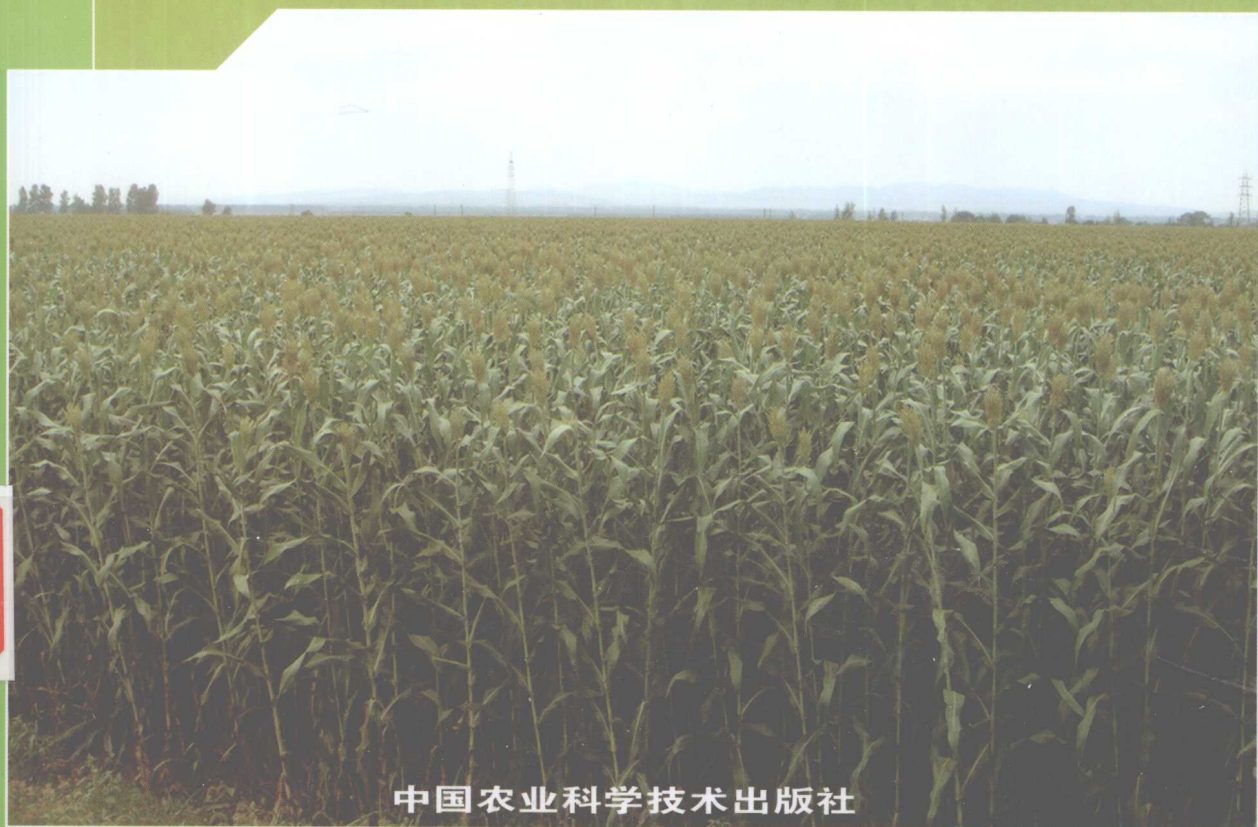


# 甜高粱

卢庆善 主编



中国农业科学技术出版社

# 甜高粱

卢庆善 主编

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 ( CIP ) 数据

甜高粱/卢庆善主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2008. 4

ISBN 978 - 7 - 80233 - 495 - 3

I. 甜… II. 卢… III. ①甜高粱 - 栽培②甜高粱 - 加工  
IV. S566. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 016892 号

责任编辑 冯凌云

责任校对 贾晓红 康苗苗

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)68919704(发行部) (010)62150862(编辑室)  
(010)68919703(读者服务部)

传 真 (010) 62189012

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京华正印刷有限公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 17. 875

字 数 400 千字

版 次 2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

定 价 66. 00 元

# 前 言

来自世界各地的研究报告表明，甜高粱作为新兴的糖料、饲料和能源作物越来越受到人们的重视，越来越引起一些国家政府和国际组织的关注。

甜高粱同粒用高粱一样，是  $C_4$  作物，光合效率高，生物产量高。按日计算，甜高粱的干物质积累速率最高；按单位饲料能比计算，甜高粱的饲料量最高，超过甘蔗和玉米青饲料和籽粒。因此，甜高粱是光合效率、生物产量最高的作物之一。

甜高粱起源于干旱、炎热、瘠薄的非洲大陆。恶劣的生境条件使甜高粱具有很强的抗逆境能力，与其他禾谷类作物比较，甜高粱更为抗旱、耐涝、耐盐碱、耐瘠薄、耐高温、耐干热风等。因此，可以在边际性土地上种植。

甜高粱用途广泛，首先是作饲料。因为甜高粱生物产量最高，国外最高单产为每公顷鲜重 169 005kg，我国也达到每公顷 157 500kg。一般每公顷产量在 60 000~90 000kg 之间，比玉米高出 0.5~1.0 倍。而且，由于甜高粱具有很强的再生力，在无霜期长的地区通过再生栽培，一年可种 1 次而收获 2~3 次，其单位面积产量就更高。

甜高粱茎秆中的糖汁榨取后可以生产糖浆和结晶糖。1969 年，美国化学家 Smith B. A. 成功研究出从甜高粱生糖汁中除去淀粉和乌头酸的技术生产出结晶糖。此后，美国、墨西哥、印度尼西亚、前苏联、印度、中国等许多国家都用甜高粱生产高粱糖。

植物的光合作用是地球上最重要的生物化学和能量转化过程，绿色植物是太阳能的主要聚集者，据估算，全球每年由光合作用产生的生物质为 11 440 亿~11 800 亿 t。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化率只有 15%~20%。因此，生物质能源的研究与开发是最具发展潜力和前景的，具有很大的发展空间。

在世界矿质能源愈来愈匮乏的情况下，生物质能源的研究与开发日益紧迫。甜高粱作为生物质能源作物无疑显示了诱人的前景，甜高粱茎秆中的糖经生物发酵转化为乙醇，乙醇混合到汽油中成为燃料。欧共体经过 17 年对生物质能源的研究认为甜高粱是最有希望的生物质能源作物。研究表明，每公顷甜高粱可生产乙醇 6 106 L，甘蔗 5 680 L，木薯 5 332 L，甘薯 4 855 L，玉



米 2 986L, 水稻 2 434L。

甜高粱是粮、糖兼用作物,而且只有在籽粒成熟时,茎秆中的糖含量才达到最大值。因此,二者同步达到最高产。由于甜高粱用途多,可以进行综合开发利用,其籽粒可食用、酿酒用或作饲料;茎秆富含糖分,可制酒或燃料乙醇;叶片和制酒(乙醇)后的酒糟可饲喂奶牛,增加产奶量;牛粪等垃圾可用于生产沼气,沼气用于发电、做饭、照明或用于温室、塑料暖棚蔬菜和花卉生产补充光能;沼肥还田可提高土壤肥力;从而形成农业、畜牧业、农村能源、可持续发展的甜高粱生态农业良性循环模式。

2006年8月,国务院召开了全国生物质能源工作会议,强调要大力发展生物质能源。会议提出,我国发展生物质能源要与促进农村经济相结合,要与改善农民生活条件相结合,要与保护生态环境相结合,要与保证粮食安全相结合;做到非粮替代,不与粮争地,不与民争粮,合理利用劣质土地。

粮食、能源和环保是21世纪人类面临的重大课题,而大力发展甜高粱生产,既可生产籽粒用作粮食,又可利用含糖茎秆生产燃料乙醇用作能源,而燃料乙醇是绿色能源,不会对环境造成污染,有利于保护环境。目前,我国从政府部门到科研单位和企业都在关注和开展甜高粱生物质能源的研究开发,形势如雨后春笋。然而,甜高粱是一种新兴作物,研究缺乏系统性、广度和深度,为了满足广大读者对甜高粱有关知识的渴求,我邀请了从事高粱研究的同事,在尽量搜集现有甜高粱资料的基础上,较系统地编著了《甜高粱》一书,希望能给读者提供一些有参考价值的素材,有所收益。由于作者水平和资料的限制,书中错谬在所难免,敬请读者赐教。

卢庆善

2007年4月10日于辽宁省农业科学院

(沈阳 东陵 110161)

# 目 录

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 第一章 甜高粱生产的经济意义 .....      | (1)  |
| 第一节 糖料用途 .....            | (1)  |
| 一、甜高粱制糖发展概述 .....         | (1)  |
| 二、甜高粱是我国有发展潜力的糖料作物 .....  | (2)  |
| 第二节 饲料用途 .....            | (3)  |
| 一、饲用甜高粱发展概况 .....         | (3)  |
| 二、甜高粱是优质饲料作物 .....        | (6)  |
| 三、甜高粱饲料种类及加工技术 .....      | (10) |
| 四、甜高粱氢氰酸含量的变化 .....       | (12) |
| 第三节 能源用途 .....            | (15) |
| 一、各国开发生物质能源计划 .....       | (15) |
| 二、甜高粱作为能源作物的优势 .....      | (17) |
| 三、甜高粱生产燃料乙醇的经济可行性分析 ..... | (21) |
| 主要参考文献 .....              | (24) |
| 第二章 甜高粱起源及品种资源 .....      | (25) |
| 第一节 甜高粱起源及传播 .....        | (25) |
| 一、甜高粱起源 .....             | (25) |
| 二、甜高粱的传播和发展 .....         | (26) |
| 第二节 甜高粱品种资源 .....         | (30) |
| 一、甜高粱品种资源收集和保存 .....      | (30) |
| 二、我国甜高粱品种资源的特征特性 .....    | (32) |
| 三、我国甜高粱主要经济性状及其变化 .....   | (33) |
| 主要参考文献 .....              | (36) |
| 第三章 甜高粱特征特性 .....         | (37) |
| 第一节 植物学形态特征 .....         | (37) |
| 一、根 .....                 | (37) |
| 二、茎 .....                 | (39) |
| 三、叶 .....                 | (45) |
| 四、花序 .....                | (48) |
| 五、果实 .....                | (52) |
| 第二节 生物学特性 .....           | (55) |
| 一、甜高粱繁育特性 .....           | (55) |



|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 二、甜高粱抗逆性 .....            | (57)  |
| 主要参考文献 .....              | (58)  |
| 第四章 甜高粱的生长发育 .....        | (60)  |
| 第一节 甜高粱生长发育过程 .....       | (60)  |
| 一、生长发育时期的划分 .....         | (60)  |
| 二、营养生长的特点 .....           | (63)  |
| 三、生殖生长的特点 .....           | (66)  |
| 第二节 甜高粱生长发育对环境条件的要求 ..... | (68)  |
| 一、土壤 .....                | (68)  |
| 二、水分 .....                | (68)  |
| 三、热量 .....                | (69)  |
| 四、光照 .....                | (72)  |
| 五、营养 .....                | (75)  |
| 主要参考文献 .....              | (81)  |
| 第五章 甜高粱遗传 .....           | (83)  |
| 第一节 甜高粱植株性状遗传 .....       | (83)  |
| 一、株高 .....                | (83)  |
| 二、茎秆质地 .....              | (86)  |
| 三、穗性状 .....               | (87)  |
| 四、植株色 .....               | (89)  |
| 五、粒色 .....                | (90)  |
| 六、花药、柱头色 .....            | (92)  |
| 第二节 甜高粱茎秆化学成分遗传 .....     | (92)  |
| 一、茎秆糖分、磷酸值、乌头酸的遗传 .....   | (92)  |
| 二、茎秆含糖量遗传 .....           | (93)  |
| 三、甜高粱主要性状的遗传分析 .....      | (94)  |
| 四、甜高粱籽粒产量与茎秆内含糖量的关系 ..... | (101) |
| 主要参考文献 .....              | (101) |
| 第六章 甜高粱品种遗传改良 .....       | (103) |
| 第一节 甜高粱品种选育 .....         | (103) |
| 一、甜高粱品种选育概述 .....         | (103) |
| 二、甜高粱育种目标 .....           | (104) |
| 第二节 甜高粱茎秆含糖量与物候期的关系 ..... | (107) |
| 一、茎秆含糖量与播种期的关系 .....      | (107) |
| 二、茎秆含糖量与其他物候期的关系 .....    | (108) |
| 三、甜高粱茎秆糖分的积累 .....        | (111) |
| 第三节 甜高粱育种技术 .....         | (113) |
| 一、系统选育技术 .....            | (114) |
| 二、杂交选育技术 .....            | (114) |



|                            |              |
|----------------------------|--------------|
| 三、远缘杂交技术 .....             | (118)        |
| 四、杂种优势利用技术 .....           | (119)        |
| 主要参考文献 .....               | (136)        |
| <b>第七章 甜高粱良种繁育技术 .....</b> | <b>(138)</b> |
| 第一节 常规种繁育技术 .....          | (138)        |
| 一、甜高粱种子质量标准 .....          | (138)        |
| 二、常规种繁育技术 .....            | (139)        |
| 第二节 杂交种繁育技术 .....          | (141)        |
| 一、雄性不育系及其保持系繁育技术 .....     | (141)        |
| 二、杂交种制种技术 .....            | (142)        |
| 三、小花败育及其预防技术 .....         | (145)        |
| 四、良种提纯和复壮技术 .....          | (146)        |
| 主要参考文献 .....               | (149)        |
| <b>第八章 甜高粱高产栽培技术 .....</b> | <b>(150)</b> |
| 第一节 播种 .....               | (150)        |
| 一、播前准备 .....               | (150)        |
| 二、播期和播量 .....              | (152)        |
| 三、特殊播种 .....               | (158)        |
| 第二节 种植技术 .....             | (161)        |
| 一、播种方式 .....               | (161)        |
| 二、播种深度 .....               | (163)        |
| 三、播后镇压 .....               | (166)        |
| 第三节 施肥与灌溉 .....            | (166)        |
| 一、施肥原则 .....               | (166)        |
| 二、施肥技术 .....               | (167)        |
| 三、施肥量的计算 .....             | (169)        |
| 四、灌溉 .....                 | (172)        |
| 第四节 田间管理 .....             | (173)        |
| 一、补苗 .....                 | (173)        |
| 二、间苗与除草 .....              | (173)        |
| 三、中耕除草 .....               | (174)        |
| 四、培土 .....                 | (174)        |
| 第五节 收获 .....               | (175)        |
| 一、收获时期 .....               | (175)        |
| 二、收获方法 .....               | (177)        |
| 第六节 特殊栽培 .....             | (179)        |
| 一、再生栽培 .....               | (179)        |
| 二、育苗栽培 .....               | (180)        |
| 主要参考文献 .....               | (181)        |



|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 第九章 甜高粱病虫害及其防治 .....        | (182) |
| 第一节 甜高粱病虫害概述 .....          | (182) |
| 一、高粱病害发生情况 .....            | (182) |
| 二、高粱虫害发生情况 .....            | (182) |
| 第二节 病害及其防治 .....            | (183) |
| 一、叶部病害 .....                | (183) |
| 二、根和茎部病害 .....              | (185) |
| 三、穗部病害 .....                | (187) |
| 四、病毒病 .....                 | (191) |
| 第三节 虫害及其防治 .....            | (193) |
| 一、黏虫 .....                  | (193) |
| 二、高粱蚜 .....                 | (195) |
| 三、玉米螟 .....                 | (198) |
| 四、棉铃虫 .....                 | (200) |
| 主要参考文献 .....                | (202) |
| 第十章 甜高粱制糖技术及加工工艺 .....      | (203) |
| 第一节 制糖技术 .....              | (203) |
| 一、制糖浆技术 .....               | (203) |
| 二、制土糖技术 .....               | (204) |
| 三、制结晶糖技术的进展 .....           | (204) |
| 第二节 制糖工艺及其流程 .....          | (206) |
| 一、甜高粱制糖工艺与甘蔗比较 .....        | (206) |
| 二、制糖浆工艺流程 .....             | (207) |
| 三、制糖工艺流程 .....              | (208) |
| 四、甜高粱制糖工艺的研究 .....          | (213) |
| 主要参考文献 .....                | (215) |
| 第十一章 甜高粱加工乙醇及工艺 .....       | (216) |
| 第一节 甜高粱生物质积累及其转化乙醇的潜力 ..... | (216) |
| 一、甜高粱有两个光合产物贮藏库 .....       | (216) |
| 二、甜高粱糖汁转化乙醇的潜力 .....        | (218) |
| 三、甜高粱纤维素转化乙醇的潜力 .....       | (220) |
| 第二节 甜高粱加工乙醇及其工艺 .....       | (221) |
| 一、液态发酵及其工艺 .....            | (221) |
| 二、固态发酵及其工艺 .....            | (225) |
| 三、汁液固定化酵母发酵及其工艺 .....       | (229) |
| 主要参考文献 .....                | (244) |
| 第十二章 甜高粱加工酒、醋及其工艺 .....     | (245) |
| 第一节 酿制酒类 .....              | (245) |
| 一、甜高粱茎秆酿制白酒 .....           | (245) |



|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 二、甜高粱制糖后的残渣和废稀酿制白酒 ..... | (247) |
| 三、甜高粱酿制凯勒露酒 .....        | (248) |
| 第二节 甜高粱其他加工产品及其工艺 .....  | (249) |
| 一、加工味精 .....             | (249) |
| 二、酿制醋 .....              | (251) |
| 三、其他加工品 .....            | (251) |
| 主要参考文献 .....             | (252) |
| 附录 1 国内外主要甜高粱品种介绍 .....  | (253) |
| 附录 2 名词解释 .....          | (272) |

# 第一章 甜高粱生产的经济意义

甜高粱有两个光合产物贮藏库，一个是穗部的籽粒，含有淀粉、蛋白质、脂肪等营养物质；一个是茎秆中薄壁细胞中的糖，含有葡萄糖、果糖、蔗糖等。甜高粱籽粒和茎秆中所含的这些成分，使甜高粱既可作为粮食作物、糖料作物，又可作为饲料作物和能源作物，具有巨大的发展空间和潜势。

## 第一节 糖料用途

### 一、甜高粱制糖发展概述

在中国，用甜高粱茎秆中的糖分熬制糖稀已有悠久的历史。而制成结晶糖却是近几十年的事情。20 世纪 70 ~ 80 年代，陕西省武功县普集糖厂用甜高粱制出黄砂糖、高粱蔗片糖和商品赤砂糖。其糖的组分与广州郊区糖厂生产的甘蔗片糖的成分进行了比较（表 1 - 1）。

表 1 - 1 各种甜高粱糖品的质量比较

| 品 名    | 蔗糖（%）  | 还原糖（%） | 纯度（%）  | 灰分（%） | 水分（%） |
|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 高粱蔗黄砂糖 | 91. 25 | 3. 95  | 95. 20 | 1. 63 | 2. 79 |
| 商品赤砂糖  | 88. 33 | 3. 05  | 91. 38 | 1. 63 | 3. 25 |
| 高粱蔗片糖  | 72. 68 | 13. 37 | 86. 05 | 2. 52 | 4. 16 |
| 甘蔗片糖   | 78. 75 | 13. 75 | 91. 89 | 1. 52 | 5. 25 |

（辛业全，1977）

1977 年，湖北省汉川县中洲糖厂用甜高粱大规模生产出机制赤砂糖，其总糖含量为 92. 6%，其中蔗糖 82. 09%，还原糖 10. 51%。

美国和前苏联等国家很早就注意甜高粱。美国最早的甜高粱是从中国崇明岛引去的。1853 年从法国引去了中国琥珀甜高粱，与此同时还从非洲引进其他甜高粱品种。蔗糖分和纯度比较高的甜高粱来自南非和苏丹。19 世纪 70 ~ 80 年代，在美国中部的新泽西州到堪萨斯州地区建起了许多小型糖厂，用甜高粱生产糖和糖浆。

1862 ~ 1890 年，在威利 H. W 等人的指导下，对甜高粱品种的选育、栽培、收获、剥叶等进行了广泛的研究，但当时没能建立起稳定的甜高粱制糖业，主要是由于：①没有含糖量高的甜高粱品种。②收获集中，来不及提汁使蔗糖分损失很快。③缺乏有效的加工工艺。④加工机械设备不完备，效率低。当时甜高粱只是用来生产糖浆和作饲料。美国甜高



梁糖浆的年产量还是不少的，用其生产的糖果达 16 万 t。

第二次世界大战期间，美国限制食糖进口，因此，Branders 等人重新开始进行甜高粱优良品系的选育。1961~1964 年，将选育出的品种进行繁育推广，其中 Mer55-1 表现优良，于 1965 年取名丽欧（Rio）进行示种，进而促进了甜高粱制糖工艺的研究。

1969 年，Smith B. A 发明了一种简便的，在澄清粗汁和中间汁时清除淀粉的方法，成功地生产出结晶糖。反过来又促进了甜高粱优良品种的选育和推广，拟大规模进行生产，作为在甘蔗产糖区的一种辅助糖料作物。1971 年做中试，1974~1975 年榨季在得克萨斯州做生产试验，许多专家认为在工艺上已经达到用甜高粱生产结晶糖的水平。

20 世纪 30 年代，前苏联发表过“甜高粱是制糖工业的原料”等文章。1958 年，前苏联甜高粱的种植面积已达 110 万亩，并划定了 10 个高粱品种栽培区。甜高粱不但在前苏联的南部和东南部获得高产，而且在黑土地区及西伯利亚也能获得高产。前苏联也从中国引进过甜高粱品种，1947 年在亚美尼亚种植中国琥珀 813，每亩产茎秆 2 300kg。前苏联研究认为，甜高粱是耐旱作物，在那些不适宜种植其他糖料作物的干旱地区种植很有前景，为非产糖地区提供了扩大糖品生产的可能。早熟品种可成功地栽培到北纬 48°的地区。

前苏联已选育出一批早熟、耐旱、含糖高的品种。试验表明，甜高粱亩产糖量比甜菜高，而且种植甜高粱的劳动成本比甜菜少。前苏联主要利用甜高粱生产食用糖浆，而且用甜高粱加工成糖浆比用甜菜加工成结晶糖简单易行。

墨西哥近年从美国引进一些甜高粱品种试种，试种表明甜高粱生长期短，收获期正好与甘蔗的隔开，可以利用甘蔗糖厂停榨期间处理甜高粱，以延长榨季，并进行了试生产。

印度近年从美国引进甜高粱品种进行试验。印度甘蔗研究所希望在甘蔗榨季开始之前用甜高粱作原料生产糖。印度甘蔗研究所曾用甜高粱汁制成土糖。

以色列为确定是否能用甜高粱作为一种糖料作物，进行了一系列试验研究，结果表明甜高粱的液汁良好，每亩可产糖 230~330kg。

巴西对甜高粱研究非常重视，他们开展新品种选育并取得显著成效，开展了“国际甜高粱试验”，进行用甜高粱制取乙醇燃料的研究。阿根廷农工试验站的试验表明，甜高粱每亩可产 200kg 籽粒 200kg 糖。

澳大利亚 1976 年甜高粱种植面积达 155 万亩，主要用作饲料，也对甜高粱作糖料作物进行了研究，认为甜高粱将是其他糖料作物潜在的竞争者。品种比较试验表明，高产品种固溶物亩产量达 827kg。

南非也对甜高粱作为一种糖料作物进行研究评价，甜高粱品种洛马每亩可产糖 227~294kg。

## 二、甜高粱是我国有发展潜力的糖料作物

我国是人多地少，不可能用更多的粮田发展糖料生产，因为首先要保证国家粮食安全。而甜高粱每亩可产 200~300kg 糖，又可产 150~400kg 粮食，这就从根本上克服了糖料作物与粮食作物争地的矛盾。

糖料作物甘蔗生产受气候条件的限制，需要栽培在热带、亚热带、雨量充沛、土壤较为肥沃的地区，我国具备这种条件的地方不多。而且，甘蔗生产还受经济条件的影响，甘蔗通常都栽培在发展中国家，我国也一样。改革开放前，广东省的糖产量占全国的一半以



上,近年随着经济的发展,在珠江三角洲和潮汕平原的糖厂面临着倒闭,因在该地区发展其他工业或栽培蔬菜、花卉、水果等,比甘蔗有更大的经济效益。不仅广东是这样,四川简阳也有类似情况。

甜菜生产喜欢冷凉的地区,只能栽培于我国北方。甜菜的含糖量较高,但由于甜菜需要育苗移栽,近年又受到病害的威胁,无论总产和单产都不太高。正因为我国制糖业受到上述原因的限制,造成我国糖料作物的分布不合理。我国甘蔗总产量的95%集中在广东、广西、海南、云南、四川5省(区),甜菜总产的约81%集中在黑龙江、内蒙古、吉林、新疆4省(区),而黄河和长江流域广大地区则是糖料作物的空白。这一地区的湿度、降雨季节基本上与甜高粱的生长同步。

我国的自然条件更适合发展甜高粱。甜高粱对环境条件的要求不严格,从辽宁、吉林、北京、天津、山东、湖南、安徽等省市的试种情况看,茎秆产量都较高,一般在每亩4 000~5 000kg;籽粒产量在300~400kg,如辽甜1号在沈阳平均亩产5 453.2kg,籽粒亩产375.9kg。

甜高粱茎秆锤度一般在17%~22%之间,江西第二糖厂分析表明,甜高粱品种雷伊的锤度、转光度、蔗糖分与当地的甘蔗品种不相上下。甘肃张掖地区农科所(1987)测定了1 900多个甜菜样品的含糖量,平均汁液锤度为15.5%,而测定的2 000个甜高粱样品的汁液锤度在16%~28%之间。四川简阳种子分公司栽培的凯勒品种,汁液锤度达21.1%,比川蔗3号的19.6%还高,而重力锤度相同,均为82.3%。江苏省沿海地区农科所(1987)栽培的M-81E品种,锤度达21.6%。

甜高粱生育期短,一年可收获1~3季,甘蔗只一季。甘蔗用茎繁殖,每亩用量500~800kg,不易机械化种植;甜高粱用种子繁殖,每亩用种子1.0kg左右,很适于机播,甜高粱比较耐旱,因此,甜高粱生产成本远低于甘蔗。

总之,我国发展甜高粱生产有许多优势:①气候适宜。只要选择适合的品种,全国大部分地区都可种植。要作为糖料加工,则应使工厂有尽可能长的加工期,才能取得更高的经济效益。因此,最适栽培的黄河和长江流域,正是我国糖料作物栽培的空白地区。在长江流域,由于无霜期长,可采取再生栽培技术多生产1~2季。②甜高粱对水分的需要量比甜菜和其他糖料作物均少,仅为甘蔗的1/3。③甜高粱茎秆中含有18%~24%的纤维,用高效率的锅炉,只要燃烧1/2的秆渣,就可完成加工转化所需的能源,另1/2秆渣可以用来造纸。④甜高粱的加工期比甘蔗糖厂更长,因为可以按加工需要进行分期播种、分期收割。⑤目前,科研单位已选育出一批优良的甜高粱品种,可以满足生产的需要。

## 第二节 饲料用途

### 一、饲用甜高粱发展概况

#### (一) 发展饲料生产的意义

我国是一个人口多、经济相对落后的国家。长期以来,我国产业形成了粮食—经济作物的二元种植结构。随着我国经济的快速发展,人民生活水平有了很大提高,这从每人每



天所消费的热能增加就可以看出。1961~1963年,为1658kcal,只占世界平均数的72%;1969~1971年,为1988kcal,占世界平均数的81%;1979~1981年,为2324kcal,占世界平均数的90%;1989~1990年,为2641kcal,达到世界平均数的98%。

在这些热能中,来自植物产品的占89.2%、来自动物产品的仅占10.8%,低于世界平均水平的15.7%。1989~1990年,我国每人每天从食物中摄取的脂肪为46.4g,只及世界68.5g的68%;而来自动物产品的脂肪只有25g,只占世界平均数31.9g的78.4%;蛋白质的摄取量就更少,仅64.2g,而且有74.1%来自植物产品。1990年,我国年人均牛奶只有4kg,占世界平均的4%,只有前苏联的1%,其主要原因是畜产品产量低。

21世纪初,我国人均需要粮食425kg、肉25kg、奶25kg、蛋12.5kg、鱼10kg,这相当于20世纪80年代初期世界的平均水平。要实现这一目标,就需要种植业为养殖业提供更多的饲料,但我国传统种植业结构没有饲料作物的位置。因此,不得不以粮食加工饲料。近几年,我国每年要消费约1亿t粮食作饲料,约占总产量的1/5。即使这样,仍满足不了养殖业发展的需要。

用粮食加工成饲料效率低、不划算。按营养计算,单位面积苜蓿的干物质产量是小麦的4.7倍,其蛋白质产量是小麦的7倍。如果种植饲用玉米品种,其饲料量为普通玉米的1.5倍;采用优良的甜高粱品种,其饲料产量又比玉米高1倍。因我国人多地少,因此应因地制宜,改变传统的种植业结构,以粮食—经济—饲料作物的三元结构取代粮经二元结构,合理配置作物,大力发展饲料生产。

一般来说,作物生物产量只有约1/4的子实能被人类直接利用,其余约3/4必须通过畜禽再转化成食品。牛的78.8%、羊的80.9%的营养来自饲草。我国养殖业结构极不合理,突出表现是耗粮畜禽比重过大。例如,全国常年饲养3.3亿头猪,居世界第一位。而草食和节粮型畜、禽在养殖业中所占比例远低于发达国家和一些发展中国家。与我国情况相似的印度,粮食产量仅为我国的1/4强,人口为我国的2/3强,印度牛存栏数却为我国的10倍,猪的数目仅为我国的1/4,结构相对合理的养殖业,使印度在粮食并不很宽裕的情况下,满足了人民对肉食的需要,口粮压力也不像我们这样大。因此,调整养殖业结构,大力发展牛、羊、兔、鹅等草食畜禽,对于减轻粮食压力,提供多种肉食都具有重大意义。

实现三元种植业结构,大力发展饲料作物,将是促进我国畜牧业发展的主要途径,而推广甜高粱、饲用玉米生产,则是发展草食畜禽的可靠保证。甜高粱合成的碳水化合物为玉米的3.2倍,是最高产、优质的饲料作物。

### (二) 饲用甜高粱生产发展简述

甜高粱是优良的饲料作物,茎秆鲜嫩,富含糖分,叶片柔软,适口性好,牲畜很喜欢吃,加之产量高、适应范围广,抗逆性强,是不可多得的饲料作物。饲用甜高粱种类很多,包括甜高粱、甜高粱与粒用高粱、甜高粱与苏丹草的杂交种等。

饲用甜高粱要求产草量高,可溶性碳水化合物、蛋白质的含量高,氢氰酸、单宁含量低。用作青饲、青贮饲料的甜高粱,以茎粗、分蘖少、可溶性碳水化合物含量高的品种最合适。

澳大利亚是畜牧业比较发达的国家,甜高粱已成为一种重要的饲料作物,种植面积已达150多万亩,其中昆士兰州115万亩,新南威尔士州36万亩,占耕地总面积约4%。在



昆士兰的奶牛场，甜高粱亩产青饲料 3 000 多 kg；在较干旱地区，亩产 2 650 ~ 3 350kg 也是常见的；甜高粱品种糖滴在奥德河地区有灌溉的条件下，258 天可收获 3 次，其干物质产量为每亩 3 454kg。

在美国、前苏联、阿根廷、印度等一些国家，都把甜高粱作为家畜的优良饲料作物生产。

我国用甜高粱作饲料有悠久的历史，但种植面积不大，作为饲料作物进行大规模栽培是近年的事。沈柏林（1995）从 1979 年开始在北京南郊农场种植甜高粱品种丽欧，当年种植 154 亩，1980 年扩种到 3 262 亩，1981 年种植 3 614 亩，1982 年超过 6 000 亩。奶牛饲喂试验表明，用甜高粱作青贮料代替玉米青贮料，每头日增奶 805g。按当时 3 200 头奶牛计算，每年可增加产奶量 94 万 kg。

饲喂试验用两组牛，各 75 头，对照组牛群按常规饲喂，全是玉米青贮料；试验组奶牛是用甜高粱青贮料，干草折青贮按 1 : 4 计算。两组的精料和糠糟数量是一样的。经 40 天饲喂取得如下结果（表 1-2）。试验组奶牛比对照组每头奶牛日增产奶量 805g，增产 4.3%；试验组比对照组每产 500g 奶少耗用青贮料 50g，节省 9.4%。

表 1-2 不同青贮喂奶牛效果比较

|     | 吃青贮<br>总量<br>(kg) | 吃干草<br>总量<br>(kg) | 干草折<br>青贮<br>(kg) | 合计吃青<br>贮量<br>(kg) | 头日吃青<br>贮量<br>(kg) | 总产<br>奶量<br>(kg) | 头日产<br>奶量<br>(kg) | 产 500g 奶<br>吃青贮量<br>(g) |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------------|
| 试验组 | 59 418            | 5 370             | 21 480            | 61 066             | 20.7               | 58 342.3         | 19.605            | 530                     |
| 对照组 | 63 718            | 10 020            | 40 080            | 62 726             | 21.8               | 58 378.3         | 18.800            | 580                     |

（沈柏林，1995）

甜高粱青贮料提高产奶量的原因是因为其各项养分指标都超过青贮玉米料，干物质含量比玉米多 41.4%（表 1-3）。其他各项养分含量也优于玉米，无氮浸出物和粗灰分分别比玉米高出 64.2% 和 81.5%。粗纤维的重量虽比玉米高，但由于甜高粱总干物量更高，所以甜高粱粗纤维只占干物质的 30.3%，低于玉米粗纤维占干物质 33.2%。

表 1-3 玉米、甜高粱青饲营养比较

| 作物  | 取样日期     | 含水率<br>(%) | 含干物质<br>(%) | 蛋白质<br>(%) | 脂 肪<br>(%) | 粗纤维<br>(%) | 无氮浸<br>出物 (%) | 粗灰分<br>(%) |
|-----|----------|------------|-------------|------------|------------|------------|---------------|------------|
| 玉 米 | 8 月 8 日  | 78.69      | 21.31       | 1.853      | 0.434      | 7.082      | 10.529        | 1.344      |
| 甜高粱 | 8 月 8 日  | 83.33      | 16.67       | 1.113      | 0.228      | 4.817      | 9.001         | 1.501      |
| 甜高粱 | 9 月 28 日 | 67.93      | 30.07       | 2.014      | 1.200      | 9.120      | 17.290        | 2.440      |

（沈柏林，1995）

河南郑州种畜场用甜高粱作青饲料，效果好，是发展奶牛的优质高产青饲作物。种植试验表明，种植玉米亩产 1 234 ~ 1 709kg，而甜高粱 3 281 ~ 3 781kg，是玉米的 2 倍。

甜高粱不仅产量高，而且作青贮料增重较快，产奶量也高。例如，4 龄的前苏联美利奴 Merino 母绵羊在怀孕的前半期，每日饲喂 2kg 玉米青贮料和 2kg 苜蓿干草后，后半期则分为两组，每日分别饲喂玉米青贮料 2.2kg 或 2.0kg，苜蓿干草 1.3kg 或 1.0kg，碎大麦



0.15kg 或 0.0kg 和甜高粱颗粒饲料 0.0kg 或 0.5kg。在哺乳的最初 2 个月饲喂玉米青贮料 3.0kg 或 3.4kg 以及甜高粱颗粒饲料 0.0kg 或 0.6kg。

在怀孕期间配用甜高粱的，干物质可消化率，有机物、蛋白质、脂肪、纤维、无氮浸出物和灰分等比无甜高粱者高。在哺乳期的第二个 10 天，甜高粱配合饲料也有较高的可消化率。羔羊出生时的体重虽然一样，均为 4.3kg，但 60 天后的羔羊体重则分别为 11.8kg 和 12.7kg（Struk 等，1988）。

天津工农联盟奶牛场进行了大群饲喂试验，用玉米青贮料每头日平均产奶 15.7kg，甜高粱青贮料每头日平均产奶 16.6kg；342 头奶牛饲喂甜高粱青贮料，日平均产奶 18.2kg，而 348 头奶牛饲喂玉米青贮料，日平均产奶 16.5kg，前者比后者增产 1.68kg，增加 10.1%（表 1-4）。郑州种畜场用 40 头奶牛作饲喂试验表明，喂甜高粱青贮料比喂玉米青贮料每头奶牛日增产牛奶 1 050g；河南黄泛区奶牛场饲喂甜高粱的奶牛比饲喂玉米的每头日增产鲜奶 1 500g。

表 1-4 不同青贮饲料对奶牛产奶量的影响

| 青贮饲料种类                 | 每头每日平均产奶量（kg） |       |       |       |
|------------------------|---------------|-------|-------|-------|
|                        | 4 月份          | 5 月份  | 6 月份  | 平 均   |
| 1980 年喂‘丽欧’青贮饲料（占 90%） | 18.17         | 18.28 | 18.12 | 18.22 |
| 1979 年喂玉米青贮饲料（掺少量‘丽欧’） | 16.29         | 16.79 | 15.79 | 16.54 |
| 喂甜高粱者增产（%）             | 4.09          | 4.57  | 7.36  | 5.08  |

（黎大爵等，1992）

甜高粱作饲料，由于产量高、适口性好、抗旱、耐涝、耐盐碱。因此，在我国是很具发展潜力的饲料作物。

## 二、甜高粱是优质饲料作物

### （一）生物产量高

甜高粱既可生产籽粒，又可生产茎叶，因而其生物产量高。

Allen（1977）用 19 个饲用高粱，8 个糖浆型、9 个糖晶型甜高粱品种作试验，其青饲料产量每公顷达 56.9~78.7t（表 1-5）。在 19 个饲用型品种中，以 Pennsilage A 品种的青饲料产量和干饲料产量最高，分别为 78.7t/hm<sup>2</sup> 和 21.9t/hm<sup>2</sup>。

在 17 个糖浆、糖晶型甜高粱品种中，以 71-1 品种的青饲料产量为最高，达 117.7t/hm<sup>2</sup>，为丽欧的 205.77%（表 1-6）。

表 1-5 饲用高粱品种的产量和株高比较

| 品 种          | 青饲料产量（t/hm <sup>2</sup> ） | 干饲料产量（t/hm <sup>2</sup> ） | 株高（cm） |
|--------------|---------------------------|---------------------------|--------|
| Pennsilage A | 78.7                      | 21.9                      | 343    |
| 367          | 77.1                      | 20.4                      | 340    |
| Ho-K         | 75.6                      | 16.5                      | 302    |
| 30-F         | 74.0                      | 16.6                      | 269    |

续表 1-5

| 品 种          | 青饲料产量 (t/hm <sup>2</sup> ) | 干饲料产量 (t/hm <sup>2</sup> ) | 株高 (cm) |
|--------------|----------------------------|----------------------------|---------|
| Milkmaker    | 70.2                       | 15.4                       | 274     |
| FS-25A       | 67.3                       | 14.3                       | 264     |
| Rio (Sugar)  | 66.2                       | 13.2                       | 300     |
| Silo Fill 35 | 65.7                       | 15.3                       | 249     |
| FS-24        | 65.2                       | 13.2                       | 256     |
| TDN          | 64.8                       | 12.9                       | 249     |
| Pennsilage   | 63.7                       | 12.6                       | 256     |
| Silomaker    | 61.0                       | 14.6                       | 249     |
| 55 F         | 60.3                       | 13.4                       | 262     |
| FS-401-R     | 60.1                       | 14.3                       | 254     |
| Energy Plus  | 59.6                       | 14.5                       | 239     |
| 102-F        | 58.7                       | 12.2                       | 254     |
| 300          | 58.5                       | 13.8                       | 211     |
| 605-5        | 58.3                       | 12.6                       | 203     |
| G-103-S      | 56.9                       | 11.8                       | 216     |

(Allen, 1977)

表 1-6 甜高粱品种的产量及株高比较

| 品 种   | 类 型 | 青饲料产量 (t/hm <sup>2</sup> ) | 干饲料产量 (t/hm <sup>2</sup> ) | 株高 (cm) |
|-------|-----|----------------------------|----------------------------|---------|
| 71-1  | 糖浆  | 117.7                      | 25.2                       | 358     |
| 69-13 | 糖   | 87.4                       | 20.2                       | 338     |
| 71-7  | 糖浆  | 86.8                       | 17.7                       | 343     |
| 洛马    | 糖   | 84.3                       | 17.6                       | 292     |
| 蜂蜜    | 糖浆  | 77.6                       | 13.5                       | 315     |
| 泰斯    | 糖浆  | 72.2                       | 15.6                       | 338     |
| 68-2  | 糖   | 69.0                       | 15.9                       | 340     |
| 74-11 | 糖浆  | 66.6                       | 13.5                       | 310     |
| 73-7  | 糖   | 65.2                       | 14.9                       | 274     |
| 拉马达   | 糖   | 65.0                       | 13.6                       | 284     |
| 72-2  | 糖   | 64.6                       | 15.4                       | 323     |
| 戴尔    | 糖浆  | 63.7                       | 13.6                       | 328     |
| 73-15 | 糖浆  | 61.4                       | 11.9                       | 292     |
| 布兰德斯  | 糖浆  | 57.4                       | 11.0                       | 259     |
| 丽欧    | 糖   | 57.2                       | 11.1                       | 305     |
| 73-3  | 糖   | 53.1                       | 12.1                       | 320     |
| 73-10 | 糖   | 48.9                       | 10.1                       | 259     |

(Allen, 1977)

天津市工农联盟农牧场种植甜高粱品种丽欧 275hm<sup>2</sup>，平均每公顷产量 37 935kg。用甜高粱、玉米和大麦 3 种作物做产量试验，结果甜高粱丽欧的产量最高，平均每公顷 33 510kg，是玉米的 2.5 倍，大麦的近 3 倍（表 1-7）。