

发展玉米加工工业

张力田教授

华南工学院

一九八六年七月

(第二版)

发展玉米加工工业

华南工学院

张力田

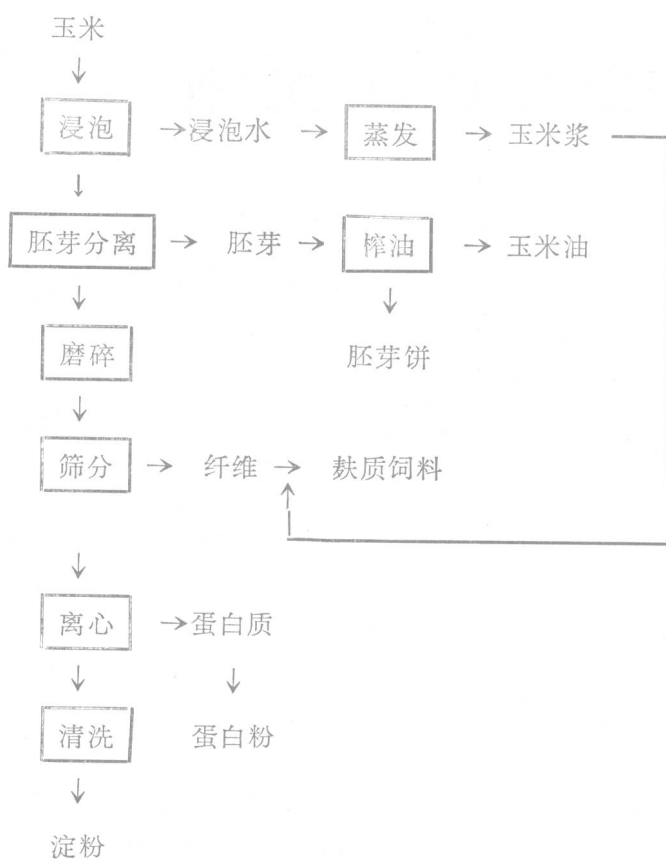
玉米是重要的粮食，饲料和工业原料，为我国普遍种植的农作物，年产量达6000多万吨，约占我国粮食总产量的五分之一，仅次于小麦，水稻，居第三位。连年来农业生产形势大好，粮食大丰收，玉米积存量大，急待开发利用。发展玉米加工工业是一个好途径。玉米是造制淀粉，变性淀粉和衍生物，淀粉糖，动力酒精和有机化工产品的好原料。这些工业在国外工业发达的国家发展很快，很大。他们的成功经验和先进技术都值得我们参考，发展我们的玉米加工工业。

玉米颗粒的化学组成主要为淀粉，约为重量的65%，蛋白质约10%，油脂约5%，其余为水份约14%，还有纤维，矿物质和少量其它物质等。玉米的工业加工是将这些不同的成份分离开来，更有效地利用，制成不同的产品。

(一) 淀粉

玉米是制造淀粉的最重要原料，玉米淀粉工业在许多国家都已发展成大工业。全世界淀粉产量不断增加，1976年约为1000万吨，1980年约1400万吨，1985年约1800万吨，其中约70%是来自玉米，20%来自马铃薯，5%来自小麦，4%来自木薯，其余1%来自甘薯、米等。美国的淀粉产量最大，全部是来自玉米。日本从前主要用甘薯制淀粉，现在改用玉米为原料。美国的玉米种植量大，约为全世界总产量之半，被认为是该国最重要的农作物，年产量约为小麦的三倍。与其他原料比较，玉米具有若干优点，如淀粉含量高，又易于运输和储存，工厂规模能很大，保持全年开工，生产不受地区和季节的限制，产品的种类多，价值高，生产技术水平高。采用密闭的生产工艺，玉米原料的各组成部分制成产品和副产品，没有废水，废渣和废气排出厂外，没有环境污染问题。近年来生产设备的发展快，国外先进的大规模工厂每日加工玉米达4000吨以上，电子计算机控制各步操作，用人少，效率高，生产稳定，产品质量高。

由玉米制淀粉的工艺是采用物理分离方法，将非淀粉的其他物质分离开来，如图—1流程图所表示。玉米粒含水份约12~14%，除去水份以玉米干物质100公斤算，各种产品的产量和分析表示于图—2。



图一1 玉米淀粉生产工艺流程

不同批原料玉米的组成分析不尽相同，各工厂的生产情况也存在差别，图一2的数据表示新式工厂生产的一般情况。数字都是以干基表示，单位为公斤。如图中数据所表示，成品淀粉中含淀粉68.5公斤，为原料玉米中淀粉含量72.0公斤的96.5%，在工业上称为淀粉提出率，是很高的。在整个加工过程中，原料中干物质的损失量约1.0~1.5%。

玉米浆为发酵的好营养料，蛋白粉和油饼为高级家畜饲料，除可单独出售外，还与纤维混合成麸质饲料。这种麸质饲料含蛋白质在21%以上，油质1.0%以上，纤维10.0%以下，也是家畜和牲畜的好饲料。这些饲料中蛋白质的氨基酸组成表示于表一1。表中数据为氨基酸占蛋白质的百分率。

玉米浆是玉米浸泡过程中溶解玉米粒中的水溶性物质而得，浓缩到约50%浓度，含蛋白质量高，还有维生素B和矿物质等，为奶牛和肉牛的好饲料，可单独出售为液体饲料或混合于麸质饲料中。玉米浆是抗菌素和其他发酵的好营养料。玉米浆含植酸量高，为工业上提制菲汀和肌醇的原料。肌醇为维生素B的一种，用为药品，对肥胖症和肝功能症有疗效。

蛋白粉为黄色粉末，含蛋白质在60%以上，为家畜的高蛋白饲料，含有核黄素有助于鸡蛋黄的生成。用酒精提取出蛋白粉中的醇溶蛋白质，能制成透明薄膜，强度、耐磨性和抗油性都好，也能用于涂料和制塑料。

玉米(100公斤,干基)

蛋白质	9.0%
油	4.8%
淀粉	72.0%
灰份	1.5%
纤维	8.7%
糖份	3.0%

↓ 玉米浆(6.5)

浸泡玉米(93.5)

蛋白质	49.0%
乳酸	25.0%
植酸	8.0%
糖份	3.0%
灰份	15.0%

胚芽油饼(3.6) ← 胚芽(8.0) ←

蛋白质	24.0%
淀粉	20.0%
油	2.0%
纤维	12.0%
半纤维	25.0%
其他	17.0%

↓ 玉米油(4.4)

→ 纤维(10.0)

↓ 粗淀粉(75.5)

淀粉	17.4%
蛋白质	10.6%
油	1.0%
灰份	1.0%
纤维	70.0%

← 蛋白粉(7.0)

蛋白质	62.0%
淀粉	20.0%
油	5.0%
纤维	13.0%

↓ 淀粉产品(68.5)

淀粉	98.8%
蛋白质	0.3%
油	0.7%
灰份	0.1%
纤维	0.1%

图一2

玉米淀粉生产的物料平衡

玉米胚芽含油量高，约为 50%，较好的提油工艺是先用压榨法到残油含量约 15%，再用已烷抽提，降低到残油含量 1% 以下。若是单独使用压榨法，不易达到这样低的残油含量，同时可能有少量烧焦，蛋白质也有少量变性，所得玉米油的质量较差。粗玉米油为黄色，并具有一种特有的味道，再经过精炼，包括碱处理，漂白，脱蜡，脱臭等工序，得精制玉米油，为具有很浅黄色，澄清透明，无特殊味道的高级食用油，纯度高，含油脂几乎 100%。这种玉米油含不饱和脂肪酸 80~85%，对血液中胆固醇积累有溶解作用，高血压、心血管疾病患者食用有医疗效果。油脂受热到一定高温则分解，发烟，这个温度称为发烟点。玉米油受热发烟的温度是 220~260℃，高过其他种类食用油，特别适于炒菜、油炸和油煎食品应用。玉米油的发烟点大大超过一般炒、煎食品的温度，所以性质稳定，所得食品呈美观的焦黄色，松脆而不显油腻状。玉米油本身无味道，不影响食品原来的色香味，又不传导气味，用过的剩余油可用于其他种食品烹饪，连续使用并不影响各自的风味。玉米油含有生育酚（即维生素 E）每百克中含量约 80~250 毫克，具有很强的抗氧化作用，所以储存性好，不致发生酸败和产生异味，特别适于油调味料中使用。西餐中生菜所用的“沙拉油”是玉米油配制的。除食品应用外，玉米油在其他工业的用途也不少。玉米油中含有卵磷脂和脑磷脂，可混水于油中使之沉淀，用离心机分离，为良好的乳化剂和抗氧化剂，在食品、医药和其他工业中的用途多。玉米油在医药工业中可用为维生素和其他药物的溶剂，制造维生素丸和药剂。玉米油为半干性油，适于油漆工业中应用。玉米油中不能被碱所皂化的物质大部分为甾醇，为制性激素的原料。经硫酸处理得磺化玉米油可用于鞣制皮革，也是纺织工业浆料的良好滑润剂。玉米油可与硫磺作用，生成价廉的类似橡胶的物质，作为橡胶的填充料或代替品。提取玉米油所剩油饼含有原来存在于胚芽中的全部蛋白质，含八种必需氨基酸的比例与鸡蛋中蛋白质相若，营养价值高。

上面提到的各种付产品的价格高，美国市场的情况，其收入可达原料玉米购价的 50~70%，所以淀粉的净成本低。发展玉米淀粉工业，同时发展了饲料工业。美国年产饲料约 230 万吨，其中主要是来自玉米淀粉工业付产品。

制得的淀粉产品称为原淀粉，虽然还未达到 100% 的纯度，但所含的很少量杂质对于应用无不利影响。淀粉的用途广阔，除食品工业以外，在造纸、纺织、化工、医药、铸造、冶金、石油和其他工业中都有应用。又将这种原淀粉进一步再加工制成数目众多的变性淀粉和衍生物，使具有优良的性质，符合于不同应用的要求，效果更好。这种变性淀粉和衍生物的生产近年来发展迅速。淀粉也是重要的原料，进一步加工成糖品，酒精和其他发酵产品，化工原料等。

我国的淀粉工业发展快，全国各地几乎都有淀粉工厂，玉米是重要的原料。但是淀粉工厂的数目多，规模小，工艺和设备不够先进，产品种类少，质量也差，与工业发达国家比较，差距很大。现在淀粉年产量估计约有 60 万吨，已有滞销现象，有的工厂因为产品卖不出去，被迫减产或停产。主要原因是淀粉的进一步加工工业没有发展，否则这样小的产量应当远远满足不了需要。试与美国的情况对比一下。美国现在年产淀粉约 900 万吨。其中约 600 万吨以上用于为生产淀粉糖的原料，其余为淀粉产品出售。由玉米生产动力酒精的新工艺是采用制淀粉的工艺，先将各种付产品分离开来，制成粗淀粉为原料，再糖化，发酵。若是计入这种粗淀粉的产量，那就更多了。

表 一 1 付产品中蛋白质的氨基酸组成

	玉 米 浆	蛋 白 粉	麸 质 饲 料	油 饼
丙 氨 酸	7. 2	8. 4	6. 7	6. 5
精 氨 酸	4. 4	3. 1	4. 5	5. 8
天 冬 氨 酸	5. 6	5. 8	5. 4	6. 5
胱 氨 酸	3. 2	1. 8	2. 2	1. 8
谷 氨 酸	14. 0	22. 1	15. 2	14. 2
甘 氨 酸	4. 4	2. 6	4. 5	4. 9
组 氨 酸	2. 8	1. 9	3. 1	3. 1
异 亮 氨 酸	2. 8	3. 7	2. 7	3. 1
亮 氨 酸	8. 0	16. 3	8. 5	8. 0
赖 氨 酸	3. 2	1. 6	2. 7	4. 0
蛋 氨 酸	2. 0	3. 1	2. 2	2. 7
苯 丙 氨 酸	3. 2	6. 1	3. 6	4. 9
脯 氨 酸	8. 0	8. 9	7. 6	5. 8
丝 氨 酸	4. 0	5. 0	4. 5	4. 4
苏 氨 酸	3. 6	3. 2	4. 0	4. 9
色 氨 酸	0. 2	0. 5	0. 5	0. 9
酪 氨 酸	2. 0	4. 7	2. 7	3. 1
缬 氨 酸	4. 8	4. 4	4. 5	5. 3

(二) 变性淀粉和衍生物

由玉米生产的淀粉产品称为原淀粉，因为其化学结构和性质基本上与原来存在于玉米粒中时相同，在加工过程中引起的变化很少。随着淀粉技术的发展，又进一步用化学、物理或酶法处理原淀粉，改变其性质，使更适于一定应用的要求，效果更好。这种二次加工的产品种类多，统称为变性淀粉，意思是改变了性质的淀粉。

淀粉是由葡萄糖组成的多糖，分子中具有数目众多的醇羟基，能与化学试剂起反应成酯和醚衍生物，很少量的羟基被取代便能改变淀粉的性质很多。这是最重要的改变淀粉性质的方法，许多种变性淀粉是通过化学反应制得。随着所用化学试剂的不同，反应条件的不同，取代程度的不同，能制得不同的变性淀粉产品，具有不同的性质，符合不同应用的要求。这类变性淀粉也是淀粉衍生物，但是绝大多数产品都是很低程度取代的衍生物，即淀粉分子中数目众多的葡萄糖单位中只有很少数羟基与化学试剂起了化学反应。

淀粉的应用，普遍是加热淀粉乳使之糊化，应用所得的淀粉糊。糊的粘度性质很重要，变性处理的主要目的是改变糊性质，如糊化温度的高低，热粘度的高低和继续受热的稳定性，冷粘度的高低，凝沉性的强弱、形成凝胶的难易和凝胶的强度，冷冻稳定性，胶聚力，成膜性和膜的强度，透明度，对酸和机械剪力影响的稳定性等等。

变性淀粉的发展使一些旧的应用效果更好，更适于新生产技术操作的要求，还开辟了许多新的用途。例如，造纸和纺织工业使用淀粉为施胶剂和上浆剂已有很久的历史，但是使用变性的效果更好。工业生产技术在不断发展，新产品不断出现，许多情况下原淀粉的性质已不能适应这些变化的要求。例如，新的食品加工技术常用高速搅拌和高温喷射，影响淀粉粘度降低，通过变性处理能提高粘度稳定性，避免或减少降低，更为适用。低温冷冻需要淀粉糊具有冷冻稳定性，生产的食品在冷冻和再解冻的过程中仍能保持原来的组织结构，不发生变化。原淀粉糊的冷冻稳定性低，冷冻再解冻，食品的胶体组织结构被破坏，不适用，通过变性处理能提高冷冻稳定性，避免这种缺点。变性淀粉具有新的性质，开辟了许多新的用途，即从前不使用淀粉的，现在能用变性淀粉。例如，羟乙基淀粉用为代血浆，高度交联淀粉用为橡胶剂制品的润滑剂，交联淀粉黄原酸酯用于处理工业废水脱除重金属。

随着变性淀粉生产的发展，食品、造纸、纺织和其他工业应用的量越来越多。例如，1979年美国造纸工业的统计，全年生产的纸张和纸制品64,905,000吨，用淀粉640,000吨，为产品重量的百分之一，所用淀粉中70%为淀粉工厂生产的多种变性淀粉，其余30%为原淀粉，但其中大部份还是纸厂自行变性处理而后应用，也可以讲，造纸工厂使用的淀粉几乎全部为变性淀粉。其他工业虽然没有这样的统计，但情况是相似的。

工业上生产的变性淀粉产品，种类繁多，究竟有多少种，很难统计。在淀粉工业发达的国家如美国、日本、曾有人估计工业上生产的品种达1000种以上。曾进行研究过的变性淀粉的种类就更多了。

工业上生产的变性淀粉主要有下例几大类，每一类又有许多不同的产品。予糊化淀粉，次氯酸钠氧化淀粉，双醛淀粉，交联淀粉，阳离子淀粉，阴离子淀粉，羟烷基淀粉，淀粉醋酸酯，淀粉磷酸酯，淀粉黄原酸酯，接枝共聚物，糊精，酸变性淀粉，酶变性淀粉，热变性淀粉等。这里无法介绍各类不同变性淀粉的生产工艺，性质和用途。淀粉科学技术已达到这样的高水平，对任何一种用途几乎都能生产出适用的变性淀粉。

变性淀粉在我国的生产还是处于发展的初阶段，产品种类少，产量也小，在食品，造纸纺织和其他工业中基本还没有使用变性淀粉。例如，造纸的施胶和涂布在国外早已使用许多种类的变性淀粉，但在我国还是使用来自牛奶的干酪素，价格贵，效果也差。近来淀粉工业界对于生产变性淀粉的兴趣很浓厚，大有发展前途。有关工业也应当了解变性淀粉的优良性质，积极采用。

(三) 淀粉糖

淀粉制糖已有很久的历史，但是近年来由于若干重大技术突破，发展特别迅速，产品种类多，产量大。玉米已成为重要的制糖原料，有的国家中其重要性已超过甘蔗和甜菜，如美国、日本。美国生产的各种淀粉糖的产量已达650万吨，仍在逐年增加中，由甘蔗和甜菜生产的蔗糖各约为250万吨。美国每人消用量总计约1300多万吨，其中一半是来自玉米的淀粉糖，按人口平均计算，每人每年已达约30公斤。

淀粉虽然没有甜味道，但它的化学结构是由葡萄糖组成的多糖，通过水解反应又能转变成具有甜味的葡萄糖。工业上便是应用这种水解反应制造葡萄糖，结晶产品有含水 α -，无水 α -和无水 β -葡萄糖，还有包括二种异构体的全糖，为粉末状产品。若是水解反应停止在中间阶段则得糖份组成为葡萄糖，麦芽糖，低聚糖和糊精的糖浆，具有温和的甜味，为无色，透明，粘稠的液体产品。采用酸法，酶法或酸酶法不同的工艺，水解到不同的程度，能变更产品中的糖价组成，使具有不同的甜度和其他性质，适合不同的应用的要求，产品种类多，统称为淀粉糖浆。葡萄糖和淀粉糖浆的产量大，美国的年产量分别为约40多万吨和200万吨，用途也广，但是因为甜度不高，不是重要的甜味料。葡萄糖的甜度为蔗糖的70%，淀粉糖浆的甜度还低一些。

六十年代末期发明了酶法转变葡萄糖成果糖的异构化工艺，淀粉制糖工业开始生产含有果糖的糖浆，甜度高，其他性质也好，已成为重要的甜味料。因为这种糖浆的糖份组成主要为果糖和葡萄糖，所以称为果葡糖浆，以区别于其他种淀粉糖浆。这种果葡糖浆为无色、透明，甜味可口的粘稠液体产品，加工过程中曾用活性碳和离子交换树脂精制，纯度很高。天然蜂蜜的糖份组成也主要是果糖和葡萄糖，果葡糖浆甜味与蜂蜜相似，又有人造蜂蜜之称。果糖是天然糖中最甜的，相当于蔗糖甜度的一倍半，广泛存在于各种水果汁中，风味好，为人们所喜爱，现在工业上已能大量生产，用为甜味料，这是制糖工业的重大技术突破。

国外生产的果葡糖浆主要为果糖含量42%和55%二种产品，还有果糖含量90%产品，前一种产品的甜度等于蔗糖(干基比较)，后二种的甜度高于蔗糖，分别为蔗糖的1.1和1.4倍。前一种的糖份组成为果糖42%，葡萄糖53%，低聚糖5%，浓度71%。第二种的糖份组成为果糖55%，葡萄糖40%，低聚糖5%，浓度77%。这二种产品广泛应用于食品工业。后一种的糖份组成为果糖90%，葡萄糖7%，低聚糖3%，浓度80%，产量小，限于医疗食品中应用。自从投产以来，这种果葡糖浆新甜味料的发展迅速。国外现时生产果葡糖浆的国家有美国、加拿大、阿根廷、秘鲁、比利时、法国、西德、意大利、荷兰、英国、西班牙、埃及、匈牙利，南斯拉夫、苏联、日本、南朝鲜、新加坡、印尼等国，其中以美国和日本发展最快。美国的果葡糖浆销用量在1975年约50万吨(干基计)，1980年约190万吨，现在约400万吨。一种新型糖品发展这样快，在制糖工业历史上是从来没有过的。

表 — 2 1975—1985年美国各种糖消用量变化
(干基、单位万吨)

年份	蔗 糖	淀 粉 糖				总糖量	淀粉糖 占总糖量%
		淀粉糖浆	果葡糖浆	葡萄糖	总量		
1975	873.4	171.4	48.2	49.4	269.0	1142.4	24
1976	923.5	172.8	71.5	49.9	294.2	1217.7	24
1977	941.0	175.9	94.2	41.3	311.4	1252.4	25
1978	923.2	179.6	122.1	38.5	340.2	1263.4	27
1979	911.9	181.9	154.3	39.0	375.2	1287.1	29
1980	854.5	188.2	190.5	39.8	418.5	1273.0	33
1981	820.3	192.0	228.6	40.6	461.2	1281.5	36
1982	787.5	195.8	274.3	41.4	511.5	1299.0	39
1983	756.0	199.7	315.4	42.2	557.3	1313.3	42
1984	725.8	203.7	362.8	43.1	609.6	1335.4	46
1985	696.8	207.8	399.0	43.9	650.7	1347.5	48

按人口平均计算，美国每人每年消用各种淀粉糖和蔗糖量变化情况表示于表—3。如表中数据表示，1975年淀粉糖用量每人每年12.6公斤，其中2.3公斤为果葡糖浆，1980年分别增加到18.6公斤和8.6公斤，1985年分别增加到28.2公斤和17.3公斤。蔗糖用量每人每年在1975年为41.0公斤，1985年下降到30.2公斤。1985年美国每人每年平均消用各种糖总量为58.4公斤，其中28.2公斤为淀粉糖，为总消用糖量的48%。

表 一 3 1975—1985年美国各种糖消用量变化
(干基、公斤/人/年)

年份	蔗 糖	淀 粉 糖				糖总量	淀粉糖 占总量%
		淀粉糖浆	果葡糖浆	葡萄糖	淀粉糖 总 量		
1975	41.0	8.0	2.3	2.3	12.6	53.6	24
1976	43.0	8.0	3.3	2.3	13.6	56.6	24
1977	43.5	8.1	4.3	1.9	14.3	57.8	25
1978	42.3	8.2	5.6	1.8	15.6	57.9	27
1979	41.4	8.3	7.0	1.8	17.1	58.5	29
1980	38.5	8.5	8.6	1.8	18.9	57.4	33
1981	36.7	8.6	10.2	1.8	20.6	57.3	36
1982	34.9	8.7	12.2	1.8	22.7	57.6	39
1983	33.3	8.8	13.9	1.8	24.5	57.8	42
1984	31.7	8.9	15.8	1.9	26.6	58.3	46
1985	30.2	9.0	17.3	1.9	28.2	58.4	48

果葡糖浆的甜度高，风味好，其他性质也好，价格便宜，被广泛应用于饮料、面包、糕点、罐头、乳制品和其他食品中代替蔗糖或与蔗糖混合使用，效果好，深受欢迎。用果葡糖浆配制的汽水饮料，风味好过蔗糖。果葡糖浆的发酵性，焦化性和保潮性好，用于面包生产，发酵速度快，所得面包的风味好，外观好，放置能保持松软，不变干。根据1983年和1984年美国不同工业销用蔗糖和果葡糖浆的量表示于表—4。

表 一 4 美国不同工业消用蔗糖和果葡糖浆量比较

(1983和1984年估计, 单位万吨)

	蔗 糖		果葡糖浆 (干 基 计)		果 葡 糖 浆 占 总 用 糖 量 %	
	1 9 8 3	1 9 8 4	1 9 8 3	1 9 8 4	1 9 8 3	1 9 8 4
饮 料	113.2	74.8	197.3	240.4	63.5	76.2
面包糕点	125.8	128.3	42.4	44.0	25.2	25.2
罐 头	41.1	42.0	59.4	61.2	59.0	59.3
乳 制 品	34.9	35.6	18.6	19.1	34.0	34.9
糖 果	98.6	100.6	1.8	1.8	1.8	1.8
其他食品和非食品应用	50.9	51.9	7.0	14.5	12.1	21.8
总 计	464.6	433.2	326.6	381.0	41.4	46.8

如表中数据所表示, 消用果葡糖浆最多的为饮料工业, 其次为罐头, 面包糕点, 乳制品, 糖果等。果葡糖浆需要量仍在增加中, 汽水饮料使用果葡糖浆量在1984年为总糖量的76.2%, 估计很快将全部使用果葡糖浆。这种形势促进淀粉糖工业进一步的发展, 筹建新厂, 若干工厂也在增加设备, 扩大产量, 估计1985年产量将增加约72.5万吨, 其中42%果糖产品约26.7万吨, 55%果糖产品约45.8万吨。55%果糖产品的产量增加较快, 现在已达总产量60%, 汽水饮料工业使用这种产品。

随着食品科学和技术的发展，对于糖品性质的要求愈来愈高，除甜度外，其他性质如结晶性、吸潮性、保潮性、粘度、渗透性、发酵性、焦化性、化学稳定性、代谢性等都很重要，不同的食品对于这些性质的要求不同。淀粉制糖的产品种类多，有几十种，具有不同的性质，适合不同应用的要求，效果好，这是一个很大的优点。蔗糖产品只有一种。果葡糖浆的不同性质在不同食品加工中的应用，简要地表示于表—5。

表 — 5 果葡糖浆性质在不同食品中的应用

食 品	果 葡 糖 浆 性 质						
	甜度	风味	发酵性	焦化性	吸潮性	渗透压力	结晶控制
汽 水	✓	✓					
果汁饮料	✓	✓					
甜 酒	✓	✓					
面 包	✓	✓	✓	✓	✓		
糕 点	✓	✓	✓	✓	✓		
水果罐头	✓	✓				✓	
果 酱	✓	✓				✓	✓
蜜 饯	✓	✓				✓	✓
甜 泡 菜	✓	✓				✓	
冰 琪 淋	✓	✓					
软 糖 果	✓	✓			✓		✓

利用玉米制淀粉糖的优点多。原料丰富，又易于运输和储存，设厂不受规模和地区限制，工厂能保持全年开工，设备利用率高，采用酶法工艺，需要的设备较简单，投资费省，耗能低，付产品多，净成本低。美国葡萄糖，淀粉糖浆和果葡糖浆的售价都低于蔗糖，虽然近年来蔗糖的价格波动很大，现在降到很低，糖厂在亏损。

玉米制糖的技术水平高，设备先进，采用密闭生产制度，原料玉米的全部组成部分都制成产品和付产品，没有任何废渣，废水或废汽排出厂外，没有环境污染问题。美国果葡糖浆工厂的规模大，一般是日产果葡糖浆1000吨(干基计)，日加工玉米1750吨，每年工作350天计，年产量达35万吨。用电子计算机控制各生产工序，自动化程度高，生产稳定，效率高，全厂工人150人，其中100人操纵电子计算机。还有更大规模的工厂，处理玉米达4000吨以上，兼生产淀粉和其他种淀粉糖品。1.7吨玉米生产1.0吨(干基)果葡糖浆，果葡糖浆的产率为玉米重量的60%。

玉米是制糖的好原料，利用付产品又同时发展了饲料工业，这个意义也是很重要的。玉米产量少或不产玉米的国家也在进口玉米发展果葡糖浆生产，如日本、南朝鲜和我国台湾

省。1985年3月31日中央电视台的晚间新闻中曾介绍台湾糖业公司生产果葡糖浆的情况。苏联也在发展果葡糖浆生产，并予言玉米将成为全世界的主要糖源。

果葡糖浆是液体糖品，它的运输，储存，分配和使用在国外生产工厂，运输部门和食品工厂之间已形成一种很好的制度，有专用设备。运输用罐火车，还有大型罐卡车，由生产工厂直接运到食品工厂，泵入密闭的储存罐中，使用时再泵到生产车间，既方便又卫生。

果葡糖浆的大发展，技术不断改进，成本不断降低，现在美国成本的组成表示于表一6。如表中数据所表示，成本的一半是原料玉米，其次为能源，人工，化学药品，酶制剂等。采用节能措施，热利用率较10年前提高约三分之一。酶制剂在不断改进，活力提高，性质更好，但几年来价格很稳定，影响酶制剂费用在总成本中比例不断降低，1978年为16%，现在已降低到5%。生产第二代产品的色谱分离技术，最初是采用间歇工艺，以后采用连续工艺，糖份收回率提高10—15%，用水量降低约一倍。由于这些原因，果葡糖浆的加工成本一直在下降，与1965年比较，已降低约40%。

表 一 6 果葡糖浆生产成本组成

项 目	占总成本(%)
玉 米	50
能 源	20
人 工	10
化学药品	10
酶 制 剂	5
其 他	5
总 计	100

淀粉制糖技术虽已发展到很高水平，但各国在进行中的基础理论和应用技术的研究很多，这些工作取得的成果将会进一步促进技术的发展。例如异构酶的性质和活力不断提高，从前1公斤能生产2吨果葡糖浆，现在已达到4吨，又有报导已研究成功能生产20吨以上的异构酶。在研究中的一种新酶能转变葡萄糖全部成果糖，已在进行中间工厂规模试验。还有固定化糖化酶和固定化混合粉糖化异构酶等研究，都取得了好的进展。

淀粉制糖在我国本有很悠久的历史，至迟在公元前约1000年左右已开始用麦芽制饴糖，一直到现在仍很普遍。但是采用新工艺生产各种淀粉糖品却发展慢，产品种类少，产量也小。现在结晶葡萄糖产品只有含水 α -葡萄糖一种，年产量约5万吨，几乎全部供医药用，还是供不应求。葡萄糖浆产品只有中等转化一种，年产量约20万吨，果葡糖浆还在开始发展，全国只有几个小厂，产量小，都是生产42%果糖含量的一种产品并且困难重重。这种情况远远满足不了需要，应当大力发展。

我国的食糖主要由甘蔗和甜菜生产的蔗糖，现在年产量已达约500万吨，满足不了人民生活的需要，连年来国家每年用几亿元美金的外汇由外国大量进口蔗糖。按全国10亿人口平

均现在每人每年消用糖约6公斤，是十分低的。现在全世界平均每人每年消用糖约22公斤，工业发达的国家人民的生活水平高，每年消用糖量达约60公斤。随着我国人民生活水平的不断提高，对糖的需要量还将大大增加。象糖这种生活必需品，不能长期依靠进口，应当发展自己的制糖工业，从根本上解决，更应当参照国外制糖工业的发展新趋势，成功的经验和先进技术，重视丰富淀粉资源的利用，大力发展玉米制糖工业。美国本来是个缺糖的国家，每年曾进口几百万吨蔗糖，但大力发展玉米制糖以来，逐年减少进口量，现在接近自足的程度，这个成功的经验值得我们学习。

(四) 动力酒精

自从1973年发生石油危机以来，价格飞涨，供应短缺。面对这种形势，许多国家开辟能源新途径，解决动力燃料问题。巴西、美国和若干其他国家开发生物能源，利用糖和淀粉碳水化合物为原料发酵生产酒精代替汽油，用为汽车燃料的成功经验表明这是一条好途径。

巴西是拉丁美洲第一大石油消费国，本国的石油产量远满足不了需要，每年花用大量外汇由国外进口。1975年全国消耗汽油150亿升，其中80%靠进口，支出的外汇约为该国全部出口贸易收入的25%。1979年进口汽油支出的外汇达110亿美元，为出口贸易收入的46%。该国政府为解决能源问题，努力开发本国石油资源外，于1975年11月制定国家酒精计划(National Alcohol Program)，利用丰富的甘蔗和木薯资源，大力发展酒精生产，用为汽车燃料，经过十年来的努力，这顶能源政策取得重大成效。现在该国使用酒精燃料和酒精与汽油混合燃料的汽车遍及全国，前者约250万辆，后者约800万辆。近几年来，巴西新购置的汽车大部分都装有使用酒精为燃料的发动机，这种汽车的价格较便宜，燃料费比较用汽油便宜。巴西政府采取补贴鼓励政策，保持酒精的售价低于汽油百分之三十。酒精产量逐年大幅度增长，十年来增加约20倍。1983年已达79亿升，其中53亿升为含水酒精，26亿升为无水酒精。当年节约进口汽油的外汇约20亿美元，4年累计节约外汇约78亿美元。1985年酒精产量为120亿升，代替汽油量750万吨。计划到1990年能用自产的酒精代替进口汽油，达到能源自给，种植制酒精原料的甘蔗和木薯所需要的面积约占国土的2%。这种自给是永远自给，因为蔗糖和淀粉属于无限的再生资源，每年更生，永不会枯竭，并且随着科学技术的发展，产量还会不断增加。

巴西开发生物能源的成功经验引起其他国家的重视，也发展酒精为汽车燃料。美国以玉米为原料生产酒精，1979年产量约6000万加仑(1加仑=3.8升)，现在约6亿加仑，到1990年将增加到10亿加仑。美国是使用酒精和汽油混合燃料，称为Gasohol。Gasohol为汽油(Gasoline)和酒精(Alcohol)二字组成。1979年统计，美国汽油用量每年约1100亿加仑，以酒精用量10%计算，每年需要酒精量约110亿加仑。美国政府认为用玉米生产动力酒精是解决能源问题的好途径，采取鼓励政策，减收混合燃料的零售商业税，对于工厂的建造也有贷款，减税等优惠政策。1978年美国成立了国家混合燃料委员会(National Gasohol Commission)从事提倡。自从50年代石油化学工业发展以来，美国工业用酒精全部用乙稀合成，发酵酒精被淘汰，但由于石油和天然气价格上涨，来源困难，利用价廉的玉米发酵酒精又合算，现在发酵酒精的产量已超过合成酒精。

美国是玉米产量最多的国家，主要用为牲畜饲料，若大量用于生产动力酒精，是否将影响牲畜业肉食的生产？美国曾进行科学研究，不但不降低，还会增高。利用玉米为原料生产

酒精，只是利用其中淀粉，其余油脂，蛋白质，纤维素等部分都存留于酒精的蒸馏废液中，经浓缩，干燥为饲料，除包括原来玉米中的营养成分以外，又加上酵母菌体，饲养价值高过原来的玉米。曾用这种饲料喂养肉牛，每日每头喂1.5公斤，与喂同样玉米的牛相比，前者体重增加高12.9%。美国需要这种饲料的量很大，相当于每年酒精产量200亿加仑的所能产生的量。由这种干废料中能抽提出来50%的蛋白质，适于食用，剩余部分再用为饲料。用玉米生产酒精还会增产食品，所以美国宣传玉米动力酒精的口号是“将来的食品和燃料”(Food and Fuel for the Future)。

利用玉米发酵生产酒精的老工艺是干法磨成细粉，混入水中，加热到沸点使淀粉糊化，冷却到约60℃，加入麦芽，糖化淀粉，再冷却到约30℃，加入酵母，发酵约72小时以上，蒸馏得酒精。此工艺有若干缺点，如淀粉糊化需用水和蒸汽量大，糊化淀粉于冷却过程中发生凝沉现象，一部分重新结合成结晶结构，不易被糖化，蒸馏废水所得的饲料价格低。因为工业上长期没有用发酵法生产酒精，技术未得到改进。但在这期间，玉米制淀粉和酶液化，糖化淀粉的制糖技术发展很快，采用这些新技术能改进发酵酒精的工艺。一种工艺是先将玉米制成粗淀粉，收回玉米油，玉米浆，蛋白粉和麸质饲料，再用酶液化，糖化淀粉，酵母发酵酒精。各步工序按照制淀粉，葡萄糖的工艺，但有所简化。浸泡过的玉米不磨细，淀粉不清洗，淀粉不糖化到最高程度，糖化液也不精制。这种工艺的优点是收回的付产品价格高，酒精的成本低，用水量少，蒸发耗能低，糖化酶水解淀粉的效能高过麦芽，能提高酒精产率，酵母还能重复使用。另一种工艺是用液化酶直接液化玉米粉达到约15葡萄糖值，冷却到60℃，加入糖化酶1~2小时达到葡萄糖值约40，冷却到30℃，加入酵母，在发酵过程中糖化酶能继续起水解作用产生葡萄糖，虽然速度较慢，但能产生足够的葡萄糖满足酵母的需要。另一种工艺是充分糖化2~3天达到葡萄糖值95以上，然后冲淡，冷却，加酵母发酵。但这二种工艺酵母发酵的时间都在95小时以上，这表明发酵前充分糖化并没有优点，还是糖化和发酵同时进行的工艺好，加工时间短。

酒精是好汽车燃料，它的抗爆燃性能好，相当于高级汽油，无须添加防爆剂四乙铅。抗爆燃性是指汽油在汽车发动机气缸中燃烧时阻止发生爆燃现象的性能。汽油的这种性质用辛烷值表示，汽油的级别也根据辛烷值的高低分类。高级汽油的辛烷值在90以上，酒精的辛烷值为118。汽油的发热量为每公斤10,500千卡，酒精的发热量为每公斤7,100千卡，约为汽油的三分之二，汽车行驶的里程也同比例低一些。酒精的燃烧完全，排出的废气中含一氧化碳、碳氢化合物和氧化氮等有害气体的量较少，对于大气环境污染较小，所以又有“清净”燃料之称。酒精的发热量虽低于汽油，但是燃烧效率稍高，1升酒精能代替0.73升汽油。

酒精发酵液经过蒸馏得酒精与水的共沸物，用体积表示，含酒精97.2%。若用重量表示，含酒精95.6%，称为含水酒精，再经用苯或环己烷脱水，蒸馏得无水酒精。这二种酒精都能用于混合燃料，但若用含水酒精，所含少量水份可能引起酒精和汽油分层，1%的水份含量易引起分层，影响汽车化油器正常工作。酒精能以任何比例与汽油混合，用为汽车混合燃料。酒精混入量在20%或以下，应用于一般汽车无任何困难，但混入量高过20%时，汽车发动机结构需要做些更改，否则会引起启动困难。

混合燃料是用不加铅防爆剂的普通汽油，混合燃料的抗爆燃性能有所提高。酒精本身的辛烷值为118，加铅汽油的辛烷在87—93之间，不加铅汽油，辛烷值为87或以下。混入10%酒精能提高汽油的辛烷值3—4，这种混合燃料是当做高级汽油出售。混合燃料不仅节约了汽

油，还提高汽油的质量，这个意义是重要的。另外应用的辛烷值提高剂，还有甲基三丁基醚，三丙基醇和甲醇，甲苯，它们的辛烷值分别为109，105和103，都低于酒精。这些提高剂都是来自石油。

巴西的动力酒精生产是石油价格高涨期间发展起来的，现在石油价格又暴跌，对这种能源政策的影响如何？曾产生了些争论。最近(1986年初)巴西政府曾为此事专门开会研究，会后发表纪要提出，酒精发展计划暂不改变。汽车制造业，酒精工业和酒精车主们都反对改变。

根据美国环境保护局的调查，该国空气污染严重，80%是由于使用含铅汽油，排除废气所引起的。全国有卡车和轿车约一亿五千五百万辆，汽油废气污染空气是十分严重的。这种污染是引起贫血和神经疾病等的主要致因之一。为此，美国政府决定自1986年开始将原来每加仑汽油含铅量从0.5克降低到0.1克，从1988年起将只准使用无铅汽油。并且规定，1975年以前取得牌照的汽车必须使用无铅汽油。酒精是清净燃料，与普通汽油混合能提高的辛烷值达到高级汽油质量，不必添加四乙铅防爆剂，避免废气产生的空气污染，这个意义越来越重要。

巴西除使用这种混合燃料以外，自1980年开始生产专用酒精为燃料的汽车，该年产25万辆，1981年1982年分别产30和35万辆。

开辟生物能源生产动力酒精解决能源短缺问题是一个好途径，我国石油工业发展快，但是产量还满足不了需要，供应困难，有时买不到汽油，不得不封车、停驶。我们应当参照国外的成功经验，也利用丰富的玉米资源，生产动力酒精。

(五) 有机化工原料

有机化学工业生产薄膜、塑料、树脂等产品的原料现在几乎全部是来自石油和天然气的碳氢化合物。这属于有限的资源，自从石油危机以来，供应短缺，价格高涨，来源有趋向枯竭的危险。有限的资源总是越用越少，最后会用完，这是肯定的。应当为有机化学工业开辟新的原料来源。发展淀粉、糖、纤维素等碳水化合物原料是一个好途径，这属于无限的资源，每年更生，取之不尽，用之不竭，并且随着科学技术的发展，产量还不断增加。例如，根据美国统计，自1940年到1970年，30年内各种农作物年产量平均每年提高2%。自1950年到1979年，玉米单位面积产量由每英亩的38蒲式耳(1蒲式耳等于35.3升)增加到109蒲式耳，几乎增加了3倍，年产量由28亿增加到77亿蒲式耳。现在农作物生长通过光合作用利用太阳辐射热能的效率还是很低的，只有生长期间太阳辐射热能的约2%。随着科学技术的发展，有人估计利用效率有可能提高到8~10%，碳水化合物的产量还会大增加。这种再生的碳水化合物资源在不同地区都有生长，来源不受地区的限制，石油属于矿产，却不是如此，有地区性，有的国家和地区有丰富的储存，有的却很少或根本没有。

近年来国外许多国家重视碳水化合物资源的利用，开展的研究工作很多，许多成果表明淀粉是一种能再生的好有机化工原料，能直接应用于生产薄膜、塑料、树脂等，或经过化学反应、微生物发酵转变成其他化合物而后应用，产品具有良好性质，大有发展前途。

淀粉乳糊化后，干燥能形成透明的薄膜，但强度低，抗水性差，在较高温度变粘，储存性也不稳定，用途有限。普通淀粉颗粒是由链淀粉和支淀粉二种高分子组成，前者是直链状，后者是支叉状，二者在性质方面存在很大差别。链淀粉的成膜性好，能形成强度高，柔

软性好的薄膜，支淀粉却没有这种性质，形成的膜很脆弱。有几种方法能将链淀粉和支淀粉分离开来，早在1960年工业上已有生产，链淀粉的可能用途很多，如薄膜、纤维、塑料、络合剂、上浆料、胶粘剂等，但是发展不大，主要是价格贵，竞争不过其他物料。少数淀粉品种不含链淀粉，如粘玉米，粘高粱和糯米，颗粒是由支淀粉组成。但是自然界还没有发现全部由链淀粉组成的淀粉。美国于50年代开始研究提高玉米中链淀粉的新品种，获得成功。链淀粉含量最高达约90%，其余为支淀粉。于60年代初开始种植链淀粉含量约70%的品种，加工成淀粉，称为高链玉米淀粉。这种高链玉米淀粉的性质不同于普通玉米淀粉，能形成强度高，性质好的薄膜，已用于工业生产，其他用途也不少。由淀粉制成的膜能够食用，适于食品工业应用，这是很大的优点，由石油化工原料制成的膜不能食用。

人工合成塑料中填加淀粉能使产品具有新的优良性质。例如，添加淀粉于聚氯乙烯薄膜能使水不透过，但水汽能渗透过，适于制做雨衣应用，填淀粉于塑料中，再水解除去，能产生多孔结构。添加淀粉于聚乙烯，聚氯乙烯薄膜或塑料中，能使具有霉菌微生物分解性，用过后再弃掉能受土壤中霉菌的作用而烂掉。塑料薄膜，包装材料，餐具和田间复盖地膜多是用过一次或使用很短时间即弃掉，处理困难，一般是烧掉，但引起空气污染。如何处理这些塑料垃圾的问题，随着用量的大量增加越来越严重。很需要微生物能分解的塑料。淀粉掺用量在40%以上，塑料具有适当的被霉分解速度。添加淀粉于聚乙烯醇塑料、能生产水溶性洗衣袋，特别适于医院应用。病人用过的污脏衣服和床单等盛于洗衣袋中，直接放入洗衣机中便溶解，如此能避免感染。这种水溶性袋也适于包装农药用，使用时装盛农药的袋置于水中即可，方便又安全。添加淀粉于塑料中能用挤压吹膜法生产薄膜，成本便宜。

聚氨酯塑料是二异氰酸酯与含有多元羟基的聚醚起反应而成，产品种类多，有软和硬的泡沫塑料，热塑和热固塑料，软和硬弹性塑料和薄膜等等，用途广，发展快。异氰酸基($-NCO$)与羟基($-OH$)起反应使分子链增长并起交联反应得高分子聚合物。最常用的异氰酸酯为芳香族异氰酸酯，如甲苯二异氰酸酯。聚醚的制备是用多元醇与环氧丙烷在碱性条件下，较高温度起反应而得。糖和糖的衍生物为多元醇化合物，是工业上应用的重要制备聚醚的原料，特别是制备聚氨酯泡沫塑料。工业上应用重要的糖和糖衍生物为蔗糖，山梨醇， α -甲基葡萄糖甙等。常用的石油多元醇为季戊四醇($C(CH_2OH)_4$)。乙二醇葡萄糖甙为新发展的多元醇原料，淀粉直接与乙二醇起糖基转移反应而得，工艺简单，成本便宜，性质好，适于各种聚氨酯塑料中应用。一种制造聚氨酯热固塑料的工艺，先用聚醚与二异氰酸酯起反应生成预聚体，再与淀粉混合，热压。这种热固塑料具有高强度，高硬度和其他优良性质，能代替钢材制作机器部件，代替木材用为建工材料。因为加入大量价格便宜的淀粉，聚醚也是来自淀粉，塑料的成本低。淀粉在这种塑料中起填充作用，又起交联作用，增强产品的强度，硬度和抗磨损性。应用含有溴或氯元素的聚醚制造的聚氨酯塑料，具有好防火性能，遇火焰不燃烧也不熔化。

淀粉能与丙烯腈，丙烯酸，丙烯酰胺，甲基丙烯酸甲酯，丁二烯，苯乙烯和其他人工合成高分子的单位起接枝共聚反应生成共聚物，淀粉分子链上连接有合成高分子的枝链。这是一种新发展的天然高分子与人工合成高分子学结合的方法，制备新型化工材料，大有发展前途。共聚物具有天然高分子淀粉和人工合成高分子二者的性质，因接枝单体的种类，接枝百分率，接枝频率和平均分子量而不同。许多种人工合成高分子单体($CH_2=CHX$)的淀粉共聚物曾被制备，研究其性质。若 $X=-CO_2H$ ， $-CONH_2$ ，所得共聚物溶于水，能用为增调剂，吸收剂，