

张 飞, 邹剑秋, 王艳秋, 等. 能源作物 A1、A3 型细胞质甜高粱光合生产及物质分配特性比较[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8): 101–103.

能源作物 A1、A3 型细胞质甜高粱光合生产及物质分配特性比较

张 飞, 邹剑秋, 王艳秋, 张志鹏, 朱 凯

(辽宁省农业科学院高粱创新中心, 辽宁沈阳 110161)

摘要: 本试验以 5 个 A1 细胞质和 5 个 A3 细胞质甜高粱品种为能源作物试材, 分别对其净光合速率、光合影响因子及光合产物的积累与分配进行了测定与分析, 并对其茎秆糖分积累特性进行了比较。结果表明: A3 型较 A1 型细胞质甜高粱品种的光合生产能力强, 且可维持较长的气孔开放时间, 较 A1 型细胞质甜高粱品种在单位时间里可积累更多的光合产物; 在光合产物分配方面, A3 型细胞质甜高粱品种由于不结籽粒, 可将光合产物的 1/2 左右转移到茎秆中, 转移率较 A1 型细胞质甜高粱品种高出 8.34%, 从而增加茎秆重量、出汁量以及总产糖量, 可更好地发挥能源甜高粱在生产上的潜力。

关键词: 甜高粱; A1、A3 细胞质; 光合生产; 物质分配

中图分类号: S514.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)08-0101-03

甜高粱是一种新兴的可再生能源作物, 它生物产量高, 茎秆中含有丰富的糖分汁液, 可经加工转化为酒精, 是一种取之不尽、用之不竭的再生生物能源库^[1-2]。目前, 汽车、机械、农用量急剧增加, 能源供求矛盾越来越突出, 甜高粱作为一个有效的太阳能转换器, 正可以解决这一矛盾。甜高粱茎秆中含 14%~18% 的纤维素, 每 360 kg 纤维素可生产 140~270 L 酒精, 所以甜高粱是一个再生地面油田, 而且用酒精做能源可以减少 SO₂ 等有害气体对环境的污染^[3-6]。同时, 甜高粱作为一种非粮能源原料, 符合我国人多地少、不宜于用大量粮食转化乙醇的国情^[7-10]。近几年, 随着人们对甜高粱作为能源作物潜力的进一步深化认识, 能源用甜高粱科研和生产有了快速的发展, 但是, 在能源高粱育种与生产中还存在品种含糖量不高、倒伏严重、生产过程用工过多等问题亟待解决。

甜高粱主要有 A1、A2、A3、A4、A5、A6 和 9E 7 种细胞质, 近年来, 辽宁省农业科学院高粱研究所及其他科研单位的研究结果表明, A1 和 A3 型细胞质甜高粱在生产上最具潜力。因此, 本研究选取当前生产上种植较多的较有代表性的 A1 型细胞质甜高粱品种与新型 A3 型细胞质甜高粱品种, 对其光合生产及物质积累与分配特点进行研究, 探讨不同细胞质育性反应差异的影响, 旨在筛选最适合乙醇工业化生产的能源甜高粱品种, 解决能源高粱育种与生产中存在的问题, 充分发挥其生产潜力。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试品种为 Ta1-1、Ta1-2、Ta1-3、Ta1-4、Ta1-5 等 5 个 A1 型细胞质甜高粱品种和 Ta3-1、Ta3-2、Ta3-3、Ta3-4、Ta3-5 等 5 个 A3 型细胞质甜高粱品种(表 1), 均由辽宁省农业科学院高粱研究所选育, 种植密度为 75 000 株/hm²。试验于 2010—2011 年在辽宁省农业科学院试验地进行, 采用随机区组设计, 6 行区, 行距 0.6 m, 行长 3 m, 小区面积 10.8 m², 3 次重复。5 月 8 日播种, 10 月 8 日收获, 田间管理相当于当地一般生产水平。

表 1 供试甜高粱品种代号与组合名称

代号	组合名称	代号	组合名称
Ta1-1	辽甜 1 号	Ta3-1	辽甜 12 号
Ta1-2	7050A1/LTR108	Ta3-2	辽甜 10 号
Ta1-3	7050A1/LTR112	Ta3-3	311A3/LTR108
Ta1-4	辽甜 6 号	Ta3-4	辽甜 9 号
Ta1-5	7050A1/LTR114	Ta3-5	303A3/LTR108

1.2 测定项目及方法

1.2.1 净光合速率 在甜高粱灌浆期, 用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合测定仪测定净光合速率, 采用红蓝光源, 设定 PAR 为 800 μmol/(m²·s) 作为测定光强, 在各试验小区选取生长健康、长势一致、光照均匀的植株 5 株进行测定, 测定时间为 09:30—11:00。测定各品种的旗叶, 记录 3 次测定值, 求其平均数。气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率等参数由光合仪同步探测记录。

1.2.2 生物产量 成熟期收获时, 去掉边行, 收取中间 4 行, 称其鲜重, 折合成单位面积产量, 并计算单株重量(A3 细胞质杂交种开花前套袋)。

1.2.3 茎秆重量 成熟期每个品种随机选取 10 株, 将茎秆、穗和叶片分开, 分别称重。

1.2.4 茎秆出汁率 成熟期收获时, 每小区随机选取 10 株

收稿日期: 2013-01-04

基金项目: 农业部现代农业产业技术体系项目(编号: CARS-06); 辽宁省科技基金博士启动项目(编号: 20061045); 国际合作项目(编号: CFC/FIGG/41); 农业部“948”计划(编号: 2012-Z54)。

作者简介: 张 飞(1982—), 男, 辽宁凤城人, 硕士, 助理研究员, 主要从事高粱遗传育种与栽培研究。Tel: (024) 31029903; E-mail: zhangfei19821121@163.com。

通信作者: 邹剑秋, 博士, 研究员, 主要从事高粱遗传育种研究。Tel: (024) 31023997; E-mail: jianqizou@yahoo.com.cn。

植株称茎秆鲜重,去掉叶、叶鞘,用电动榨汁机每株压榨 2 遍,然后用 PAL-1 型糖度计测量 3 次,取平均值,并用电子秤测量茎秆鲜重及出汁量,计算出汁率及总产糖量。由于甜高粱的含糖锤度只是含糖量的近似值,因此用含糖锤度计算的总产糖量也只是近似值。茎秆出汁率 = 出汁量/茎秆鲜重 × 100%;总产糖量 ≈ 茎秆鲜重出汁量 × 含糖锤度。

1.3 数据处理与分析

试验数据均采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 6.50 软件进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 A1 和 A3 型细胞质甜高粱品种净光合速率比较

由图 1 可知,A1 型细胞质甜高粱品种的净光合速率较 A3 型细胞质甜高粱品种存在较大差异。A3 型细胞质甜高粱品种的净光合速率明显高于 A1 型细胞质品种,A3 型细胞质甜高粱品种净光合速率的平均值比 A1 型细胞质品种高 18.54%,差异达显著水平。A1 型细胞质品种间净光合速率差异较大。Ta3-5 和 Ta3-2 净光合速率明显高于其他品种,分别比其他 A3 型细胞质品种的平均值高出 36.62% 和 6.90%。说明从物质生产角度来看,A3 型细胞质甜高粱品种较 A1 型细胞质品种可更充分地利用光能,在单位时间内可积累更多的有机物,其中品种 Ta3-5 和 Ta3-2 更具优势。

2.2 A1 和 A3 型细胞质甜高粱品种光合相关因子分析

表 2 A1 和 A3 型细胞质甜高粱品种光合相关因子分析

品种	光合参数	相关系数				
		净光合速率	气孔导度	胞间 CO ₂	蒸腾速率	叶绿素
Ta1	净光合速率	1.000				
	气孔导度	0.981 **	1.000			
	胞间 CO ₂	0.353	0.167	1.000		
	蒸腾速率	-0.452	-0.613	0.302	1.000	
	叶绿素	0.091	0.062	-0.134	0.065	1.000
Ta3	净光合速率	1.000				
	气孔导度	0.906 *	1.000			
	胞间 CO ₂	0.824 *	0.930 **	1.000		
	蒸腾速率	0.741	0.960 **	0.913 *	1.000	
	叶绿素	0.110	0.300	0.330	0.380	1.000

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

2.3 A1 和 A3 型细胞质甜高粱品种物质积累与分配比较

由表 3 可以看出,2 种细胞质品种在光合产物的分配上存在差异。A3 型细胞质甜高粱品种的生物产量明显高于 A1 型细胞质甜高粱品种,供试的 5 个 A3 型细胞质品种的生物产量的平均值可比 A1 型细胞质甜高粱品种高出 12.78%。积累的有机物在不同器官的分配上,2 个品种均表现为茎秆 > 根系 > 籽粒 > 叶片(A3 型细胞质甜高粱品种无籽粒),但主要应用器官茎秆的重量 A1 和 A3 型细胞质品种分别占各自生物产量的 52.73% 和 57.13%,A3 型细胞质品种比 A1 型细胞质品种高 8.34%,说明 A3 型细胞质甜高粱品种不但生物产量高,而且可将积累的有机物更多地转移到茎秆,使以茎秆为主要收获器官的能源甜高粱在生产上更具优势。同时,A1 和 A3 型细胞质品种的根冠比差异较大,A3 型细胞质甜高粱品种根冠比比 A1 型细胞质甜高粱品种高出 17.88%,

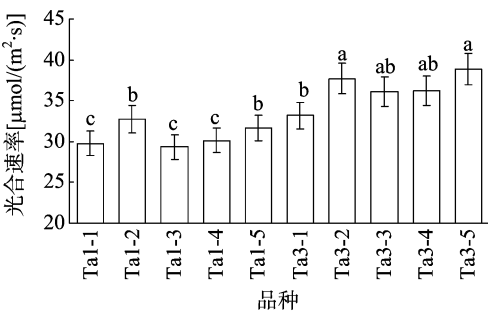


图 1 不同细胞质甜高粱品种净光合速率比较

为进一步了解 A3 型细胞质甜高粱品种净光合速率高于 A1 型细胞质甜高粱品种的原因,对净光合速率及影响因子进行了相关分析。由表 2 可以看出,各影响因子对 2 种类型细胞质品种净光合速率的影响有所不同。对 A1 型细胞质甜高粱品种净光合速率的影响程度为:气孔导度 > 胞间 CO₂ 浓度 > 蒸腾速率 > 叶绿素,蒸腾速率与净光合速率呈负相关,可能是因为中午温度较高时,虽然蒸腾速率较强,但叶片气孔关闭,使光合受阻造成的;各影响因子对 A3 型细胞质甜高粱品种净光合速率的影响程度与 A1 型细胞质甜高粱品种基本一致,但蒸腾速率与净光合速率呈正相关,说明在中午温度较高时,A3 型细胞质甜高粱品种依然可以保持气孔开放,保持较高的净光合速率,从而较 A1 型细胞质甜高粱品种可增加较高净光合速率所维持的时间,促进其干物质积累。

大大提高了 A3 型细胞质品种的抗倒性,更有利于生产应用,而两者茎叶比未见明显差异。

2.4 A1 和 A3 型细胞质甜高粱品种糖分积累比较

由表 4 可以看出,A1 和 A3 型细胞质甜高粱品种的茎秆含糖锤度、出汁量、出汁率以及总产糖量均存在差异。供试的 5 个 A3 型细胞质甜高粱品种的含糖锤度和出汁量的平均值分别比 A1 型细胞质甜高粱品种高出 0.69% 和 30.88%,A3 出汁率比 A1 型细胞质甜高粱品种高 7.43%,其中 A3 型细胞质甜高粱品种的出汁量占到其生物产量的 31.74%。供试的 10 个品种总产糖量的平均值 A3 比 A1 型细胞质品种高 40.54%。说明 A3 型细胞质甜高粱品种总产糖量较高的形成主要来源于较多的茎秆出汁量。与总产糖量的相关系数 A1 型细胞质甜高粱品种为含糖锤度 > 出汁量 > 出汁率,而 A3 型细胞质甜高粱品种为出汁量 > 含糖锤度 > 出汁率,说明

表 3 A1 和 A3 型细胞质甜高粱品种物质积累与分配比较

品种	生物产量 (g/株)	茎秆重量 (g/株)	根系重量 (g/株)	籽粒重量 (g/株)	叶片重量 (g/株)	根冠比 (%)	茎叶比 (%)
Ta1-1	1 074.0b	571.6b	240.8b	161.6a	181.2b	105.2c	126.8a
Ta1-2	1 029.6bc	545.2c	236.4c	141.2b	177.6b	109.6c	130.0a
Ta1-3	9 94.4c	516.8c	233.2c	134.4b	177.2b	112.8b	137.2a
Ta1-4	9 71.6c	508.0c	232.4c	137.6b	162.8b	114.8b	128.0a
Ta1-5	978.0c	520.4c	219.6d	146.8b	164.4c	105.6c	126.4a
Ta1 平均	1 009.6	532.4	232.4	144.4	172.4	109.6	129.6
r_1	1.00	0.89	0.81	0.46	0.32	-0.49	0.37
r_2	0.88	0.9	0.56	0.75	0.46	0.03	0.22
Ta3-1	1 114.8b	639.2ab	269.2b		206.4a	127.2a	129.2a
Ta3-2	1 182.0a	670.8a	297.6a		214.0a	134.4a	127.6a
Ta3-3	1 111.6b	637.6ab	275.2b		198.8a	131.6a	124.8a
Ta3-4	1 091.6b	629.2ab	259.2b		203.6a	124.4a	129.2a
Ta3-5	1 192.0a	676.0a	290.4a		225.6a	128.8a	133.6a
Ta3 平均	1 138.4	650.4	278.4		209.6	129.2	128.8
r_1	1.00	0.94	0.77		0.45	-0.58	0.28
r_2	0.93	0.91	0.72		0.13	0.26	0.15

注： r_1 表示与生物产量的相关系数； r_2 表示与净光合速率的相关系数。

表 4 A1 和 A3 型细胞质甜高粱品种糖分积累比较

品种	含糖垂度 (%)	出汁量 (g/株)	出汁率 (%)	总产糖量 (g/株)
Ta1-1	19.2ab	175.6c	30.7a	33.6b
Ta1-2	18.4b	169.2c	31.0a	31.2c
Ta1-3	18.6b	133.2d	25.8c	24.8d
Ta1-4	18.9b	161.6cd	31.8a	30.4c
Ta1-5	18.3b	150.4cd	28.9b	27.6d
Ta1 平均	18.7	158.0	29.6	29.6
总产糖量 r	0.87	0.61	0.27	1.00
Ta3-1	19.3ab	197.6b	30.9a	38.0b
Ta3-2	21.1a	223.2a	33.3a	47.2a
Ta3-3	19.5ab	205.2ab	32.2a	40.4ab
Ta3-4	19.4ab	197.2b	31.4a	38.4b
Ta3-5	20.9a	210.4ab	31.1a	44.0a
Ta3 平均	20.0	206.7	31.8	41.6
总产糖量 r	0.36	0.92	0.43	1.00

转移到茎秆中相对较高的光合产物使 A3 型细胞质品种含糖
锤度并未低于 A1 型细胞质甜高粱品种,而相对较高的茎秆
出汁量促使其总产糖量的增加。

3 结论与讨论

综上所述,A3 型细胞质甜高粱品种的光合能力较强,较
A1 型细胞质甜高粱品种在单位时间里可生产更多光合产物,
这与李金梅等的研究结果^[11]基本一致。对其光合影响因子
的分析结果表明,A3 型细胞质甜高粱品种可维持较长的气孔
开放时间。

在有机物分配方面,A3 型细胞质甜高粱品种由于没有籽
粒,可将更多的光合产物转移到茎秆,较大幅度地提高了以茎
秆为主要收获器官的能源甜高粱的茎秆重量、出汁量以及总
产糖量,从而可更好地发挥能源甜高粱在生产上的潜力。

A3 型细胞质甜高粱品种由于自身不结籽粒,可将糖分更

多地转移到茎秆中去,因此,在生产上要考虑与其他高粱属植
物隔离种植,以免因接受外来花粉而结实,影响茎秆养分积
累。A3 型细胞质甜高粱虽不结籽粒,但可将这部分养分转移
到茎秆中,促进茎秆产量增加从而获得较高的经济效益,弥补
其没有籽粒造成的经济损失。而且在生产上,A3 型细胞质甜
高粱更有利于机械化收割,可节省大量的劳动成本与经济投
入。因此,A3 型细胞质甜高粱作为新兴的能源作物之一,具
有很大的生产潜力和广阔的发展前景。

参考文献:

[1] 邹剑秋,王艳秋. 我国甜高粱育种方向及高效育种技术[J]. 杂
粮作物,2007,27(6):403-404.
[2] 曹俊峰,高博平,谷卫彬. 甜高粱汁酒精发酵条件初步研究[J].
西北农业学报,2006,15(3):201-203.
[3] 邹剑秋,王艳秋,张志鹏,等. A3 型细胞质能源用甜高粱生物产
量、茎秆含糖锤度和出汁率研究[J]. 中国农业大学学报,2011,
16(2):8-13.
[4] 卢庆善,朱翠云,宋仁本,等. 甜高粱及其产业化问题和方略[J].
辽宁农业科学,1998(5):24-28.
[5] 王艳秋,邹剑秋,张志鹏,等. 能源甜高粱茎秆节间锤度变化规律
研究[J]. 中国农业大学学报,2010,15(5):6-11.
[6] 张志鹏,杨 镇,朱 凯,等. 可再生能源作物——甜高粱的开发
利用[J]. 杂粮作物,2005,25(5):334-335.
[7] 刘晓辉,高士杰,杨 明,等. 浅谈甜高粱的利用价值[J]. 种子,
2006,25(9):98-99.
[8] 朱 凯,王艳秋,张 飞,等. 不同细胞质甜高粱品种光合作用动
态研究[J]. 江苏农业科学,2012,40(3):67-69.
[9] 吕建林,陈如凯,张木清,等. 甘蔗净光合速率、叶绿素和比叶重
的季节变化[J]. 福建农业大学学报,1998,27(3):285-290.
[10] 蔡忠杰,宋仁本,邹剑秋,等. 辽宁省高粱育种工作的现状及展
望[J]. 杂粮作物,2002,22(1):11-13.
[11] 李金梅,张福耀,赵威军,等. 高粱 A2 类型 CMS 在我国的应用
[M]//张福耀,邹剑秋,董良利. 中国酿造高粱遗传改良与加工
利用. 北京:中国农业科学技术出版社,2009:69-73.