

春玉米植株体中蔗糖含量的变化

高聚林

刘克礼

(内蒙古农牧学院农学系, 呼和浩特 010018)

摘 要 本试验对春玉米的叶片、叶鞘、茎秆和雌雄穗等器官的蔗糖含量的变化进行了分层次的系统研究。结果表明, 随着春玉米生长发育进程, 叶片、叶鞘蔗糖含量变化为二次多项式模型, 茎秆为三次多项式模型, 而雌穗呈单峰曲线变化。茎与雌穗之间蔗糖浓度的差异是子粒灌浆的内在动力之一。下部叶片的光合产物在生长发育前期起主导作用, 上、中部叶片则在后期起主导作用, 两部分光合产物均参与子粒生长发育。

关键词 春玉米 营养生理 蔗糖

作物体内碳水化合物大约占干物质总量的90%~95%。而碳水化合物中含量较高, 且能够互相转化和再利用的主要是蔗糖、淀粉和还原糖。有关植物体中蔗糖含量变化的研究, 早在1893年Brown等就指出, 蔗糖是光合作用形成的第一个碳水化合物^[1]。进入本世纪70年代, 国内外学者的研究有了新进展, 蔗糖的合成是在细胞质中进行的, 它是叶片光合产物的暂存形式^[2], 蔗糖及其衍生物是植物体中的主要运输物质^[3], 蔗糖的合成趋向随光合产物输出情况的改变而变化^[2]。这些成果主要是从生理的角度, 对某一器官或某一时期的代谢机制的研究, 很少对玉米整个生长发育过程的蔗糖含量变化进行系统研究。本文旨在通过分析研究玉米整个生育时期的蔗糖含量的变化规律, 为实现玉米高产、优质、高效栽培提供理论依据。

1 材料和方法

试验在本院教学农场进行, 耕层土壤有机质含量2.48%, 全氮量0.137%, 碱解氮 106×10^{-6} , 速效磷 39×10^{-6} , 速效钾 91×10^{-6} , pH7.7; 供试品种为掖单2号, 1990年4月28日播种, 5月14日出苗; 密度为67500株/hm²。施肥处理设亩施纯氮200.25kg/hm² (高氮肥, 以N₁表示), 6.75kg (中氮肥, 以N₂表示) 和不施氮肥 (低氮肥, 以N₃表示) 三个处理, 采用随机区组排列, 重复三次。种肥施纯P₂O₅ 70.5kg/hm²。取样及样品处理方法详见前文^[5]; 蔗糖含量的测定方法用Roe比色法。

2 结果与分析

2.1 春玉米各器官蔗糖含量变化

2.1.1 叶片 叶片蔗糖含量在不同施氮水平下全生育期的变化见表1。对其结果进行统计分析, 采用多种曲线拟合优选, 可得二次多项式回归模型 (表2), 由模型可见, 在散粉

表1 春玉米各器官蔗糖含量变化

(占干重百分数)

器 官	处 理	苗 期 4/6	生理拔节 16/6	小喇叭口 29/6	大喇叭口 11/7	散 粉 28/7	灌 浆 18/8	乳熟末 11/9	完 熟 21/9
叶 片	N ₁	6.73	4.76	3.35	0.33	0.83	0.94	1.67	1.50
	N ₂	6.80	3.71	3.44	0.48	0.65	0.83	1.57	1.40
	N ₃	6.15	3.60	3.29	0.18	0.73	0.76	1.67	1.13
叶 鞘	N ₁	19.73	15.79	8.73	3.19	0.83	1.68	7.67	2.95
	N ₂	20.68	15.86	8.75	2.19	0.85	1.63	7.59	2.77
	N ₃	19.33	15.28	7.74	1.59	0.61	1.42	7.04	2.18
茎	N ₁			8.48	7.64	3.20	21.27	17.82	9.86
	N ₂			8.53	6.10	3.76	22.07	18.32	10.39
	N ₃			7.39	4.64	3.38	17.83	14.19	6.90
雌 穗	N ₁					2.81	10.29	8.42	5.31
	N ₂					2.72	9.80	7.62	5.74
	N ₃					2.47	9.37	6.70	4.50

表2 叶片蔗糖含量随生育进程变化模型

处 理	曲 线 方 程	R
N ₁	$Y=10.84-0.229T+0.0014T^2$	0.956**
N ₂	$Y=8.59-0.18T+0.0014T^2$	0.839**
N ₃	$Y=9.52-0.202T+0.0014T^2$	0.932**

注: T为距出苗的天数

期(距出苗64~72d)之前,叶片蔗糖含量迅速下降,此后略有升高的趋势。其原因在于苗期地上部生长缓慢,叶片同化产物输出少,蔗糖含量较高;进入拔节期之后,叶片、叶鞘、茎秆生长不断加快,雌雄穗相继分化发育,此时需要大量的同化产物供应,以促进植株的生长发育和新器官的建成,故叶片同化产物输出不断增加,因而叶片蔗糖含量迅速下降。散粉之后,叶片已充分展开,叶面积已达到一生中的最大值,在良好的栽培条件下其净同化率也处在一生中的较高时期,个体转入以碳代谢为主的阶段。随着同化产物的大量形成,叶片中的蔗糖含量又有所升高,而不同施氮水平间叶片蔗糖含量无明显的差异,表明玉米叶片蔗糖含量变化受氮肥供应量的影响甚小,而是随着个体的生长发育进程及生长发育中心的改变而改变,因为玉米叶片属于同化产物积累与输出同时进行的类型^[2]。

2.1.2 叶鞘 叶鞘蔗糖含量在不同施氮水平下全生育期的变化见表1。对其结果进行统计分析,采用多种曲线拟合优选得二次多项式回归模型(表3)。由模型可见,灌浆(距出苗81~87d)之前蔗糖含量递减,之后略有增加,这与叶片蔗糖含量的变化趋势相似,所不同的是叶鞘蔗糖含量变化的极小值点推迟。不同施氮水平间叶鞘蔗糖含量变化差异不明显,表明叶鞘中蔗糖含量变化受施氮水平的影响甚小,而是随着个体生长发育进程而改变;蔗糖在输入叶鞘的同时又不断输出和转化。这是叶鞘作为输导器官的特点。

2.1.3 茎秆 茎秆蔗糖含量在不同施氮水平下全生育期的变化见表1。对此结果进行统计分析,采用多种曲线拟合优选,可得三次多项式回归模型(表4)。由模型可见,玉米拔节

表3 叶鞘蔗糖含量随生育进程变化模型

处 理	曲 线 方 程	R
N ₁	$Y=33.37-0.71T+0.0044T^2$	0.948**
N ₂	$Y=34.99-0.76T+0.0044T^2$	0.960**
N ₃	$Y=32.70-0.71T+0.0044T^2$	0.938**

注: T为距出苗的天数

开始到散粉之前是营养生长与生殖生长并进时期, 此期营养体生长旺盛, 生殖器官迅速分化发育, 需要大量的光合产物供给新器官形成, 因此消耗碳水化合物多而累积少, 茎中蔗糖含量较低, 且呈下降趋势; 散粉至灌浆期, 玉米进入生殖生长阶段, 此时, 胚和胚乳细胞大量分化形成, 子粒干物质积累较少。此时正值叶面积稳定期, 净同化率较高, 因而碳水化合物大量积累于茎中, 蔗糖含量迅速升高。此后, 随着生长中心的转移, 子粒干物质积累的迅速增加, 茎中碳水化合物大量向子粒转移, 茎中蔗糖含量又逐渐下降。不同施氮水平间茎中蔗糖含量的差异是: 不施氮肥<施氮肥, 说明氮肥缺乏导致了个体生育不良, 后期叶片早衰, 光合产物的形成积累减少, 茎中蔗糖含量明显下降。

表4 茎秆蔗糖含量随生育进程变化模型

处 理	曲 线 方 程	R
N ₁	$Y=9.797-0.892T+0.0372T^2-0.00032T^3$	0.814**
N ₂	$Y=9.447-0.939T+0.0397T^2-0.00034T^3$	0.876**
N ₃	$Y=8.007-0.805T+0.0338T^2-0.00029T^3$	0.895**

注: T为距小喇叭口期(6月29日)的天数

2.1.4 雌穗 雌穗在不同施氮水平下整个生长发育时期蔗糖含量的变化(见表1) 散粉至灌浆期迅速增加, 然后递减。可见散粉至灌浆是扩大库容的关键时期, 雌穗中蔗糖有一定程度的积累。不同施氮水平对雌穗蔗糖含量的影响表现为: 高氮肥>中氮肥>低氮肥。低氮肥处理由于土壤氮素供应不足, 导致光合强度下降, 使后期供应子粒生长发育的“源”不足, 因而灌浆速率低(穗轴蔗糖含量低), 导致减产; 说明在当地土壤肥力条件下, “源”是产量的重要限制因素。

2.1.5 春玉米不同器官蔗糖含量变化的比较 春玉米各器官蔗糖含量变化表现出如下的差异(表1): 小喇叭口期之前为叶片<叶鞘; 小喇叭口至散粉期为叶片<叶鞘<雄穗<茎; 散粉期之后为叶片<叶鞘<雌穗<茎。结果表明, 叶片蔗糖含量始终维持在较低水平上, 叶片边同化边输出或转化为淀粉暂时贮存碳水化合物, 使叶片糖浓度始终较低, 是玉米个体的自动调节作用所致。相反, 如果叶片中糖浓度(可溶糖)过高, 则导致叶片光合性能降低和叶片的早衰[6], 但这种调节作用是有一定限度的, 还必须采取合理的栽培技术措施, 适时补充氮素营养, 以利用叶片中同化CO₂形成的碳水化合物, 合成氨基酸、蛋白质、核酸等。维持叶片适宜的碳氮比, 是提高玉米叶片光合性能, 促进玉米个体生长发育的重要措施; 这是

叶片作为光合器官与叶鞘、茎的不同特点。叶鞘则在小喇叭口期之前蔗糖含量较高,此时叶鞘是碳水化合物的暂存器官;之后随着茎的生长,始终以茎秆中蔗糖含量最高,表明蔗糖是茎中碳水化合物的暂存形式,茎也是碳水化合物的主要暂存器官。散粉期之后,随着子粒的灌浆,雌穗中蔗糖含量也较高。但茎中蔗糖含量始终高于雌穗中蔗糖含量。这种糖浓度的差异是引起子粒灌浆的内在动力之一。

2.2 春玉米各器官分层次蔗糖含量变化

2.2.1 叶片 不同层次叶片间蔗糖含量的差异(图1)是:在小喇叭口期之后,功能叶片的蔗糖含量有大于上位叶片和下位叶片的趋势;这与前文^[5]还原糖含量的变化结果相一致。

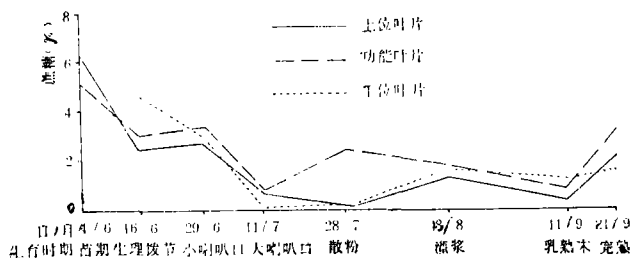


图1 不同层次叶片蔗糖含量变化

2.2.2 叶鞘 不同层次叶鞘间蔗糖含量差异变化(图2)为:大喇叭口期之前下位叶鞘高于功能叶鞘,表明玉米生长发育前期下位叶片是碳水化合物的主要供给“源”,因而叶鞘转运碳水化合物也多,由此供给茎及雌雄穗的生长发育;大喇叭口至灌浆期均稳定在较低水平,相差无明显。灌浆之后上位叶鞘和功能叶鞘远大于下位叶鞘,表明后期以上位叶鞘和功能叶鞘转运碳水化合物多,由此供给子粒生长发育,说明上位叶片和功能叶片是后期子粒生长发育所需碳水化合物的主要供给“源”。

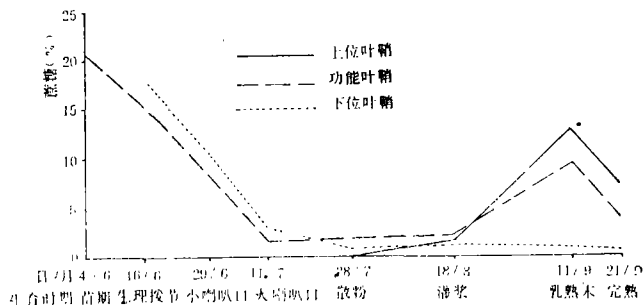


图2 不同层次叶鞘蔗糖含量变化

2.2.3 茎秆 不同层次茎秆蔗糖含量的差异(图3)为:在散粉之后以中位茎>上位茎>下位茎,前文^[5]研究表明,后期功能叶片光合能力最强,功能叶片和上位叶片的光合产物则大量运往果穗供给子粒的建成,在低密度下由于下部光强接近或稍高于光补偿点,因而下位叶片净光合强度低,合成碳水化合物少,下部叶片的同化产物多贮存于下位茎中^[4,8]或供下

位叶片自身消耗，向外运输少。果穗中的碳水化合物主要来源是生长后期叶片合成的碳水化合物，并通过茎向果穗转移，因而蔗糖含量以中位茎最多，上位茎次之，下位茎最少。

2.2.4 雌穗各器官蔗糖含量变化 苞叶、穗轴、子粒蔗糖含量变化（图4）：苞叶相对稳定在较低水平；穗轴以散粉至乳熟末期递增，然后略有下降，表明从散粉至乳熟末期子粒灌浆速率不断加快，以后渐慢；子粒在散粉至灌浆期递增，之后急速下降，表明子粒在建“库”时蔗糖有一定积累之外，以后接纳的可溶糖则迅速转化为淀粉而积累。这是子粒维持其自身受容能力，保持碳水化合物不外运(4,6)的重要特性之一。

3 结论

玉米叶片、叶鞘蔗糖含量随生长发育进程变化为二次多次式模型，受施氮水平影响甚小；茎秆蔗糖含量随生长发育进程变化为三次多项式模型；雌穗生长发育过程中蔗糖含量呈单峰曲线变化；茎秆、雌穗蔗糖含量随施氮水平的提高而增加；在当地土壤肥力条件下，产量的限制因子主要是“源”。

叶片做为主要光合器官，蔗糖含量始终维持在较低水平，只有茎的蔗糖浓度高于雌穗。我们认为茎与雌穗之间蔗糖浓度的差异是子粒灌浆的内在动力之一。对于叶片同化产物如何逆着糖浓度通过叶鞘运往茎的生理机制有待于进一步研究。

在春玉米生长发育过程中，不同层次的器官对产量形成所起的作用不同。下位叶片的光合产物主要在生长发育前期起主导作用，促进器官建成；上位叶片、功能叶片的光合产物则主要供给生长发育后期子粒的建成。但子粒中所累积的碳水化合物也含生长发育前期贮存在叶鞘、茎秆中的一定量碳水化合物，两种来源的碳水化合物在子粒中所占的比重有待进一步研究。

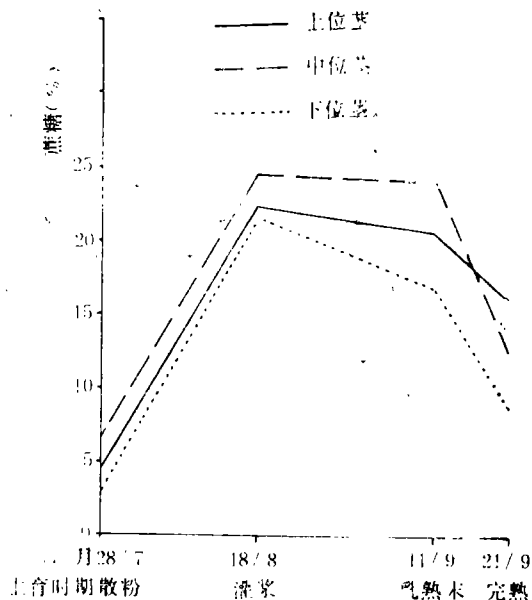


图3 不同层次茎秆蔗糖含量变化

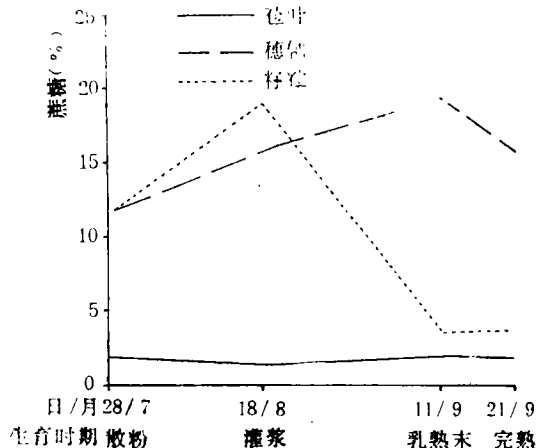


图4 雌穗各器官蔗糖含量变化

参 考 文 献

- 1 夏叔芳等.光合作用及其产物的转化、积累与输出.见:光合作用进展(第三集), 146~159
- 2 夏叔芳等.玉米叶片淀粉和蔗糖的昼夜变化与光合产物的输出.植物生理学报, 1982, 8 (2): 141~148
- 3 田中明等.玉米营养生理(第七报).在干物质生产中源(Source)和库(Sink)相对意义的分析.见:顾慰连, 高学曾编译.玉米生理译丛.北京:农业出版社, 1979, 46~51
- 4 山东省农业科学院玉米所主编.玉米生理.北京:农业出版社, 1987
- 5 刘克礼, 高聚林等.春玉米还原糖含量变化的研究.华北农学报, 1992, 7 (1): 19~24
- 6 高桥英一.养分的吸收和生长.见:作物营养的基础知识(日文), 1982
- 7 Zieger H. Nature of Transported substances. In: Encyclopedia of Plant Physiol. N.S. New York; Springer, 1975, 59~100

The Changes of Sucrose Content in Spring Maize Plant

Gao Julin

Liu Keli

*(Department of Agronomy, Inner Mongolia College of Agricultural and
Animal Husbandry, Hohhot 010018)*

Abstract The changes of sucrose content were systematically studied in the blade, blade sheath, stem, tassel and ear of spring maize according to its distribution in different organs in this experiment. As a result, with the growth of spring maize, the change of sucrose content shows a duality regression model in the blade and blade sheath, cubic regression model, and a single peak curve in female ear. The difference of sucrose content in both stem and female ear is one of the internal powers for filling kernels. Products of photosynthesis in low-leaves play a leading role in early period of growing, while the products in top and middle-leaves play a leading role during the late period of development. Both products of photosynthesis participate in the kernel growing and developing.

Key words: Spring maize; Nutrient physiology; Sucrose