园 艺 学 报 2003，30（5）：535～539
Acta Horticulturae Sinica

茭白碳水化合物积累与分配特性研究

江解增 曹碚生 邱届娟 韩秀芹 张 强 朱庆森*
（扬州大学农学院，扬州 225009）

摘 要：以茭白品种‘蒋墅茭’和‘葑红早’为试材的研究表明：在肉质茎膨大之前，植株茎蘖各部位的总糖、还原糖、淀粉积累量持续上升，短缩茎中积累量最高；肉质茎膨大开始时，各部位碳水化合物积累量下降，以短缩茎的下降量最大，认为膨大前叶片的光合产物在短缩茎和叶片中积累以短缩茎为主，植株积累的碳水化合物主要以淀粉形式存在。孕茭前 ^{14}C 同化物在短缩茎的分配率较大，上位叶片、叶鞘也有较多积累，肉质茎膨大过程中，大量的 ^{14}C 同化物在肉质茎中积累。饲喂叶片光合产物除供应自身茎蘖外，还向植株其它各部位输送。

关键词：茭白；碳水化合物；^{14}C 示踪
中图分类号：S 645.2 **文献标识码**：A **文章编号**：0513-353X（2003）05-0535-05

茭白（*Zizania latifolia* Turcz.）为多年生水生宿根性草本植物，无性繁殖，原产中国和东南亚。茭白受黑粉菌（*Ustilago esculenta* P. Henn.）寄生后形成膨大的肉质茎，是营养丰富有益健康的蔬菜，在我国长江流域及以南地区栽培面积较大[1]。江解增等对茭白膨大前后养分的转运规律进行了初步研究[2,3]。茭白的肉质茎从开始膨大起，在短短的 7 d 左右鲜样质量增至 100 g 以上，干物质量达 10 g 左右，生产上即在此时采收，以免将叶鞘撑裂见光后表皮变绿，商品性下降。为了明确肉质茎迅速膨大时营养物质的来源，作者选择两个不同类型的代表性茭白品种为试材，测定定植至采收植株各部位总糖、淀粉、还原糖含量的变化和碳同化产物的分配，期望为茭白孕茭机理提供部分理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

‘蒋墅茭’为单季茭品种，分蘖力较强，单茎蘖生长量较小，孕茭要求温度较高，秋季采收较早，采收持续时间较长。‘葑红早’为双季茭品种，分蘖力偏弱，单茎蘖生长量较大，孕茭要求温度较低，秋季采收较迟，采收持续时间较短。2001 年 4～10 月在扬州大学农学院水生蔬菜实验田进行试验。自上一年度茭田中选择正常结茭且性状相似的茭墩在 4 月 25 日定植，行距和穴距均 0.75 m，每穴 1 支主茎（栽培中也称为本蘖、基本苗），每品种种植 500 m^2，试验田地力均匀，未设重复，常规管理。

表 1 试验取样时间表
Table 1 Schedule of experimental sampling

生育进程 Developmental stage	定植后天数 Days after planting	
	蒋墅茭 Jiangshujiao	葑红早 Fenghongzao
苗期 Seedling stage	13	13
一次分蘖期 1st tillering period	44	44
田间封行期 Colony occlude period	84	84
二次分蘖期 2th tillering period	105	113
孕茭期 Start period of swelling	136	150
膨大初期 Initial stage of swelling	143	157
膨大期 Peak period of swelling	150	163
膨大后期 Anaphase of swelling	157	169
膨大末期 Telophase of swelling	169	—
生长后期 End stage of growth	180	180

1.2 碳水化合物的测定

每个品种均取样 12 次（两品种生长发育进度有差异，取样时期见表 1），每次在田间选择生长正

收稿日期：2002 - 12 - 20；**修回日期**：2003 - 05 - 19
基金项目：江苏省重点攻关项目（BE2001322）；江苏省农业三项工程项目［§(01)54］
* 通讯作者

常、生长势（株高、茎蘖数）相近的茭墩3个，作为重复。肉质茎开始膨大前取样间隔期较长；当早熟的‘蒋墅茭’大部分茭墩开始孕茭时缩短取样间隔期，并挂牌标记孕茭的主茎，留作以后取样。每次取样时挖出茭墩，清洗后记录编号，分别取主茎，将叶片、叶鞘、短缩茎及膨大的肉质茎切下，分别称量质量。将各样品放在105 ℃烘箱中杀青30 min，75 ℃烘干称量各部位的干样质量。分别用粉碎机粉碎、混匀后包装，存放在干燥器中，测定之前再次于75 ℃烘箱中烘干。总糖、还原糖采用3,5-二硝基水杨酸比色法[4]，淀粉采用蒽酮法[4]测定。每份样品的测定均重复3次。

1.3 ^{14}C示踪处理

苗期在田间选择出叶一致、生长势相近的茭白苗挂牌，跟踪其生长情况，每出一个分蘖挂一个牌，每个单株同期的分蘖数一致。在二次分蘖结束后植株生长基本稳定时，选择晴天（8月16日，定植后114 d），于下午3～4时进行$^{14}CO_2$饲喂。饲喂前取两个品种各6个茭墩，在尽量少伤根的前提下带泥挖出，置于直径55 cm的塑料盆中运抵同位素实验室盆栽场。用透明塑料薄膜制成密闭的光合室，饲喂时将植株主茎最顶部一张完全展开的叶片套入光合室中，用橡皮泥胶布封口。光合作用条件为1900 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$左右自然光照，每叶标记量30 μCi/L，饲喂时间为1 h[5,6]。饲喂结束后按原来位置重新栽入田间。

取材时期与部位：在早熟的‘蒋墅茭’肉质茎膨大前（9月1日，129 d）和晚熟的‘葑红早’肉质茎膨大后（10月5日，定植后165 d），每次每品种各取3个茭墩作为重复，将饲喂$^{14}CO_2$的茎蘖、其周围紧邻的近邻分蘖和其外所有远邻分蘖的叶片、叶鞘、短缩茎、肉质茎分割，分别称质量后进行消化制样。利用Beckman LS-9800液体闪烁计数器测定各部位的放射性活度，以3次重复的平均值，依照温贤芳等[7,8]的方法，计算出^{14}C在各部位的分配率。

2 结果与分析

2.1 不同部位总糖含量的变化

如图1所示，两品种叶片和叶鞘内总糖积累量在肉质茎膨大前缓慢上升，肉质茎开始膨大后有所下降，在整个生育过程中叶鞘的总糖积累量明显多于叶片；短缩茎积累的总糖量最多，生长中期快速增加，肉质茎开始膨大后迅速下降，说明短缩茎此前积累的总糖大量转运至肉质茎中；肉质茎完成正常的膨大后总糖积累量上升很慢，后期出现下降趋势；生育后期叶片内总糖量仍持续下降，短缩茎又呈缓慢积累趋势。比较两品种各器官总糖消长曲线差异，主要表现为‘蒋墅茭’肉质茎总糖量迅速增长期明显早于‘葑红早’，这与生产上两品种采茭期的早晚相对应；再则‘葑红早’单个茎蘖粗壮高大，叶和短缩茎内积累的总糖量较高，‘蒋墅茭’的总糖积累量较低，然而两品种肉质茎总糖积累量的差异相对较小。此外各部位总糖量的变化趋势相似，说明两者生长发育规律基本相同。

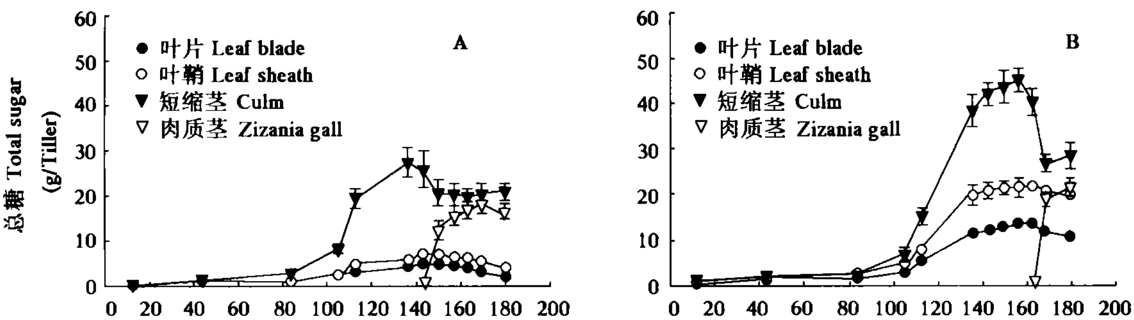

图1 蒋墅茭（A）和葑红早（B）不同部位总糖含量的变化

Fig. 1 Changes of total sugar in different parts of ‘Jiangshujiao’(A) and ‘Fenghongzao’(B)

2.2 不同部位还原糖含量的变化

如图 2 所示，各部位的还原糖积累量在整个生育期都相对较低，叶片与叶鞘之间的差异很小，蒋墅茭叶片积累稍高于叶鞘；短缩茎的还原糖积累量仍最高，肉质茎中还原糖在膨大后期呈明显下降。表明茭白体内还原糖主要作为转运态养分存在，而不是贮藏态养分，因此肉质茎膨大后期，内部还原糖量明显下降。在各个不同时期的还原糖含量变化趋势与总糖积累量基本相似。

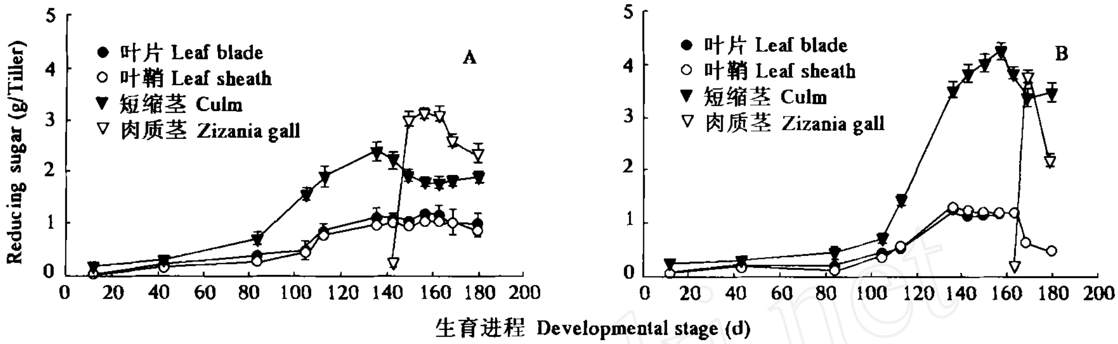

图 2　蒋墅茭 (A)、葑红早 (B) 不同部位还原糖含量变化

Fig. 2　Changes of reducing sugar in different parts of ‘Jiangshujiao’(A) and ‘Fenghongzao’(B)

2.3　不同部位淀粉含量的变化

从图 3 可以看出两品种各器官淀粉积累量的变化趋势与总糖变化曲线大体相同，与上年度的试验结果[2]基本一致。说明茭白茎蘖各部位积累的碳水化合物主要以淀粉形式存在，叶片光合同化产物通过叶鞘而在短缩茎中积累，叶鞘、叶片本身也有部分积累，肉质茎开始膨大后，短缩茎内贮藏的养分迅速转运至肉质茎供其膨大；肉质茎完成正常膨大后，其积累量增加缓慢，此时短缩茎又开始增加养分积累量，为翌年植株的萌芽生长进行养分准备。

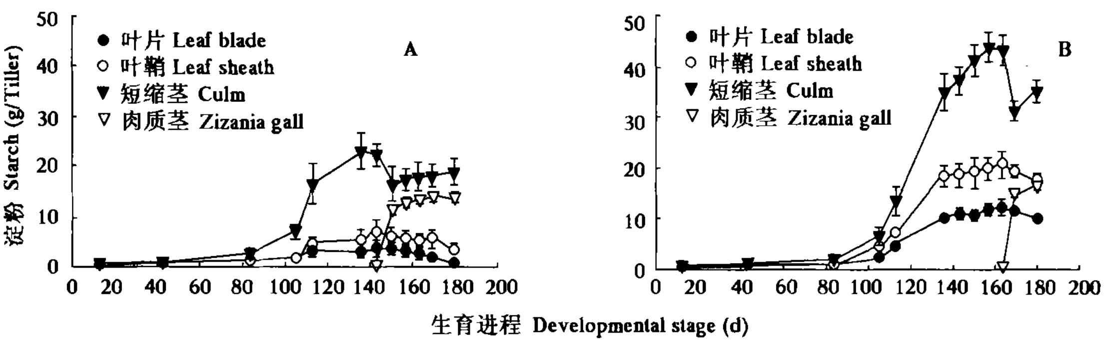

图 3　蒋墅茭 (A)、葑红早 (B) 不同部位淀粉含量变化

Fig. 3　Changes of starch in different parts of ‘Jiangshujiao’(A) and ‘Fenghongzao’(B)

2.4　^{14}C 分配率

在 $^{14}CO_2$ 饲喂 15 d 后，植株各个部位都可检测出标记同化物，说明饲喂叶光合产物通过输导组织被送到各部位，但在各部位间的分配比率存在显著差异（表 2）：饲喂叶片 15 d 后的光合产物大部分在自身茎蘖积累（^{14}C 同化物分配率，‘蒋墅茭’为 70.05 %，‘葑红早’为 65.63 %），但也有小部分被同株的其它茎蘖利用，这种养分的蘖间运输不同于禾谷类作物稻麦等 4 片叶以上的大茎蘖之间很少再有养分的相互转运[9]，肉质茎膨大前主要在短缩茎及其上位叶中积累（‘蒋墅茭’分别为 40.51 %和 27.98 %，‘葑红早’为 37.41 %和 26.73 %），肉质茎膨大后（饲喂后 50 d），以短缩茎为主的其它各部位积累的养分大量被转运到肉质茎中，其它茎蘖的养分也有少量的再次转运回饲喂茎蘖，说明茭白体内的养分运转也遵循近距优先、上位优先和强活性优先的原则，与水稻[9]、大白菜[10]上的研究结果相似。在饲喂茎蘖中，肉质茎膨大后短缩茎及其上位叶中原来积累的光合产物大量输出，^{14}C 同化物分配率均明显下降。$^{14}CO_2$ 饲喂试验结果与上述总糖、淀粉积累量的变化基本一致：自饲喂 $^{14}CO_2$ 至肉

质茎开始膨大之前，总糖和淀粉在短缩茎内积累量显著上升，叶片、叶鞘的积累量也有增加，叶鞘的积累量大于叶片。

表 2 各部位^{14}C 同化物在不同时期的分配率

Table 2 Distribution ratio of ^{14}C in different parts of two cultivars at different developmental stages (%)

部位 Part		蒋墅茭 Jiangshujiao		葑红早 Fenghongzao	
		09-01	10-05	09-01	10-05
饲喂茎蘖 Main stem	肉质茎 *Zizania* gall	0	28.92	0	26.82
	短缩茎 Culm	40.51	29.24	37.41	21.18
	上位叶叶片 Upper blade	11.22	5.83	10.92	7.59
	上位叶叶鞘 Upper sheath	16.76	10.27	15.81	11.63
	下位叶叶片 Inferior blade	0.45	0.31	0.43	0.29
	下位叶叶鞘 Inferior sheath	1.11	0.71	1.06	0.72
近邻分蘖 Tillers close to main stem	肉质茎 *Zizania* gall	0	6.26	0	8.76
	短缩茎 Culm	11.55	5.54	13.21	8.30
	叶片 Leaf blade	4.27	2.68	5.35	3.13
	叶鞘 Leaf sheath	5.58	3.01	7.69	5.70
远邻分蘖 Other tillers	肉质茎 *Zizania* gall	0	2.53	0	0
	短缩茎 Culm	2.50	1.55	2.42	1.49
	叶片 Leaf blade	3.10	1.61	2.89	2.28
	叶鞘 Leaf sheath	2.95	1.54	2.81	2.11

注：饲喂日期，2002-08-16。Note: Date, 2002-08-16.

3 讨论

3.1 茭白短缩茎在养分转运中的作用

在茭白生长过程中叶片制造的养分先由短缩茎和叶暂存，而以短缩茎为主；肉质茎膨大过程中短缩茎和叶片积累的养分迅速转运到肉质茎中供其膨大。与水稻等禾谷类作物抽穗开花前后的茎鞘物质运转情况相似，但禾谷类作物在籽粒灌浆结实期间养分大部分来源于顶三叶的光合积累。而茭白肉质茎膨大速率很快，养分主要依赖短缩茎等“中间库”在之前的积累。这是茭白与其它禾本科作物的主要差异。

3.2 茭白茎蘖间的养分交流

比较肉质茎膨大前后总糖、淀粉及干质量的变化及^{14}C 同化物在饲喂茎蘖各部位的分配率可以发现，最早膨大的主茎短缩茎和叶片、叶鞘的下降值小于肉质茎的增加值，而其余茎蘖各部位的分配率总和明显下降。说明肉质茎膨大过程中不仅使用了饲喂茎蘖贮藏的碳水化合物和膨大过程中叶片制造的碳水化合物，还或多或少使用了其他茎蘖的碳水化合物。品种间‘蒋墅茭’比‘葑红早’明显。而水稻、小麦等在抽穗、灌浆过程中碳水化合物大部分来自顶三叶的光合同化，且茎蘖间几乎没有养分的交流和转运。说明茭白的上述多种特性与水稻、小麦等其它禾本科作物有着明显的不同[6,11,12]。

^{14}C 示踪试验的总体结果可以与总糖、还原糖和淀粉的测定结果相互印证。当然，由于水田操作困难，采用挖出后饲喂再重新栽回田间的方法，不可避免地损伤部分根系，可能会对试验结果产生一定的影响，拟在以后的试验中加以改进。

3.3 品种间的差异

‘蒋墅茭’单茎蘖的叶和短缩茎养分积累量比‘葑红早’低，而两品种的肉质茎养分积累量差异较小，可以推测‘蒋墅茭’的养分转运比例较高；但从^{14}C 分配率试验结果来看，品种间的差异无论是单茎蘖还是整个茭墩虽有此倾向，但尚无法证实，因此有必要对茭白品种间养分积累及其转运的差异进行深入研究。同时，茭白品种的源库特征及其类型划分，及由此而导致的针对各类型品种的优质、高产、早熟栽培技术，亦需进一步研究。

参考文献：

1　赵有为．中国水生蔬菜．北京：中国农业出版社，1999．99 页
2　江解增，邱届娟，曹碚生，等．茭白膨大前后源库关系研究．扬州大学学报·自然科学版，2001，(4)：39～42
3　邱届娟，江解增，曹碚生，等．茭白地上部 N、P、K 含量及变化趋势．湖北农学院学报，2002，(2)：122～125
4　袁晓华．植物生理生化实验．北京：高等教育出版社，1983．1～8
5　汤　利．冬小麦灌浆期 ^{14}C 的同化、分配与调节．中国农业大学学报，2000，5 (1)：75～79
6　张仲良．^{14}C 示踪法研究不同小麦品种开花、灌浆期的光合效率及同化物的运转与分配．四川农业大学学报，1985，3 (2)：33～38
7　温贤芳．中国核农学．郑州：河南科学技术出版社，1999．136～155
8　徐德平．小麦幼苗阶段体内同化物的运输和分配．作物学报，1987，(9)：177～185
9　沈巩懋．水稻各时期各叶光合作用产物的运输与分配——利用放射性碳 (^{14}C) 的研究．农业学报，1960，11 (1)：30～40
10　张振贤，魏　珉，梁书华．大白菜结球中前期 ^{14}C 运转与分配特性的研究．园艺学报，1995，22 (3)：263～266
11　刘承柳．几个杂交水稻茎鞘干物质的运转及其对产量形成的作用．华中农业大学学报，1986，(2)：105～112
12　凌启鸿．稻麦研究新进展．南京：东南大学出版社，1991．82～146

Studies on Accumulation and Allocation of Carbohydrate in *Zizania latifolia*

Jiang Jiezeng, Cao Beisheng, Qiu Jiejuan, Han Xiuqin, Zhang Qiang, and Zhu Qingsen
(*Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou* 225009, *China*)

Abstract: The changes of carbohydrate accumulation in leaves and stems of the *Zizania latifolia* were studied on two typical varieties at their different growth and development stages. The allocation of photosynthesis assimilates in different organs was also determined by using ^{14}C-labeling technique. The results showed that, before the *Zizania* gall expanding, the accumulation of total sugar, reducing sugar and starch increased continuously and the greatest amount of carbon assimilates were observed to be accumulated in the culm, as compared with that in other organs. When *Zizania* gall began to expand, the carbohydrate in other organs stopped accumulation. Most carbohydrates stored in culm were remobilized. The culm serves as stored organs for remobilized assimilates to the growth of *Zizania* gall. Starch is the main form for stored carbohydrate, and most of ^{14}C assimilates was pre-fixed in culm before pregnant. The accumulated carbohydrate in the up leaf and sheath of plant was higher than that of its low leaf and sheath. During the period of *Zizania* gall expanding, most of prefixed-^{14}C was remobilized into gall. The labeled assimilates fixed by leaves supplied not only for its straws but also for the other parts of the plant.

Key words: *Zizania latifolia* Turcz.; Carbohydrate; ^{14}C tracer