

黎大爵 廖馥荪 编著

甜高粱 及其利用

科学出版社



甜高粱及其利用

黎大爵 廖馥荪 编著

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

甜高粱在我国栽培历史悠久,但作为新兴的糖料、能源和饲料作物而大规模栽培时间还不长。

本书概述国内外甜高粱的发展情况,介绍甜高粱的植物学特征和生物学特性及遗传育种等方面的基本知识,着重描述甜高粱不同品种的特征特性、栽培管理技术,以及用以制糖、酿酒、制酒精的工艺流程。

本书可供农业、畜牧业,以及制糖、酿造、生物能源等领域的有关人员应用和参考。

甜 高 粱 及 其 利 用

黎大爵 廖毓荪 编著

责任编辑 潘秀敏

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

北京市朝阳区东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1992年8月第 一 版 开本: 787×1092 1/28

1992年8月第一次印刷 印张: 11

印数: 1—2 600 字数: 247 000

ISBN 7-03-002934-8/S·85

定价: 8.00 元

前 言

甜高粱在我国有着悠久的栽培历史,近年来成为新兴的饲料作物、糖料作物和能源作物。甜高粱适应性强,具有抗旱、耐涝、耐盐碱,对土壤和肥料要求不高,生长迅速,糖分积累快,生物学产量高等优点,因而引起国际上的广泛重视。许多国家相继开展了甜高粱的研究和开发。

为增加我国经济作物的种类和品种,中国科学院植物研究所北京植物园于1974年从美国引进优良的甜高粱品种‘洛马’和‘丽欧’,并同河北省科学技术委员会、河南省科学技术委员会协作进行示范推广试验,种植面积很快发展到数万亩,许多省区用土法或在现代化糖厂制出了结晶糖,为解决食糖供应紧张状况起到了一定的作用。近期甜高粱则多作为饲料作物进行栽培或作为酿酒原料,经济效益很高。目前,甜高粱已迅速发展至全国的24个省、市、自治区,仅北京、天津二市的栽培面积就达60 000亩¹⁾以上。

用甜高粱制糖的工艺日臻完善。1982年,美国利用一座日加工能力为2 000吨的现代化甘蔗糖厂加工甜高粱,在制糖工业的历史上又谱写了新的一章。同一个糖厂既加工甘蔗,又加工甜高粱,使糖厂的榨季延长2—4个月,解决了不用投资建设新糖厂也能大幅度地增产食糖的问题,这将给糖厂和附近的农民带来巨大的经济效益。

世界性的石油危机,激起了人们对再生能源的兴趣。甜高粱在生物量能源系统中是第一位竞争者,它的生物学产量为玉米和甜菜的两倍,加之甜高粱的成分又特别适于生产酒精,因而在国外甜高粱已成为人们拟用生物量生产能源的主要作物。美国、巴西、日本、印度尼西亚等许多国家和原苏联都积极主张扩大甜高粱的种植面积。

为赶上甜高粱研究的世界先进水平,满足我国社会主义建设事业蓬勃发展的需要和不断提高人民的物质生活水平,中国科学院植物研究所北京植物园近年又从国外引进一批高产、高糖、抗病的优良品种并在全国各地逐步推广。为使甜高粱迅速地应用到我国农业、畜牧业及食品、轻工、能源等部门并迅速发挥其经济效益,兹将近年来国内外有关甜高粱科研和生产概况、一些甜高粱新品种的特征特性,以及栽培管理技术等,编著成书,供有关读者参考。

甜高粱的引种试验得到中国科学院、国家计划委员会、国家科学技术委员会及中国科学技术情报所的大力支持与协助。有关高等院校及农、牧、轻工、食品部门的科研、生产单位也为本书提供不少宝贵的资料。吴应祥先生为本书的编写提出许多宝贵意见,许梅娟同志为本书绘图,谨此一并表示衷心的感谢。

因为甜高粱是一种新兴的农作物,在我国大规模栽培的历史尚短,我们对甜高粱的研究也还不够深入,同时限于作者的水平,书中的缺点和错误在所难免,敬希有关部门的专家和广大读者批评指正。

作者

1990年10月1日

1) 1亩=1/15公顷。

目 录

前言

第一章 甜高粱的起源、发展及应用前景	1
第二章 甜高粱的重要经济价值	6
第一节 新的能源用途	6
第二节 高产糖料用途	18
第三节 优良饲料用途	22
第三章 植物学特征和生物学特性	33
第一节 植物学特征	33
第二节 生物学特性	44
第三节 对环境条件的要求	49
第四章 甜高粱品种	56
第一节 中国品种	56
第二节 国外品种	62
第三节 甜秆粒用品种	76
第五章 栽培管理技术	78
第一节 整地播种	78
第二节 栽培管理	82
第三节 轮作	86
第四节 病虫害及其防治	86
第五节 再生甜高粱及其栽培	88
第六节 收获与贮藏	92
第六章 甜高粱的遗传育种	106
第一节 糖用甜高粱的遗传	106
第二节 饲用高粱的遗传	111
第三节 杂交育种技术	123
第四节 组织培养技术	124
第七章 加工和利用	125
附录一 观察记载项目及标准说明	144
附录二 中国甜高粱品种资源目录	146
附录三 观测锤度温度订正表 (0—40℃)	150
附录四 转光度 (蔗糖分) 因数检索表	152
附录五 汁液克来杰除数检索表 (20℃)	159
附录六 克来杰除数温度订正表 (4—35℃)	160
附录七 名词解释	161
参考文献	163

第一章 甜高粱的起源、发展及应用前景

甜高粱又称糖高粱、芦粟、甜秫秸、甜秆等，它是普通粒用高粱的一个变种，学名为 *Sorghum bicolor* (L.) Moench。有的资料也用 *Andropogon sorghum* Brot. var. *saccharatus* Alef. 或 *Sorghum saccharatum*。它与帚高粱 (*S. dochna*)、宿根高粱 (*S. halapense*) 以及苏丹草 (*S. sudanensis*) 近缘，都是多年生草本植物，但在冬天有霜冻的地区，不能露地过冬，因此只能做一年生作物栽培。

甜高粱同普通高粱一样，也能结出优良的籽粒，但产量通常较粒用高粱略低，一般亩产200—800千克。但甜高粱的茎秆比粒用高粱粗，植株也较高，茎秆多汁液且富含糖分。

甜高粱依汁液中蔗糖和还原糖所占比例的不同，又可进一步分为糖浆型甜高粱和糖晶型甜高粱。‘凯勒’(‘Keller’)、‘丽欧’(‘Rio’)、‘考利’(‘Cowley’) 等品种属于糖晶型甜高粱，汁液中主要含蔗糖，适于制结晶糖；‘泰斯’(‘Theis’)、‘特雷西’(‘Tracy’)、‘M-81E’ 等品种属于糖浆型甜高粱，宜用以生产糖浆。糖浆型甜高粱不能用以制结晶糖，因它的纯度太低，无法起晶；同样，糖晶型甜高粱也不能用以生产糖浆，因糖浆在贮藏过程中蔗糖会自行结晶从而降低糖浆的品质。

高粱是我国古老的作物之一，据甲骨文记载和考古学上的发现，有着悠久的栽培历史。但我国甜高粱栽培始于何时，尚不清楚。从我国甜高粱品种之丰富、分布范围之广泛和高粱栽培历史之悠久，我国有可能是甜高粱原产地之一。而从目前所掌握的资料来看，都认为甜高粱是从非洲传入我国的。

Winberry (1980) 认为，甜高粱是从东非传到中国、朝鲜、缅甸和沿海边区。甜高粱在非洲是一种具有五千多年栽培历史的古老作物，于公元前4世纪传入印度，公元4世纪传到中国，到公元5至8世纪经朝鲜半岛传到日本，甜高粱的传播是随着粒用高粱传播而传到世界各地的(曹文伯，1983)。

研究和利用甜高粱较先进的国家美国，其最早的甜高粱品种——‘中国琥珀’是1853年通过法国从中国上海崇明岛引进的。1851年，法国驻上海领事收集了‘中国北方甘蔗’

(即甜高粱)的种子至法国巴黎地理学会，并种在Toulon的花园中，只有一粒种子发了芽，他把收获的种子继续种植。1853年，美国纽约Flushing树木园主任William B. Prince接到来自法国的一些甜高粱种子并用以试验，他获得了成功并于次年出卖他所收获的种子，然而并没有马上广泛传播。1854年，美国专利办公室代理人Browne参观法国时，观察了法国栽培于Verieres的甜高粱，并注意到当地栽培甜高粱的气候条件与他们栽培玉米的气候条件类似，他进一步推论，甜高粱在美国栽培玉米的地区将会长得很好，随即将少量的种子引到美国专利办公室并将它作为一种作物于1855年、1857年和1858年进行了实验，美国专利办公室通过国会议员和美国《农学家杂志》将数千包种子

发送给对甜高粱有兴趣的农户。到1859年,美国农业部开始推广‘中国琥珀’品种甜高粱,同时又从南方和苏丹等地引入其它甜高粱品种,并用甜高粱生产糖浆。到1880年,美国甜高粱糖浆生产达到最高峰,年产量达到11 356 万升。此后有所下降。近数十年来,甜高粱糖浆的产量继续减少。据美国1975年农业调查报道,美国现在只有625个农场种植971公顷甜高粱用以制造糖浆。

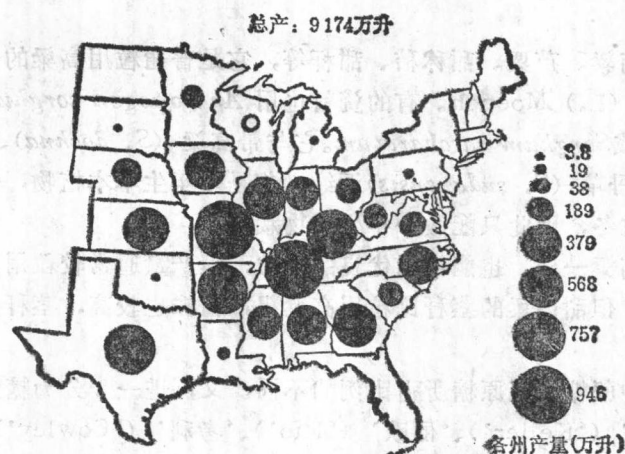


图 1-1 1890年美国各州甜高粱糖浆产量

甜高粱茎秆中含有丰富的糖分,但却未能成为一种重要的糖料作物,其主要原因是甜高粱汁液中淀粉和乌头酸的含量较高,占汁液中固形物的1.0—4.0%。胶状的淀粉物质妨碍蔗糖的结晶,乌头酸形成乌头酸盐,也破坏了结晶,妨碍糖晶体从糖蜜中分离出来。早期的甜高粱制糖工艺多用现成的甘蔗制糖技术,因而少有成就。

甜高粱的生产是因社会上的需要而不断发展的。第二次世界大战期间,美国食糖进口受到限制,因而促进了甜高粱优良品种选育工作的进展,Brandes即从事于这一工作。1961—1964年间,他将选育出来的品种和品系进行繁殖,1965年把‘Mer55-1’取名‘丽欧’,并向生产部门推广。由于甜高粱中蔗糖含量高以及抗病新品种的育成,促进了制糖工艺的研究,1969年,Smith发明了一种简便的清除甜高粱汁液中淀粉和乌头酸的方法,成功地生产出结晶。制糖工艺的发展反过来又促进了甜高粱优良品种的选育。1972年,育成并扩大栽培‘洛马’(‘Roma’);1974年推广‘拉马达’(‘Ramada’);1978年扩大栽培‘雷伊’(‘Wray’);1982年推广‘凯勒’(‘Keller’);1983年育成‘M-81E’;1984年育成‘贝利’(‘Bailey’);1985年育成‘考利’(‘Cowley’);1988年育成‘格拉斯尔’(‘Grassl’)和‘史密斯’(‘Smith’)。1982年,在美国路易斯安那州开始用日加工能力为2 000吨的现代化糖厂进行甜高粱的压榨试验并获得成功。

墨西哥国立制糖工业协会为发展制糖工业,1971年去美国得克萨斯州的威斯拉科考察甜高粱生产砂糖的情况。1972年1月种植了50公顷‘丽欧’,并于6月9日开始了第一次制糖试验,结果证明甜高粱秆可用普通的甘蔗压榨机组压榨而没有什么困难,利用比大生产质量稍差的原料进行的制糖工业生产试验是成功的。这样在经济上的主要效益是

可使糖厂的生产季节延长1—3个月,不用投资建设新的糖厂即可大幅度增加食糖的产量。

原苏联制糖工业者很早以前就对甜高粱发生兴趣,早在本世纪30年代就在《制糖杂志》上刊登了“糖高粱是制糖工业的原料”等文章。到1958年,原苏联甜高粱的种植面积已达110万亩,并制定了10个甜高粱品种的栽培区,其中包括推广汁液糖分高达16—18%的7个高糖分品种。甜高粱不但在原苏联南部和东南部得到高产,而且在黑土地地区以及西伯利亚也能获得高产。他们认为,甜高粱是耐旱作物,在那些不适宜种植其它糖料作物的干旱地区种植甜高粱很有前途,特别是对那些非产糖地区,可以大规模推广种植甜高粱,以满足该地区对食糖的要求。原苏联也曾从中国引进甜高粱品种,1947年在亚美尼亚种植‘813号中国琥珀’品种甜高粱,且产量非常高,亩产7 304千克青料,折4 350千克秆(秆占青料的60%)。原苏联的科研部门和育种站对甜高粱进行了不断的选育,已经选育出一些早熟、耐旱、高糖分的品种,并积极主张推广甜高粱的播种面积。

意大利也积极进行甜高粱的栽培和制糖试验,包括实验室的和小型实验工厂的试验,在糖结晶的试验中没有遇到困难(Accorsi等,1981),故认为甜高粱有用以制糖及制酒精的可能性。

澳大利亚于19世纪末从美国引入大量的甜高粱品种,主要用作饲料,选、育种工作也围绕着这一目的。1976年饲用高粱的种植面积达155万亩。在昆士兰南部及新南威尔士等甘蔗易遭霜冻的地区,曾用甜高粱作为一种大有开发潜力的糖源进行过试验。1972年Ferraris同昆士兰Bureau甘蔗实验站合作开始了甜高粱农学特性及汁液特性的研究。试验表明,甜高粱将是其它糖料作物潜在的竞争者(Ferraris等,1979)。为选择出高产、高糖的品种,在北昆士兰的Ayr地区对37个锤度最高的品种进行了评价。结果表明,固溶物(锤度)产量最高的品种每亩达827千克(包括再生高粱),从可发酵物质的生产率看来,可与该地区的甘蔗相媲美(Ferraris,1981)。

1975—1976年,以色列为确定将甜高粱作为一种糖料作物进行了一系列的试验研究,结果表明,甜高粱的汁液质良好,每亩可产糖230—333千克(Blum等,1977)。

在南非的纳塔尔,Inman-Bamber(1980)对甜高粱作为一种糖料作物进行了评价,结果‘洛马’的产量最高,每亩产糖达227—294千克。尽管甜高粱在该地区的表现同甘蔗一样,都非常好,但在较干旱、较暖和的蔗区边缘栽培甜高粱将更为有利。

印度尼西亚对甜高粱的栽培及其利用也进行了研究,认为从它的汁液中获取酒精比从甘蔗来得容易。甜高粱作为糖厂的补充作物,特别是用以生产酒精燃料,其前景将是光明的。

巴西非常重视甜高粱的试验研究,积极开展新品种的选育工作并取得了显著的成就。先后育成了‘BR-500’至‘BR-504’(Bertholdi等,1979)以及‘BXH 28-3-2’,‘BXH 34-3-1’(Raupp,1980)等许多优良品种,并开展了“国家甜高粱试验”

(Bertholdi等,1979,1979)。自1980年以来,EMBRAPA已用甜高粱和甜菜在Pelotas的小酒坊中加工酒精(94—96°)燃料,供发动机用。在每年的11月至翌年1月加工甜菜,每亩可产酒精120升,2—5月加工甜高粱秆,平均每亩产147升酒精;每年的其它时间用高粱籽粒生产酒精,每亩可产酒精27升。巴西还计划用2%的土地栽培甘蔗、木薯和甜高粱,用以生产酒精,以解决能源问题。

阿根廷也在研究将甜高粱作为一种糖料作物的栽培、收获、制糖和生产酒精的方法

(Ayala等, 1981)。阿根廷农业-工业实验站的试验表明,每亩能产200千克籽粒和200千克糖。甜高粱碳水化合物的产量为玉米的二倍,将其茎秆汁液和籽粒均用以制造酒精,每亩可达87—120升。

此外,意大利、波多黎各、印度、法国、日本、新西兰等国也在积极开展甜高粱的引种栽培及加工工艺的研究,以解决食糖和能源问题。

甜高粱在我国虽有悠久的栽培历史,但因近期在新品种的选育上缺乏深入的研究工作,因而现有的甜高粱品种经济性状较差,未能满足生产上的要求。

1973—1974年,国外糖价暴涨,一年之间长了6倍。我国食糖供应也十分紧张,为解决人民生活之急需,增加我国糖料作物的种类和品种,中国科学院植物研究所北京植物园在国家计划委员会和中国科学技术情报研究所的大力支持协助下,从美国引进了甜高粱品种‘丽欧’、‘洛马’种子共400千克。在各省科学技术委员会及科研、生产单位的大力协同下,使甜高粱的生产试验初获成功。如河北省永清县北岔口大队种‘丽欧’9.46亩,亩产粮食220.2千克和茎秆2000千克。河北省乐亭县前沙铺大队种甜高粱213亩,制糖收入15509.46元,纯收入4116.16元,用废糖蜜制酒每亩纯收入9.02元,制醋每亩收入4.49元。由于“甜高粱适应性强、既产糖、又产粮,还可以搞综合利用”,因而很快传播至天津、山东、山西、陕西、宁夏、湖北、江西、安徽、云南、四川、广东等许多省、市、自治区,其中以河北、河南最多,甜高粱种植面积曾达八九万亩。

在甜高粱迅速发展的时候,由轻工业部甘蔗糖业科学研究所海南甘蔗育种场用高粱与甘蔗杂交育成的高粱蔗于1976年进入扩大试种阶段,形成了甜高粱与高粱蔗同时发展的趋势。高粱蔗的种植面积以品种‘7418’较大,主要分布于陕西、湖北、四川等地;高粱蔗3号集中在陕西的商洛地区。高粱蔗1号、6号在中原地区也有不同程度的集中分布。实践证明,甜高粱品种‘丽欧’的农艺性状、蔗糖分及纯度较当时的高粱蔗好些。在引进的品种‘糖滴’(‘Sugar drip’)、‘蜂蜜’(‘Honey’)、‘阿特拉斯’(‘Atlas’)、‘洛马’、‘丽欧’、‘拉马达’(‘Ramada’)中,也以‘丽欧’为好,表现在适应范围较广、农艺性状较稳定、籽粒米质较好、茎秆中的蔗糖糖分、汁液纯度、糖的结晶率乃至最后的出糖率均较高。在当时蔗糖奇缺的情况下,每亩甜高粱既可收150—250千克粮食,又可产200—250千克糖浆,因而深受群众欢迎,加之甜高粱的繁殖系数大,故很快在各地迅速发展起来。

当时,由于在栽培上没有很好地解决延长加工季节等问题,也没有较成熟的用现代化糖厂加工甜高粱的工艺流程,因此未能将群众种甜高粱的积极性引导到正确的方向并持久地保持下来。多数单位仍用开口大锅熬煮,效率极低,致使甜高粱的种植面积锐减。在实践当中,也有不少单位和一批中小型糖厂摸索出一套用甜高粱制糖浆、结晶糖、酒、醋、纤维板和造纸的工艺。如河北乐亭县前沙铺大队机制糖厂用甜高粱秆制糖,1979年加工甜高粱茎秆290吨,产糖率3—5%,产品质量基本上符合轻工业部颁发的标准。河北省科学技术委员会于1980年1月6—10日主持召开了“甜高粱栽培、制糖及综合利用”阶段性成果鉴定会。河南省近年来则侧重于将甜高粱作饲料和用以酿酒,经济效益较高。如郑州种畜场1982年栽培甜高粱品种‘丽欧’,收刈二茬,亩产鲜草8279千克。河南商丘平台酒厂1982年种植103亩‘丽欧’甜高粱,制得白酒22100千克,相当于55000多千克粮食的产酒量。1983年,河南省农业科学院粮食研究所为此还主持召开

了“糖高粱学术讨论及成果鉴定会”。

轻工业部对发展甜高粱极为重视，1978年给甘蔗糖业科学研究所下达了“甜高粱制糖工艺”的研究任务。1972年和1978年，该所用加工能力为200吨/日的糖厂进行试验，第一期加工‘7418’的茎秆7653吨，制得赤砂糖3.62吨，产糖率达4.74%；第二期以‘7418’兼用少量的‘丽欧’，实产赤砂糖10.97吨。1980年又试验了糖浆上浮澄清法，该工艺设备简单，操作容易，效益明显，为糖用高粱制糖技术的改进提供了新的途径，为现代化糖厂加工甜高粱以生产白糖积累了经验。

当前，我国大面积栽培甜高粱者以饲料为多，已推广到全国24个省、市、自治区，仅北京、天津二市面积就达6万亩以上。然而甜高粱的当家品种‘丽欧’，毕竟是60年代的推广品种，自1974年引入我国，经多年传播，种子纯度也已有所下降，目前，畜牧业要求有生物学产量高的优良品种，制糖工业则要求“茎秆含糖分高、榨出汁液纯度高”的“高糖、高产和种性稳定的优良品种”。为满足产业部门的迫切需要，中国科学院植物研究所北京植物园近年又从国外引进‘萨尔特’（‘Sart’）、‘泰斯’、‘凯勒’、‘雷伊’、‘M-81E’、‘贝利’、‘考利’、‘史密斯’等品种，其中‘M-81E’已在天津通过鉴定，在北京，‘M-81E’已成为当家品种。这批新的优良品种，对于促进我国农业、畜牧业、制糖、酿造、酒精工业的发展，将起着举足轻重的作用。

我国是一个人口多而耕地少的发展中国家，非常适于甜高粱的生产。1983年，我国高粱播种面积4205万亩，占世界的6%，但总产量却占全世界的16%，单位面积产量为世界平均产量的3.7倍，说明发展甜高粱是我国农业生产中的一大趋势。如果我们用甜高粱和甜秆粒用高粱全部替换现有的高粱，粮食的产量可望保持在现有的水平上，但每亩却可多产2000—5000千克甜秆，假设亩产仅3000千克，汁液的锤度只有19%，4205万亩便可产1294万吨可发酵的糖，每吨糖产582升酒精，即可产75亿升酒精。甜高粱茎秆含纤维14—18%，可以用来造纸，制纤维板，也可转化成为酒精，亩产500千克纤维可生产出138升酒精，4205万亩便可产58亿升。仅用茎秆生产的酒精达133亿升，这无异于一个可再生的“地面油田”。

假设我国农业机械作业所需燃料为每亩7升酒精。这133亿升酒精即可供19亿亩耕地机械作业用能，而我国1983年全国耕地面积尚不足15亿亩。

甜高粱将以它极高的生物量和适应性生长在我国南北各地，为我们提供食物、饲料、能源和各种各样的化学品，实为不可多得的优良作物。

第二章 甜高粱的重要经济价值

第一节 新的能源用途

光合作用是地球上利用太阳能的最重要的生化过程。最初，它曾为石油、天然气的形成提供了原料，现在继续为人类提供一切食物和燃料。在植物的光合作用中，每同化44克二氧化碳，便获得相当于469千焦的能量，以化学能的形式贮藏于光合产物中。在自然光照条件下，光合作用的光能转化率为18.7—28.0%，而目前最好的光电池的能量转换率也只有15—19%（刘振业等，1984）。绿色植物每天所贮藏的能量为目前世界消费量的17倍。据估计，地球上每年由光合作用产生的生物量可为1400—1800亿吨。因而许多国家积极开展对可再生资源的研究和开发利用。

巴西现在已组织了一个发展酒精汽车燃料工业计划，最初预算产量为每年生产约320亿升酒精，现在的计划为每年生产约112亿升。

美国也制定了酒精生物量的生产计划（表2-1）。美国能源部还在北达科他、纽约、亚利桑那、佐治亚、得克萨斯和内布拉斯加州等建立了7个减少矿物燃料消耗的示范农场，以利用现代科学技术和当地资源，逐步做到在示范农场内的全部能源自给自足。设于内布拉斯加州立大学的试验农场里开展了“利用甜高粱制酒精作为代用燃料”和“利用生产酒精过程中所产生的余热供温室采暖，所产生的二氧化碳促使温室中的蔬菜增产”等7个研究及推广项目。该示范农场已做到使每公顷大地所消耗的柴油由原来的19升减

表 2-1 美国酒精用生物量生产计划 (单位：100万吨干物质/年)

生物量	1980		1985		1990		2000	
	量	%	量	%	量	%	量	%
木材	499	61	464	56	429	49	549	48
农业副产品	193	23	220	26	240	28	278	24
谷物	38	5	38	5	28	3	23	2
玉米	22		20		8		—	
麦类	12		15		17		20	
粒用高粱	4		3		3		3	
糖料作物	—	—	8	1	69	8	172	15
甘蔗	—	—	3		13		13	
甜高粱	—	—	5		56		159	
城市垃圾	86	10	92	11	99	11	116	10
食品加工副产品	6	1	7	1	8	1	10	1
桔子类	2		2		3		4	
干酪	1		1		1		2	
其它	3		4		4		4	

少到8升,该农场自1980年建场以来,已取得明显的效果。并于1982年正式同该州农民示范推广(鲁楠,1983)。

日本新能源综合开发机构制订了中长期开发计划,其中也包括了酒精生物量利用技术的开发。1984年已完成了生产能力为10万吨/年的甜高粱酒精工厂的设计工作。

法国拟用生物量代替17%的汽油,并积极筹建世界上第一家生物量转换工厂,主要生产一种阻止甲醇在水中分解的丙酮-丁醇添加剂,6吨玉米秆就可制1吨添加剂。法国的绿色能源规划拟定,到2000年,绿色能源使用量将达到1000万吨消耗量。

在生物量开发利用中,有希望成为能源植物的种类很多,诸如灰白银胶菊(*Parthenium argentatum*)、西蒙得木(*Simmondsia chinensis*)、臭瓜(*Cucurbita foetidissima*)、紫心木(*Copaifera lanquedorffii*)、续随子(*Euphorbia lathyris*)和牧豆树(*Prosopis cineraria*)等。Prine等介绍了在美国佛罗里达州栽培和能满足能量需要的一年生和多年生草本植物,其干物质产量的范围从甜高粱的每公顷53吨至车轴草(*Trifolium subterraneum*)和大豆的每公顷7吨。此外,还可以利用作物的残余物和杂草,诸如苋属的一些种和钝叶决明(*Cassia obtusifolia*)。但目前最受重视,见效较快的途径是从生物量生产酒精,生产酒精的作物则又以糖料作物和淀粉作物为主,而最有前途的还是糖料作物。

人们在寻找能源作物时,必然从现存的能源效益高的作物开始。目前有一定基础且有较大面积的作物就是甘蔗、甜菜和甜高粱。

一、作为能源的几种糖料作物的比较

甘蔗栽培历史悠久,生长期长(7—24个月),产量高,多栽培于湿润的热带地区。甜菜宜栽培于温带,种植甜菜时通常用育苗移栽,较费劳力,病虫害也较严重,也没有足够的纤维可产生蒸气、电力以加工糖或酒精,但它的残余物可以作为很好的饲料。

甜高粱类似甘蔗,以茎秆作为贮藏糖分的器官,它含有相当可观的糖和丰富的纤维,可生产蒸气以加工自身,然而甜高粱与甘蔗显著不同之处在于它用种子繁殖,而无需像甘蔗那样,每亩耗费约750千克茎秆作为种苗,并且它的生长期极短,只需3—6个月。由于它具有一些特有的生理学、农学特性,使它能在广阔的地理范围内作为一种多用途的作物得以发展。这几种糖料的异同比较见表2-2(Lipinsky等,1982)。甘蔗和甜高粱茎秆及汁液成分见表2-3。

甜秆粒用高粱是最近几年才开始研究的粮、糖兼用高粱,籽粒的产量与普通粒用高粱差不多,每亩除可产133—400克淀粉外,还可产1500—3000千克甜秆,虽然茎秆的产量较甜高粱低,但它对环境条件的要求与粒用高粱更为相似。尽管对甜秆粒用高粱进行试验研究时间尚短,但初步的试验结果却令人满意。甜秆粒用高粱在我国,特别是在我国高粱主要产区将有极其广阔的发展前途。若将我国现有4000万亩粒用高粱全部改种甜秆粒用高粱,每亩以1500千克茎秆计算,大约可产175升酒精,每年全国可增加70亿升酒精,而这个数字达到了我国现在酒精产量的17倍。

Riddle(1979)研究了美国用糖秆作物生产酒精燃料的可能性,估计到2000年将用甘蔗和甜高粱生产190—379亿升酒精。在美国南部栽培甘蔗和甜高粱而在北部各州只

表 2-2 几种糖料作物异同的比较

项 目 \ 作 物	甘 蔗	甜 菜	甜 高 粱
1. 植物学的科	禾本科	藜科	禾本科
碳固定途径	C ₄ 途径	C ₃ 途径	C ₄ 途径
2. 蔗糖贮藏器官	茎秆	根	茎秆
3. 繁殖方法	切条、每3—12年	果实或种子	种子
4. 所需温度	适应热带气候 (21—40℃), 霜冻有很大的危险	适应温带气候 (16—28℃)	适应热带气候 (18—40℃)
5. 对水分的要求	产1吨可加工茎秆需3厘米雨量, 获丰产需150厘米雨量	多于50厘米雨量	需45厘米雨量
6. 对土壤的要求	轻砂壤至重粘土, pH4.5—8.0	壤土至重粘土, pH6.0—7.5, 在酸性土中表现差	壤土至砂壤土相当耐盐碱
7. 生长期长度	8—24个月	6—10个月 (二年生的)	3.5—6个月
8. ①平均产量 (鲜重)	56—100吨/(公顷·年)	80吨/(公顷·年)	33—44吨/(公顷·每年)
②平均产量 (干重)	15—27吨/(公顷·年)	6.6吨/(公顷·年)	10—13吨/(公顷·每年)
9. 可能的产量 (鲜重)	160吨/(公顷·年)	65吨/(公顷·年)	120吨/(公顷·6个月)
10. 糖分贮藏器官的典型成分	水分=73%, 固溶物=13% 纤维=14%	水分=78%, 固溶物=16% 纤维=6%	水分=70%, 固溶物=12% 纤维=18%
11. 固溶物的典型成分	蔗糖=85%, 葡萄糖=3.5%, 果糖=3.5%, 非发酵物=8%	蔗糖=75%, 葡萄糖=4%, 果糖=4%, 非发酵物=17%	糖=70%*, 非发酵物=30%

* 甜高粱的蔗糖与转化糖因糖晶型或糖浆型品种的不同而异, 也因蔗糖合成及贮存期间环境条件的不同而有很大差异。

表 2-3 甘蔗和甜高粱成分的比较

成 分	占茎秆重的百分率(%)	
	甘 蔗	甜 高 粱
蔗 糖	12—16	9.0—12
还原糖(葡萄糖和果糖)	0.2—1.5	1.0—4.0
总的可发酵的糖 (以葡萄糖%表示)	13—17	12.0—16.5
纤 维	9—13	14.0—17.0
水 分	70—73	84.0—75.5
籽粒成分		
淀粉		65—65
总的可发酵的糖 (葡萄糖表示)		1—2
水分		12—15

栽培甜高粱。Kresovich等 (1979) 通过对糖料作物作为一种潜在的能源的再评价, 认为到2000年它有可能生产出350万亿焦的能量, 大约占美国所需能量的3%。而用玉米生产酒精是没有吸引力的。

二、成本的估计

Nathan (1978) 对从糖料作物 (甘蔗、甜高粱、甜菜) 生产燃料和化学品在技术和经济上的可行性作了广泛的分析, 其结论是: 用甜高粱生产酒精和氨最有希望; 用其汁液或糖蜜发酵生产酒精在经济上已接近于有竞争能力, 用以生产氨尚没有竞争能力, 但其成本已可同用煤制氨相竞争。在中近期内, 甘蔗最有希望, 但从较长远的观点看, 最有希望的还是甜高粱。

美国有关甜高粱的评价和巴西用它做酒精的技术表明: 在生长期长的地方, 用甜高粱生产酒精是非常经济的。降低生产成本的关键在于增加发酵精料中的酒精浓度 (Lipinsky, 1977)。

对从甘蔗、木薯、甜高粱、木材生产酒精的能量平衡, 已在巴西和美国作了比较, 估算表明, 在巴西生产酒精的成本已同其汽油不相上下。

现将巴典型的甘蔗成分和甜高粱的成分列于表2-3。

甘蔗的总的可发酵的糖比甜高粱略高, 但甜高粱的纤维比甘蔗高。甘蔗的产量较高, 但甜高粱的生长期短, 在热带地区一年可收割二次, 加之甜高粱还可收获籽粒, 因此, 单位面积的酒精产量比甘蔗还高。若按表2-3的甜高粱成分计, 1吨甜高粱茎秆可产78.5升酒精, 1吨甜高粱籽粒产396升酒精, 每年收二次的话, 每公顷每年可产6106升酒精 (表2-4), 其单位面积年产量和月产量为甘蔗的113% (Knowles, 1984)。

表 2-4 甘蔗和甜高粱产量的比较

糖料作物		产量周期 (年)	收获次数	总产量 (吨)	茎秆产量		酒精产量	
					吨/(公顷·年)	吨/(公顷·月)	升/(公顷·年)	升/(公顷·月)
甘 蔗		4	3	180—240 210*	45—60 52*	4.3—4.7 5.0*	4680	450
甜高粱	茎秆	1	2	45—60 52.5*	46—60 52.5*	3.75—5.0 4.4*	4126	345
	籽粒			3.5—6.5 5*	3.5—6.5 5*	0.29—0.54 0.42*	1980	166
	合计						6106	511

* 平均产量。

表2-5为巴西已开发的一些作物在农业上的能耗, 包括耕地、整地、收获和将原料从20公里外的农场送到工厂。甜高粱的能耗最高是因为它每年收获二次。表2-6表示一些作物用作生产酒精原料在加工时的燃料消耗。甘蔗每吨所收获的生物量的干纤维为110千克, 实际应用时, 含有50%的水分的纤维 (其热值为7531千焦/千克) 被用作锅炉的燃料。每千克蔗渣可生产2.4千克蒸气, 而每升酒精产5.9千克蒸气, 用茎秆渣生产的蒸气量足供工业加工。而玉米、木薯在这方面却无法与甘蔗和甜高粱相比。

用一些作物作原料加工成酒精的能耗见表2-6。

表 2-5 巴西已开发的一些能源作物在农业中的能耗

能量消耗	作物				
	甘蔗 〔兆焦/(公顷·年)〕	木薯 〔兆焦/(公顷·年)〕	甜高粱 〔兆焦/(公顷·年)〕	玉米 〔兆焦/(公顷·年)〕	桉树 〔兆焦/(公顷·年)〕
劳 力	—	—	—	—	—
机 械	1 681	1 167	3 293	272	117
燃 料	9 368	6 238	17 644	4 092	1 791
氮(N)	2 874	1 452	6 966	2 427	151
磷(P ₂ O ₅)	372	188	837	448	
钾(K ₂ O)	402	222	556	113	
石 灰	155	209	209	343	247
种 子	787	494	96	96	
杀 虫 剂	13	100	607	—	
除 草 剂	230	100	402	289	2 305
合 计	15 882	10 171	30 623	8 117	

表 2-6 一些作物加工成酒精的能耗

原 料	能(千克蒸气/升酒精)	原 料	能(千克蒸气/升酒精)
甘 蔗	5.5	玉 米	6.5
木 薯	6.5	桉 树	2.5—13
甜 高 粱	5.5	松 树	

生产1升酒精所需的总的能量见表2-7。

表 2-7 酒精产量和已开发的一些作物的能耗

作物	酒精产量 (升/公顷)	在农业方面所需总能 〔兆焦/(公顷·年)〕	除燃料外工业上所需能量 〔兆焦/(公顷·年)〕	所需总能 〔兆焦/(公顷·年)〕	每升酒精能耗 (千焦/升)
甘 蔗	4 700	15 882	9 222	25 104	5 356
木 薯	1 790	8 519	3 515	12 033	6 715
甜 高 粱	6 106	30 610	12 092	42 702	7 008
玉 米	883	7 577	1 736	9 314	10 711
木材(桉树)	1 700	2 305	3 343	5 607	3 330

从表2-7酒精产量一栏可以看出，木薯、玉米和木材的工业加工都不如甘蔗和甜高粱经济。显然，除木材外所有的作物在农业方面的能耗是主要部分。在美国，提取和精炼高质量的汽油每升接近8 368千焦。值得提出的是国情不同，生产酒精的能耗也各不相同。在美国生产1升酒精所需的能量为19.2兆焦，而在巴西仅为7.9兆焦（Moreira等，1981）。

麦克卢尔T.A.等(1980)列出了供应一间制造7 571万升的酒精工厂所需的原料：设每吨可发酵的糖生产515升无水酒精，一间生产能力为7 571万升的酒精工厂需147 100吨可发酵的糖。假定每亩产544千克糖，则需种273 150亩甜高粱才能满足该工厂的需要。设

该厂附近以20%左右的土地种植甜高粱，甜高粱茎秆从田间运往工厂的最大运输半径将近16—18公里。他们估计了种植1亩甜高粱的近似总值（表2-8），茎秆中可发酵的糖价值43.5美元，外皮纤维15.2美元，肉髓纤维11.4美元，叶、籽粒、穗梢作青饲料价值23.7美元，这样1亩甜高粱总价值为93.7美元，而目前美国中西部地区农场的玉米和大豆的大致收入仅为每亩32.9—49.2美元。由此看来，甜高粱将是一种非常有发展前景的作物。

表 2-8 每亩甜高粱的估计产值

组 分	产 量 (吨)	每吨干物质 (美元)	总 价 值 (美元/亩)
可发酵的糖 (茎秆)	3.3	80	43.5
外皮纤维 (茎秆)	2.3	40	15.2
肉髓纤维 (茎秆)	2.3	30	11.4
叶 片 (青饲料)	2.5	40	23.7
籽 粒 (饲料)	0.3		
脱粒后的末梢 (青饲料)	0.8		
合 计			93.7

美国学者Riddle (1979) 估计了用糖料作物生产酒精燃料的三种发展前景，第一种即最乐观的估计，到2000年，用甘蔗和甜高粱生产379亿升酒精，每升酒精的可发酵的糖的成本为0.26美元；第二种即最悲观的估计，生产189亿升酒精，每升酒精的可发酵的糖的成本为0.42美元；第三种为介于这二个极端之间。如考虑其副产品的附加收入，其成本还会大大下降。

Lipinsky和Kresovich (1980) 对甜高粱生产酒精的成本作了分析，采用糖浆型品种和常规的种植行距（宽行），每亩可产494千克可发酵的糖，每吨可发酵的糖生产530升酒精，这样每亩可产262升酒精。每升酒精的粗原料的成本为0.18—0.2美元。而用甜菜生产每升酒精的粗原料的成本为0.34美元，比甜高粱高65—85%。虽然甜菜渣是很好的饲料，但甜高粱蔗渣则是加工糖和酒精的优良燃料。

鲁楠 (1985) 对用甜高粱制取酒精的经济效益作了分析，假设每亩产甜高粱茎秆1000—1500千克，每亩茎秆可制酒精175升，相当于140千克，若每500克酒精按5角钱计算，籽粒按1角钱计算，则每亩产值可达200—250元，比玉米或高粱亩产值的160元要高近百元。种植300亩甜高粱并制取酒精，年产值6万元，净盈利可达2万元，建立酒精发酵和蒸馏装置约需4万元，两年即可收回投资。若采用新的优良品种和新的发酵工艺，酒精产量还可成倍增加，经济效益将更加显著。

辽阳千山酒厂拟建一间年产3000吨的酒精厂，对其经济效益作以下分析：

生产1吨酒精需高粱秆18.2吨，计1092元	
酵母	50元
水、煤、电	86.5元
人工费、设备折旧费、企业费	225元
税金	135元
合计	1588.5元
生产1吨酒精价值	1350元
副产品二氧化碳	350元

废秆渣	200元
合计	1900元

这样，生产1吨酒精利润为：

$$1900 - 1588.5 = 311.5 \text{ (元)}$$

$$\text{全年利润} = 311.5 \times 3000 = 93.45 \text{ (万元)}$$

$$\text{全年税利} = 93.45 + 40.5 = 133.95 \text{ (万元)}.$$

如能将废秆渣的纤维素也转化为酒精或用以制成纤维板，其效益将会更高。

因此，在有现成制造酒精设备而又缺乏原料的地方用甜高粱作原料生产酒精必将会产生显著的经济效益。

二、高能作物

甜高粱的单位面积生产效率极高。据美国Miller的研究，每生产1单位干物质所投入的能量相对来说比玉米、水稻等作物都少，其投入与产出比为1:4。

种植甜高粱生产酒精，其单位面积生产效率更高，每亩甜高粱每天合成的碳水化合物可生产3.2升酒精，而玉米只能生产1升，小麦0.2升，普通高粱0.6升（星川清亲，1982）。

在北京地区，甜高粱生长速度极快。如品种‘凯勒’从7月1日—8月2日的32天中茎秆可生长227.5厘米，平均每天伸长7.1厘米；品种‘雷伊’，从7月20日至26日间，平均每天伸长可达12厘米。

甜高粱生物量一般可为甜菜和玉米的两倍，系属生物量能源系统中的第一位，所以称甜高粱为“高能作物”。

在耕地面积有限的条件下，种植光合速率高、光呼吸强度低、能充分利用光热资源的作物是最佳的选择，而甜高粱正好具备这些条件。

三、甜高粱的产量

甜高粱因用途不同，其所利用的植株部位也各不相同，现将一些地区甜高粱生产或产量试验结果介绍于后：

1. 青贮饲料产量

作为青贮饲料作物栽培，不但要求饲料的粗蛋白和营养可消化性要高，而且也要求高的鲜生物量。在饲料作物中，甜高粱可以满足这一要求。

1987年，原苏联栽培甜高粱品种‘Slavropolskoe59’，亩产青饲料3311千克（Volodin, 1987）。

1986年美国栽培的甜高粱杂种N39×Wray，青饲料的产量达5523千克/亩（Clegg等，1986）。

1986年在德国的甜高粱品种试验中，有一个品种，二年平均亩产鲜生物量7333千克，另一个品种的产量竟达11267千克（El-Bassam等，1987）。

1979年，我国河南郑州种畜场在地力相同的相邻两块地上，种植玉米，亩产1232