxgxcxtd-03-11-2); the Plan of Science Research and Development in Nanning(20132307)].

**作者简介:** 朱艳梅(1990-),女,广西博白人,硕士研究生,主要从事木薯栽培生理研究,(E-mail)476787474@qq.com。

\***通讯作者:** 罗兴录,博士,教授,博士生导师,从事木薯育种与栽培生理研究,(E-mail)luoxinglu@sina.com。

content of sucrose in Fuxuan 01's leaf and stem was higher than that of SC124 in all periods, and the accumulation of sucrose in root was higher than that of SC124 before initial stage of root tuber thickening, but lower after initial stage of root tuber thickening. In the whole growth period, the starch content and starch synthesis rate in the root tuber of Fuxuan 01 were higher than that of SC124. Root's sucrose content was significantly declined with the growth period delayed. The change trend of sucrose content in leaf and stem was opposite to that of starch synthesis rate, which indicated that sucrose content in leaf and stem decreased while the root starch accumulation rate increased, and the sucrose content in leaf and stem increased while the rate of starch synthesis reduced obviously. The root was the part with the highest content of sucrose, then followed by the stem, and the part with the lowest content of sucrose was leaf in the early root formation period. But the trend was opposite in the mature period, it was the leaf part with highest content of sucrose, then followed by the stem, and the part with lowest content of sucrose was root. The results of correlation analysis showed that the correlation between the sucrose content in leaf, stem and the starch accumulation in root tuber of cassava was positively related. The relation was significant between the starch accumulation in root tuber and the sucrose content in leaf but not in stem. The correlation between the starch synthesis in root tuber and the sucrose content of cassava was significantly negatively related. The relationship between sucrose's transportation, distribution and the root's starch accumulation in cassava was closely related, and the abilities of synthesizing sucrose in leaf and utilizing sucrose in root tuber play key roles in the process of starch accumulation. This study provides the information for the production and breeding of cassava.

**Key words:** cassava, sucrose, synthesis, allocation, starch accumulation

木薯作为热带地区主要的块根作物,抗性强、种植粗放且产量高、质量好(李宁辉等,2010)。目前主要用作食物消费、生产饲料和工业酒精的原料(何婷等,2010)。世界上木薯产量的65%作为食物消费(方佳等,2010),其食用的国家多处于热带地区(Ceballos et al,2004;El-Sharkawy,2006)。木薯也是变性淀粉、有机酸、甘露醇等产品的重要原料之一,现已成为我国生物质能源产业发展的重要资源,其作为清洁非粮的可再生新兴生物质能源的代表(伍薇和柯佑鹏,2011)。如何提高其产量变得尤为重要。木薯淀粉含量高,收获主要的部位是块根,因此研究块根淀粉积累的特性对提高木薯产量,推动我国木薯产业的发展具有重要的实践意义。

近年来,相关研究人员对木薯块根淀粉积累的特性进行了研究。罗兴录等(2008)通过研究不同木薯品种间的生理差异性及其淀粉积累特性,发现木薯块根淀粉积累的过程与叶片可溶性蛋白、可溶性糖、蔗糖、还原糖含量相关联。袁圣勇等(2013)研究表明,木薯块根淀粉积累过程受可溶性糖的影响,且高淀粉品种可溶性糖的合成与利用能力强于低淀粉品种。樊宪伟等(2014)通过解剖木薯块根结构,发现皮层中可溶性总糖的积累量明显高于淀粉储藏区,且淀粉含量越高的品种,其可溶性总糖在皮层与淀粉存储区中的分配差异越显著,木薯皮层越厚越不利于淀粉的积累,表明块根皮层与淀粉积累密切相关。蔗糖在植物体内光合产物运输方面发挥重要

作用,叶片蔗糖的积累影响块根运输有机物与块根中淀粉的合成过程。目前,关于蔗糖含量与淀粉积累的关系研究主要集中在小麦(李春燕等,2007;李永庚等,2001)、玉米(徐云姬等,2015)等作物上,而有关木薯蔗糖合成、转运与块根淀粉积累之间关系的研究则鲜有报道。本研究以淀粉含量不同的木薯品种辐选01和华南124为材料,测定木薯叶、茎和根在不同生育期的蔗糖含量以及根块淀粉含量,分析叶、茎和根蔗糖含量与块根淀粉合成过程的关联性,探讨木薯蔗糖合成、转运与块根淀粉积累的特性,旨在为木薯生产选育与高效栽培提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 供试木薯品种

以木薯品种辐选01(鲜薯淀粉含量32%)和华南124(SC124,鲜薯淀粉含量26%)为材料。辐选01是华南124辐射诱变后形成的变异种,经选育后的高淀粉品种,两者主要区别在于块根淀粉含量。

### 1.2 试验设计

试验基地位于广西大学农学院农场,试验地经拖拉机翻整,耙碎。2个木薯品种相间种植,3次重复,小区面积为33 m<sup>2</sup>,于2014年4月11日下种,种植规格为100 cm × 80 cm。下种前每公顷施用复合肥(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)225 kg和有机肥15 000 kg作为基肥。植后60 d开始追肥,每公顷追施复合肥225

kg,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  150 kg, KCl 112.5 kg, 其他田间栽培管理与常规相同。2015 年 1 月 13 日收获木薯。

### 1.3 取样时间与方法

样品分木薯块根形成初期、块根形成中期、块根膨大初期、块根膨大中期以及块根成熟期 5 个生育期采集, 分别对应的具体时间为 6 月 22 号、7 月 20 号、8 月 16 号、9 月 17 号及 12 月 7 号。具体时间为当天的上午 8:00-10:00 之间, 选取具有代表性的木薯叶片、茎秆与块根进行采集, 叶片的取样部位为上部第四片功能叶, 茎秆则为生长点以下 10~20 cm 之间, 块根为中部部位。采完鲜样后, 随机取其中的一部分称其重量, 75 °C 左右烘干(先在 105 °C, 30 min 的条件下杀青), 记录烘干样品的重量, 然后粉碎过筛(100 目)后, 便可测定相关生化指标。

### 1.4 测定指标与方法

叶、茎和根的蔗糖与块根总淀粉的含量测定采用蒽酮比色法进行(上海植物生理学会, 1985)。每个样品做 3 次重复试验, 求取均值, 即为样品的测量值。淀粉积累速率的计算方法为根据单位鲜样(根据干样与鲜样的比重求得)淀粉积累量与块根形成初期(植后 40~60 d)后具体天数的关系求得。

使用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据, 利用 SPSS18.0 软件分析测定指标的差异性和相关性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生育期木薯叶片蔗糖含量的变化

从图 1 可以看出, 木薯叶片蔗糖含量变化规律大致相同, 均呈“上升—下降—上升”的变化曲线, 两者的叶片蔗糖含量变化在块根膨大初期(8 月 16 日)以前均先增加后下降, 块根膨大初期(8 月 16 日)以后均逐渐上升。这说明木薯叶片向茎秆转运蔗糖的量先是减少, 以至于叶片蔗糖的积累量增加, 到块根形成中期(7 月 20 日)以后则相反, 因此叶片蔗糖的积累量开始下降, 但从块根膨大初期(8 月 16 日)以后叶片向茎秆转运蔗糖的量又开始下降, 因此叶片蔗糖积累量又逐渐增加。辐选 01 在各生育期叶片蔗糖合成量均明显高于华南 124, 可能是淀粉含量高的木薯品种叶片蔗糖合成能力强于低淀粉木薯品种。

### 2.2 不同生育期木薯茎秆蔗糖含量的变化

木薯的茎秆在光合反应中发挥重要作用, 主要转运叶片合成的有机物到块根中。由图 2 可知, 木薯茎秆蔗糖积累量变化为“下降—上升”的变化曲

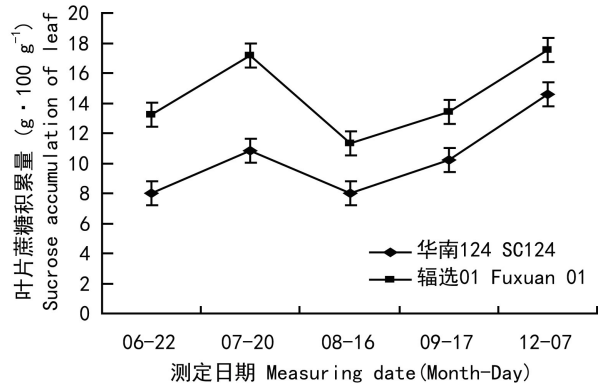


图 1 不同生育时期木薯叶片蔗糖含量变化  
Fig. 1 Change in leaf sucrose content of cassava in different growth periods

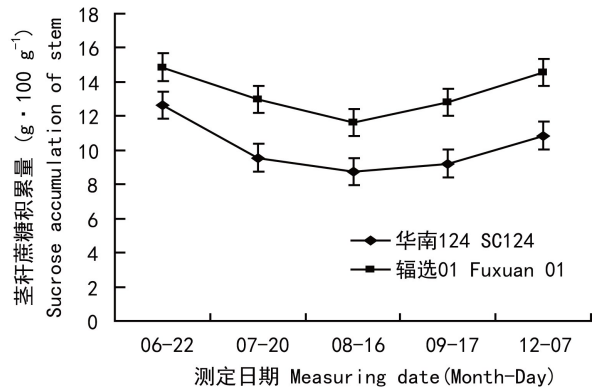


图 2 不同生育期木薯茎秆蔗糖含量变化  
Fig. 2 Change of sucrose content in stem of cassava in different growth periods

线, 在块根膨大初期(8 月 16 日)前不断下降, 并在块根膨大初期(8 月 16 日)达到最低, 而后均开始上升。可见茎秆向块根转运蔗糖的量先是不断增加, 以至于茎秆蔗糖的积累量下降, 从块根膨大初期(8 月 16 日)开始, 茎秆向块根转运的蔗糖比叶片向茎秆转运的蔗糖少, 因此茎秆蔗糖含量不断增加。与辐选 01 相比, 华南 124 在各生育期的茎秆蔗糖合成量均较低, 说明辐选 01 叶片转运至茎秆的蔗糖多于华南 124, 可能是淀粉含量高的木薯品种转运蔗糖能力强于低淀粉木薯品种。

### 2.3 不同生育期木薯块根蔗糖含量的变化

从图 3 可以看出, 2 个木薯品种的块根蔗糖含量在整个生育期均呈下降趋势, 说明木薯块根在合成淀粉的过程中, 不断地利用蔗糖来积累淀粉, 因此

蔗糖的积累量不断下降。在块根膨大初期(8月16日)以后,块根蔗糖积累量的下降速率增大,可见块根膨大期以后块根利用蔗糖的能力加强。在整个生育过程中,华南124块根蔗糖的积累量先是较辐选01低,而在块根膨大中期以后则相反,说明华南124块根在生育前中期蔗糖利用能力强于辐选01,而在生育后期则低于辐选01。

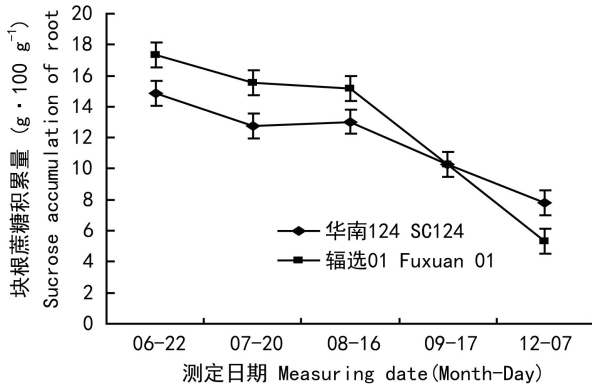


图3 不同生育期木薯块根蔗糖含量的变化  
Fig. 3 Change of sucrose content in root tuber of cassava at different growth periods

## 2.4 不同生育期木薯块根淀粉积累量及积累速率的变化

从图4可以看出,木薯块根淀粉合成量的变化曲线不断上升,成熟期时为峰顶,在整个生育期中,辐选01的淀粉合成量较华南124高,且随着生育期的延后差别更大。从图5可以看出,木薯的块根淀粉积累速率大致相同,均为“上升—下降”的变化曲线。从块根形成初期到块根膨大初期,块根淀粉积累的速率急剧上升,在块根膨大初期达峰值说明该时期块根合成淀粉的量大大增加,而之后块根淀粉积累的速率大幅度下降,块根缓慢地积累淀粉。与华南124相比,辐选01在整个生育期的块根淀粉合成速率均较大,以至于辐选01的淀粉含量比华南124高,且越到后期差别越大。

综合图1、图2及图3,在块根形成初期(6月22日)时,2个木薯品种不同部位蔗糖积累量的大小关系均为叶片<茎秆<块根,而在成熟期(12月7日)时,蔗糖积累量的大小关系则为叶片>茎秆>块根。结合图1-4可知,随生育期的延后,块根蔗糖含量越来越低,而叶和茎蔗糖含量的变化趋势则与淀粉积累速率的变化趋势相反,即生育前期叶和茎的蔗

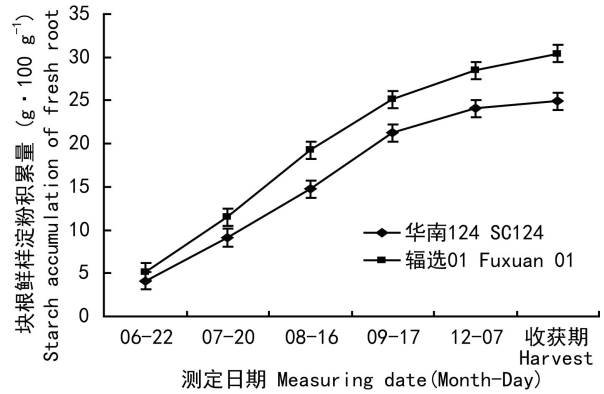


图4 不同生育期木薯块根鲜样淀粉含量的变化  
Fig. 4 Change of starch content in fresh root tuber of cassava in different growth periods

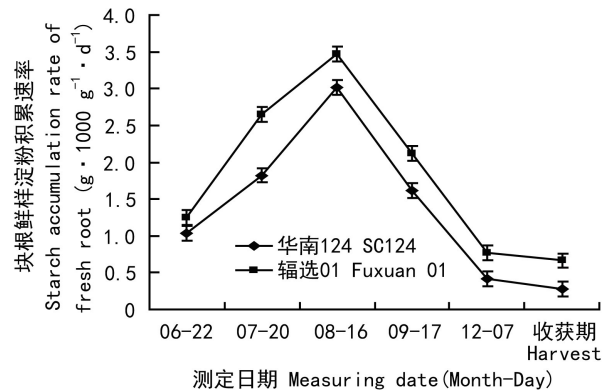


图5 不同生育期木薯块根鲜样淀粉积累速率变化  
Fig. 5 Change of starch accumulation rate in root tuber of cassava in different growth periods

糖含量略下降时块根淀粉积累速率明显增大,而在生育后期叶和茎的蔗糖含量上升时淀粉积累速率反而下降。从中可以看出,后期块根淀粉积累速率在叶和茎蔗糖含量高(“源”充足)时大幅度降低,其原因可能为库限制或流限制,由于特殊情况(诸如倒伏或病虫害)才导致流限制的发生(官春云,2011),故不考虑流限制,因此本研究对木薯淀粉积累量有影响的主要是库限制。

## 2.5 木薯叶、茎、根蔗糖含量与块根淀粉积累相关性分析

由表1可知,辐选01和华南124的叶片蔗糖含量与块根淀粉积累量呈显著的正相关关系,相关系数分别  $r=0.808^*$ 、 $0.750^{**}$ ,由于叶片的蔗糖是经茎秆转运至块根部位,因此叶片中蔗糖含量的多少

将直接影响茎秆中蔗糖的含量,进而影响块根合成淀粉的积累量。两木薯品种的块根淀粉积累量与茎秆蔗糖含量为不显著的正相关关系,说明茎秆蔗糖含量与块根淀粉积累量的关系较为密切。辐选 01 与华南 124 的块根蔗糖含量与淀粉积累量呈负相关关系,分别达显著、极其显著水平。说明块根蔗糖的积累量越大,其利用蔗糖合成淀粉的能力则越弱。从表 1 还可以看出,辐选 01 叶、茎秆蔗糖含量与块根淀粉积累量的正相关系数均大于华南 124,且根蔗糖含量与淀粉积累量的负相关系数小于华南 124,说明辐选 01 叶片合成蔗糖,再转运至茎秆的能力以及块根利用蔗糖的能力均强于华南 124。

表 1 木薯叶、茎、根蔗糖含量与块根淀粉含量的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between sucrose in leaf, stem and root tuber and starch accumulation in root tuber of different cassava cultivars

项目 Item	品种 Cultivar	叶蔗糖 Sucrose of leaf	茎蔗糖 Sucrose of stem	块根蔗糖 Sucrose of root tuber
块根总淀粉 Root's starch	辐选 01 Fuxuan 01	0.675 *	0.497	-0.801 *
	华南 124 SC 124	0.656 *	0.450	-0.947 **

注: \* 代表相关性显著( $P < 0.05$ ), \*\* 代表相关性极显著( $P < 0.01$ )。

Note: \*. Significant correlation ( $P < 0.05$ ), \*\* . Extremely significant correlation ( $P < 0.01$ ).

### 3 讨论与结论

木薯块根淀粉的合成与积累是块根发育的主要过程,其合成淀粉的能力直接影响着块根淀粉含量的高低,而且在源与库之间,碳水化合物的分配在块根积累淀粉的过程中也发挥重要作用(闵义等, 2010)。蔗糖是光合作用代谢产物的主要运输物质,其合成部位为成熟叶片(源),之后通过茎秆运输到其它组织部位(库)中,参与植物生长发育和新陈代谢的生命过程(牛俊奇等, 2015; 戚继艳等, 2007),且蔗糖裂解产生的碳架不仅是植物种子发育过程中的能量来源,也是植物体内有机物(蛋白质、脂肪、淀粉)合成所需的主要原料之一(Farrar et al, 2000; 崔光军等, 2010)。因此,木薯块根淀粉的合成过程受蔗糖含量的影响。在本研究中,辐选 01 叶片、茎秆的蔗糖含量在整个生育期均高于华南 124,说明在整个生育期内淀粉含量高的木薯品种叶

片合成蔗糖能力与茎秆转运蔗糖能力均强于淀粉含量低的木薯品种。但陈会鲜等(2014)的研究表明,华南 124 的叶片、茎秆蔗糖含量在块根形成中期以前均高于辐选 01,之后则相反,与本研究的结果不太一致,可能是由于木薯的种植环境、施用肥料等因素不同促使木薯叶片合成蔗糖及茎秆运转蔗糖的能力不同,这有待进一步加以研究。与辐选 01 相比,华南 124 块根在块根膨大初期以前蔗糖较低,而在块根膨大初期以后则相反,说明在块根膨大初期以前华南 124 块根利用蔗糖的能力较强,而之后则弱于辐选 01。华南 124 块根淀粉积累量及淀粉积累的速率均不如辐选 01 大,可见辐选 01 有更强积累淀粉的能力,因此淀粉含量也相对较高。

植物体内源、库、流三者在生命代谢活动中的平衡发展状况影响着作物产量的高低。源主要为制造或供应光合产物的组织部位,库则是接受或利用光合产物的器官(Yoshida, 1972)。木薯叶片进行光合作用,制造有机物,故叶片是主要的源,而块根接收同化物合成淀粉,是光合产物的贮藏库或代谢库。本研究在木薯生育后期叶茎蔗糖含量充足即块根淀粉积累“源”充足的情况下,块根蔗糖含量反而下降,且淀粉的积累量及积累速率均呈下降趋势,说明是库或流限制的原因引起后期块根淀粉合成量及合成速率降低。在本研究中,采样所选取的木薯均为健壮无倒伏,病虫害较少,具有代表性的植株,故影响木薯淀粉产量下降的主因是库限制而非流限制,这在袁圣勇等(2013)的研究中得到验证。

相关关系分析表明,无论是淀粉含量高的辐选 01 还是淀粉含量低的华南 124,其叶片与茎秆蔗糖含量均与块根淀粉含量呈正相关关系,这与罗兴录等(2006)的研究结果相类似,其中,叶片蔗糖含量与块根淀粉积累量的相关性显著,而茎秆蔗糖与块根淀粉积累量的相关性不显著。由此可见,叶片蔗糖的合成与块根淀粉的积累过程密切相关,它是保证块根淀粉积累“源”充足的关键,叶片蔗糖合成能力越强,茎秆才能转运更多的蔗糖至块根参与淀粉的积累过程,从而合成更多的淀粉。辐选 01 块根蔗糖积含量与淀粉积累量呈显著负相关关系,而辐选 01 块根蔗糖积含量与淀粉积累量呈极其显著负相关关系,说明在淀粉合成过程中,块根蔗糖的利用能力也起关键作用,块根蔗糖含量越多,其利用蔗糖的能力则越弱,因此淀粉的积累量相对也越少。

本研究结果显示,木薯叶、茎和根蔗糖与块根淀

粉积累过程密切相关,其中影响淀粉合成的关键因素为叶片合成蔗糖的能力与块根利用蔗糖的能力。就木薯整个生长发育过程而言,在淀粉积累的重要时期叶片蔗糖合成能力与块根利用蔗糖能力越强,块根淀粉的合成量也就越高。

## 参考文献:

- CEBALLOS, IGLEAS AC, PEREZ JC, et al, 2004. Cassava breeding: opportunities and challenges [J]. *Plant Mol Biol*, 56: 506-516
- CUI GJ, LIU FZ, WAN YS, 2010. Relationship between dry matter accumulation and sucrose metabolism during pod development in peanut [J]. *Sci Agric Sin*, 43(19):3965-3973. [崔光军, 刘凤珍, 万勇善, 2010. 花生荚果干物质积累与蔗糖代谢的相关性研究 [J]. *中国农业科学*, 43(19):3965-3973.]
- CHEN HX, LUO XL, YUAN SY, et al, 2014. Characteristics of starch accumulation in root tuber and soluble sugar in the stems and leaves of different cassava [J]. *J Southern Agric*, 45(6): 972-979. [陈会鲜, 罗兴录, 袁圣勇, 等, 2014. 不同木薯品种茎叶可溶性糖与块根淀粉积累特性研究 [J]. *南方农业学报*, 45(6):972-979.]
- EL-SHARKAWY MA, 2006. International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics [J]. *Photosynthetica*, 44(4): 481-512
- FANG J, PU WH, ZHANG HJ, 2010. The development status of cassava industry at home and abroad [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 26(16): 353-361. [方佳, 濮文辉, 张慧坚, 2010. 国内外木薯产业发展近况 [J]. *中国农学通报*, 26(16):353-361.]
- FAN XW, MENG XY, FU QY, et al, 2014. The relationships of cassava root anatomical structure and root cortical thickness with starch accumulation [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 30(33): 89-93. [樊宪伟, 蒙小月, 付琼耀, 等, 2014. 木薯块根解剖结构及皮层厚度与淀粉积累的关系 [J]. *中国农学通报*, 30(33): 89-93.]
- FARRAR J, POLLOCK C, GALLAGHER J, 2000. Sucrose and the integration of metabolism in vascular plants [J]. *Plant Sci*, 154(1): 1-11.
- GUAN CY, 2011. *Modern crop cultivation* [M]. Beijing: Higher Education Press:53-56. [官春云, 2011. *现代作物栽培学* [M]. 北京:高等教育出版社:53-56.]
- HE T, SUN YF, WANG YF, et al, 2010. Tissue culture of manihot esculenta crantz ND-50 [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 26(3):52-54. [何婷, 孙月芳, 王亦菲, 等, 2010. 优良木薯品种“ND-50”的组织培养 [J]. *中国农学通报*, 26(3):52-54.]
- LI NH, ZAN L, FENG X, 2010. Analysis on SWOT and countermeasures of cassava industry development in China [J]. *Agric Outl*, (7):28-32. [李宁辉, 詹玲, 冯献, 2010. 我国木薯产业发展的 SWOT 分析及对策建议 [J]. *农业展望*, (7):28-32.]
- LUO XL, WANG Y, XIAO SY, et al, 2008. Studies on character of physiology and starch accumulation of different cassava varieties [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 24(4):240-244. [罗兴录, 王艳, 肖世云, 等, 2008. 不同木薯品种生理及块根淀粉积累特性研究 [J]. *中国农学通报*, 24(4):240-244.]
- LI CY, FENG CN, ZHANG R, et al. 2007. Relationship of grain starch synthesis with changes of endogenous hormone and sucrose content after anthesis in wheat variety ningmai 9 [J]. *J Trit Crops*, 27(1): 138-142. [李春燕, 封超年, 张容, 等, 2007. 宁麦 9 号花后内源激素和蔗糖含量变化及其与籽粒淀粉合成的关系 [J]. *麦类作物学报*, 27(1):138-142.]
- LI YG, YU ZW, JIANG D, et al, 2001. Studies on the dynamic changes of the synthesis of sucrose in the flag leaf and starch in the grain and related enzymes of highyielding wheat [J]. *Acta Agron Sin*, 27(5):658-664. [李永康, 于振文, 姜东, 等, 2001. 冬小麦旗叶蔗糖和籽粒淀粉合成动态及与其有关的酶活性的研究 [J]. *作物学报*, 27(5):658-664.]
- LUO XL, CHI MQ, HUANG QF, et al, 2006. Studies on the relationship between soluble sugar content in the leaves and the starch accumulation in the root tuber of cassava [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 22(8):289-291. [罗兴录, 池敏青, 黄小凤, 等, 2006. 木薯叶片可溶性总糖含量与块根淀粉积累的关系 [J]. *中国农学通报*, 22(8):289-291.]
- MIN Y, WANG J, HU XW, et al, 2010. Effect of shading on starch accumulation in cassava storage roots [J]. *Chin J Trop Crops*, 31(7): 1057-1062. [闵义, 王静, 胡新文, 等, 2010. 遮荫对木薯块根淀粉含量和品质的影响 [J]. *热带作物学报*, 31(7): 1057-1062.]
- NIU JQ, PHAN TT, SHAO M, et al, 2015. Correlation analysis among invertases activities, invertase inhibitor gene expression and sugar content at technical maturing stage of sugarcane [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 28(4): 1606-1611. [牛俊奇, Phan Thi Thu, 邵敏, 等, 2015. 甘蔗工艺成熟期转化酶及其抑制子与蔗糖积累的相关性研究 [J]. *西南农业学报*, 28(4):1606-1611.]
- QI JY, YANG JH, TANG CR, 2007. Sucrose transporter genes and their functions in plants [J]. *Chin Bull Bot*, 24(4): 532-543. [戚继艳, 阳江华, 唐朝荣, 2007. 植物蔗糖转运蛋白的基因与功能 [J]. *植物学通报*, 24(4):532-543.]
- SHANGHAI ACADEMY OF PLANT PHYSIOLOGY, 1985. *Manual of Plant Physiology Experiment* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers: 137-138. [上海植物生理学会, 1985. *植物生理学实验手册* [M]. 上海:上海科学技术出版社: 137-138.]
- WU W, KE YP, 2011. The present situation and prospect of cassava industry in China [J]. *Chin Trop Agric*, (3):6-9. [伍薇, 柯佑鹏, 2011. 中国木薯产业发展现状及前景展望 [J]. *中国热带农业*, (3):6-9.]
- XU YJ, GU DJ, QIN H, et al, 2015. Changes in carbohydrate accumulation and activities of enzymes involved in starch synthesis in maize kernels at different positions on an earduring grain filling [J]. *Acta Agron Sin*, 30(33): 297-307. [徐文姬, 顾道健, 秦昊, 等, 2015. 玉米灌浆期果穗不同部位籽粒碳水化合物积累与淀粉合成相关酶活性变化 [J]. *作物学报*, 30(33): 297-307.]
- YUAN SY, LUO XL, ZENG WZ, et al, 2013. Studies on the relationship between soluble sugar's transportation, distribution and the starch accumulation in the root tube of cassava [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 29(33):153-157. [袁圣勇, 罗兴录, 曾文丹, 等, 2013. 高低淀粉木薯品种可溶性糖转运、分配与块根淀粉积累的关系研究 [J]. *中国农学通报*, 29(33):153-157.]
- YOSHIDA S. 1972. Physiological aspects of grain yield [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 23:437-64.