

第一章 淀粉的存在与分离

第一节 淀粉的存在

一、淀粉的一般分布

淀粉在自然界中分布很广，是高等植物中常见的组分，也是碳水化合物贮藏的主要形式。在大多数高等植物的所有器官中都含有淀粉，这些器官包括叶、茎（或木质组织）、根（或块茎）、球茎（根种子）、果实和花粉等。除高等植物外，在某些原生动物、藻类以及细菌中也都可以找到淀粉粒。

植物绿叶利用日光的能量，将二氧化碳和水变成淀粉，绿叶在白天所生成的淀粉以颗粒形式存在于叶绿素的微粒中，夜间光合作用停止，生成的淀粉受植物中糖化酶的作用变成单糖渗透到植物的其他部分，作为植物生长用的养料，而多余的糖则变成淀粉贮存起来，当植物成熟后，多余的淀粉存在于植物的种子、果实、块根、细胞的白色体中，随植物的种类而异，这些淀粉叫作贮藏性多糖。

二、淀粉的分类

淀粉的品种很多，一般按来源分为如下几类。

(1) 禾谷类淀粉 这类原料主要包括玉米、米、大麦、小麦、燕麦、荞麦、高粱和黑麦等。淀粉主要存在于种子的胚乳细胞中，另外糊粉层、细胞尖端即伸入胚乳淀粉细胞之间的部分也含有极少量的淀粉，其他部分一般不含淀粉，但有例外，玉米胚中含有大约 25% 的淀粉。淀粉工业主要以玉米为主。针对玉米的特殊用途，人们开发了特用型玉米新品种，如高含油玉米、高含淀粉玉米、蜡质玉米等，以适应工业发展的需要。

(2) 薯类淀粉 薯类是适应性很强的高产作物，在我国以甘薯、马铃薯和木薯等为主。主要来自于植物的块根（如甘薯、木薯、葛根

等)、块茎(如马铃薯、山药等)。淀粉工业主要以木薯、马铃薯为主。

(3) 豆类淀粉 这类原料主要有蚕豆、绿豆、豌豆和赤豆等,淀粉主要集中在种子的子叶中。这类淀粉直链淀粉含量高,一般用于制作粉丝的原料。

(4) 其他淀粉 植物的果实(如香蕉、芭蕉、白果等)、基髓(如西米、豆苗、菠萝等)等中也含有淀粉。另外,一些细菌、藻类中亦有淀粉或糖元(如动物肝脏),一些细菌的贮藏性多糖与动物肝脏中发现的糖元相似。

三、淀粉原料的化学组成及质量标准

1. 玉米

玉米属禾本科作物,品种繁多。按籽粒形态及结构分类大致有硬粒种(为我国长期以来栽培较多的一种玉米)、马齿种或称马牙种(产量高,目前栽培面积较大)、粉质种(完全是粉质胚乳组成,我国很少栽培);其他品种有甜质种(甜玉米,籽粒含糖 15%~18%,多用作蔬菜或制罐头)、爆裂种等,但不是用作生产变性淀粉或制糖原料的品种。

(1) 玉米籽粒结构和各部分组成 玉米是由皮层、胚乳和胚三部分组成,玉米各部位的组成比例及各部分的主要化学组成分别见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 玉米各部位的组成比例(干基)

玉米全粒/%	胚乳/%	胚芽/%	皮及尖冠/%
100	79~85	8~14	5~6

表 1-2 玉米籽粒各部分的主要化学组成(干基)

籽粒部位	占全粒量/%	化 学 组 成				
		淀粉/%	糖类/%	蛋白质/%	油脂/%	灰分/%
胚乳	81.9	86.4	0.64	9.4	0.8	0.31
胚芽	11.9	8.2	10.8	18.8	34.5	10.1
种皮	5.3	7.3	0.34	3.7	10.0	0.84

(2) 普通玉米的化学组成 普通玉米品种的化学组成如表 1-3 所示。

表 1-3 普通玉米品种的化学组成

化学成分	范 围	平均	化学成分	范 围	平均
水分/%	7~23	16.7	灰分/%	1.1~3.9	1.42
淀粉/%(干基)	64~78	71.5	纤维/%	1.8~3.5	2.66
蛋白质/%	8~10	9.91	糖/%	1.0~3.0	2.58
油脂/%	3.1~5.7	4.78			

(3) 高油玉米及其化学组成 高油玉米是近年来由北京农业大学、中国农科院育成的品种，含油率9%~10% 比普通玉米高 1 倍左右，亩产量与普通玉米相同。玉米油营养价值较高，因此，淀粉厂改用高油玉米为原料可以较大地提高企业的经济效益（一个万吨级淀粉厂每年可多收油 500t）。高油玉米的化学组成如表 1-4 所示。

表 1-4 高油玉米的化学组成(干基)

品 种	淀粉/%	蛋白质/%	脂肪/%	来 源
高油玉米	67	9.96	8.3	内蒙古赤峰地区商品
高油玉米	65	9.84	9.95	长春市农科院
普通玉米	70.12	10.97	4.97	淀粉厂取样

(4) 高淀粉玉米及其化学组成 长春市农业科学院在“七五”期间育成高淀粉玉米杂交种“长单 26”，籽粒淀粉含量 75%，比普通玉米淀粉高 6 个百分点，每公顷产量可达 9000kg，高于普通玉米，是很有希望的高产、抗病、高淀粉玉米杂交种。

(5) 蜡质玉米(糯玉米)及其化学组成 蜡质玉米与普通玉米在化学组成上没有太大的区别，主要区别在于淀粉的分子结构上，100%是支链淀粉，因此，在生产变性淀粉时有特殊的性能。其化学组成如表 1-5 所示。

表 1-5 蜡质玉米的化学组成(干基)

水分/%	淀粉/%	脂肪/%	蛋白质/%	支链淀粉/%
14	68	5.7	9.5	100

(6) 玉米的质量标准 我国玉米的国家质量标准由国家标准局

1986年5月6日发布，各类玉米按纯粮率分等，等级指标及其他质量标准如表1-6所示。

表 1-6 玉米的质量标准

纯粮率/%		杂质含量/%	水分/%		色泽气味
等级	最低指标		一般地区	东北、内蒙古、新疆地区	
1	97.0	1.0	14.0	18.0	正常
2	94				
3	91				

注：1. 各类玉米以二等为中等标准，低于三等的为等外玉米。

2. 收购玉米水分的最大限度和玉米安全贮存的水分标准由省、自治区、直辖市规定。

3. 卫生标准和动物检疫项目按国家有关规定执行。

2. 马铃薯

马铃薯又名土豆、山药蛋、地蛋、洋芋、荷兰薯和爪哇薯等，属茄科，是一年生植物。

(1) 马铃薯的结构及化学组成 马铃薯为植物的块茎，形状为圆形或椭圆形，其结构由表皮层、形成层环、外果肉和内果肉四部分组成。

马铃薯的化学组成随产地、品种及贮存条件和时间的不同而变化，其淀粉主要存在于外部果肉中，淀粉含量因品种的不同差异很大，一般在9%~25%之间。马铃薯含微量的龙葵素有毒物质，其含量在贮存期间受日光照射引发等而急剧增加，会影响淀粉的含量。马铃薯普通品种的新鲜块茎的化学组成如表1-7所示。

表 1-7 马铃薯的化学组成

水分/%	淀粉/%	糖分/%	含氮物质/%	脂类/%	纤维/%	灰分/%
75.8	19.9	0.4	2.8	0.2	1.1	0.92

(2) 马铃薯的质量标准 中华人民共和国商业部 1985年10月16日发布的适用于省、自治区、直辖市之间调拨的商品马铃薯的质量标准如表1-8所示，马铃薯按完整块茎分等级。

表 1-8 马铃薯的质量标准

等级	完整块茎/% 每块 50g 以上	不完整块茎/%			杂质含量/%
		总量	疥癬	其他	
1	90.0	10.0	3.0	7.0	2.0
2	85.0	15.0	5.0	10.0	2.0
3	80.0	20.0	7.0	13.0	2.0

注：1. 马铃薯以二等为中等标准，低于三等的为等外马铃薯。

2. 卫生标准和动植物检疫项目，按照国家有关规定执行。

3. 完整块茎指完整、健全、不带绿色以及轻微擦伤后愈合的块茎。

4. 疥癬块茎指块茎表皮上有疥癬，所占面积达块茎表面二分之一及以上。

3. 木薯

木薯又称树薯、树番薯、南洋薯、槐薯和木番薯等，属大戟科、亚灌木，很少为草本，是多年生植物。

(1) 木薯的结构 木薯的主要部分为块根，通称为薯。成熟的块根分周皮（外皮）、薯皮（内皮）、薯肉（肉质层）和薯心四个部分。外皮占块根的0.5%~2%，内皮占8%~15%。块根中的淀粉包括游离淀粉和结合淀粉；块根的肉质层中含90%以上的游离淀粉，而结合淀粉绝大部分存在于块根的周皮和薯皮，与纤维及其他杂质交织在一起，在加工过程中很难分离出来。薯心由许多木纤维和导管形成贯通块根的中心，因此很坚硬，所以又称纤维心。

(2) 木薯的化学组成 木薯的化学组成因品种、生长期、土壤、降雨量而有很大的不同。从品种上来说，木薯基本上可分为甜种薯和苦种薯，这两个品种的差别主要在于氢氰酸的含量，每1kg鲜薯含氢氰酸50mg以下的为甜木薯，超过50mg的为苦木薯。氢氰酸在胚根，皮中含量比较高。苦木薯含淀粉一般要比甜种木薯高，这有利于淀粉的生产。木薯的化学组成如表1-9所示。

表 1-9 木薯的化学组成

品种	水分/%	灰分/%	脂肪/%	粗蛋白/%	粗纤维/%	淀粉及非氮可溶物/%
新鲜木薯	64.7	0.63	0.25	1.07	1.11	32.27
风干木薯	13.73	2.46	0.82	2.56	3.2	76.82

4. 其他含淀粉的原料

其他淀粉原料的化学组成如表 1-10 所示。

表 1-10 其他淀粉原料的化学组成

品种	水分/%	淀粉及糖分/%	蛋白质/%	脂肪/%	纤维素/%	灰分/%
小麦	15.0	67.1	12.0	1.8	2.3	1.8
高粱	15.5	75.9	11.1	3.7	2.6	6.5
粳米	14.03	77.64	6.42	1.01	0.26	0.61
籼米	13.21	77.50	6.47	1.76	0.20	0.56
糯米	14.5	76.3	7.0	1.0	0.4	0.8
甘薯	73.0	26.1	1.5	0.2	0.8	0.9

四、淀粉的含量

淀粉含量随植物种类而异，禾谷类籽粒中淀粉特别多，高达 60%~70%，大约占碳水化合物总量的 90%左右，其次是豆类（约 30%~50%）薯类（约 10%~30%），而油料种子中含淀粉较少。各种粮食籽粒中的淀粉含量如表 1-11 所示。

表 1-11 各种粮食籽粒中的淀粉含量（干基）

品 种	含量/%	品 种	含量/%	品 种	含量/%
糙米	75~80	燕麦(不带壳)	50~60	绿豆	50~55
玉米	64~78	(带壳)	30~40	赤豆	58
甜玉米	20~28	荞麦	35~48	大豆	2~9
高粱	69~70	黑麦	54~69	花生	5
小麦	58~76	甘薯 ^①	15~29	豌豆	21~49
大麦(不带壳)	56~66	木薯 ^①	10~32	缢皮豌豆	60~70
(带壳)	38~42	马铃薯 ^①	8~29	蚕豆	35

湿基。

同一种植物，淀粉含量随品种、土壤、气候、栽培条件及成熟条件等不同而不同，即使在同一块地里生长的不同植株，其淀粉含量也不一定相同，以玉米为例，见表 1-12。

表 1-12 不同玉米品种的淀粉含量

品 种	淀粉含量/(%) (质量)	品 种	淀粉含量/(%) (质量)
硬粒种	58~60	马齿种	70
粉质种	73	甜质种	20~28

同一品种不同组成部分淀粉含量不同，以马齿种玉米籽粒为例，

见表 1-13。

表 1-13 马齿种玉米籽粒各部分质量比例及化学组成（平均值，干基）

籽粒部分	质量比例/%	化学组成/%				
		淀粉	脂肪	蛋白质	灰分	糖
胚	11.5	8.3	34.4	18.5	10.3	11.0
胚乳	82.3	86.6	0.86	8.6	0.31	0.61
根冠	0.8	5.3	3.8	9.7	1.7	1.5
果皮	5.3	7.3	0.98	3.5	0.67	0.34
全粒	100	72.4	4.7	9.6	1.43	1.94

第二节 淀粉的分离

一、实验室制备淀粉的方法

淀粉在植物体中是和蛋白质、脂肪、纤维素、无机盐及其他物质联在一起的，要研究淀粉细微结构的物理化学性质，必须在实验室中小心地制备没有经受任何偶然改性的（如干磨、酶解）纯净淀粉，而不能用已经遭受化学改性的工业淀粉，下面介绍一种实验室方法的原理。

1964年，Badenhuizen 提出了分离淀粉的一般实验室方法。1966年，Adkins和 Greenwood 改进了 Bedenhuizen 的方法，从大麦、燕麦、黑麦、小麦和玉米中分离出淀粉，其步骤如下。

(1) 浸泡 将原料浸泡在 pH 值 6.5 的乙酸盐缓冲液中，其中含 0.01mol/L 的氯化汞（抑制微生物和酶），以软化籽粒，并抑制淀粉酶的降解作用。麦类在 6℃浸泡 30h；玉米 40℃浸泡 40~50h。

(2) 磨碎。

(3) 水中打浆。

(4) 乳浆依次过筛（150 μ m，75 μ m），除去纤维杂质。

(5) 重复磨浆、打浆、过筛，至筛上物无淀粉为止，得粗淀粉乳。

(6) 去除蛋白质 粗淀粉乳悬浮液与甲苯（体积比为 7:1）混合、振荡，以除去蛋白质（变性蛋白质在液体分界面被除去）。重复

此步骤至达到所要求的纯度（蛋白质质量分数小于 0.25%），但必须小心地从弃去的甲苯层中回收全部淀粉粒。

实验室制备淀粉的方法是采用温和的方法进行抽提，常用的有细胞破碎法、发酵法、碱法和表面活性剂等方法。不同的淀粉原料，实验室制备的方法存在差异，现分述如下。

1. 马铃薯、甘薯、木薯和山药等薯类淀粉

这类含淀粉原料的特点是蛋白质含量低，颗粒大，沉降性好，可以比较简单地采用沉降法加以分离，但此类原料中多酚氧化酶活性强，因此破碎组织后不能让淀粉颗粒暴露于空气，要尽可能使其沉淀在水中。为抑制淀粉酶活性，将磨碎物浸在含有微量氯化汞的水中，用沉降法去除杂质。

2. 小麦淀粉

以小麦粉为原料，加水，充分揉匀使之成湿面团，放置数小时使面筋的网状组织发展起来后，然后将面团在流动的水中揉洗，收集流出的淀粉，用沉降法去除杂质。

小麦淀粉蛋白质含量高，可通过发酵去除蛋白质，也可将淀粉悬浮在 0.2% 的碱液中，则蛋白质溶解，去除蛋白质，然后反复进行水洗、沉降操作，直至淀粉完全没有碱反应为止。

用小麦制小麦粉期间，有一部分淀粉颗粒受损伤，因此在要求很高准确性的场合，可用含有氧化汞的缓冲液（pH 值 6.5）在低温下使小麦粒吸水润胀，以抑制淀粉酶的作用，然后将其磨碎制成浆，再用上述方法分离精制淀粉。

3. 大米淀粉

大米淀粉是各种淀粉中与蛋白质结合最牢固的一种淀粉，仅用水洗是不能将其分离，通常采用碱法，即用 0.2% 的碱液浸泡米粉，使蛋白质溶解，从而通过水洗将蛋白质除去（类似小麦操作）。另外也有采用表面活性剂法分离大米淀粉，即利用表面活性剂与蛋白质结合而使淀粉分离（如烷基苯磺酸钠可使蛋白质变性，并形成络合物）。具体步骤是：在米粉（过 50 目筛，尽可能去除米糠）中加入 0.2% 烷基（ $C_{10}\sim C_{12}$ ）苯磺酸钠，振荡约 2h，利用米粉的颗粒粗，大米淀

粉颗粒小这一性质，用 200 目至 150 目的筛分离淀粉与米粉，将分离出的米粉部分加入新的表面活性剂再次进行抽提。将收集的淀粉用蒸馏水反复洗涤，除去表面活性剂，即分离得到大米淀粉。也可采用甲苯法分离大米淀粉和蛋白质，即将试样加入水与甲苯（体积比为1:8）的混合液中，振荡，使蛋白质变性，并使之集于水-甲苯的分界面处分离。

4. 其他淀粉

玉米等淀粉大体可用上述沉降法、发酵法、表面活性剂法或这些方法的组合法来分离制备。

二、淀粉的工业法生产

含淀粉质的农产品种类很多，但并不是都适用于大规模工业生产。作为规模生产淀粉的原料必需满足以下条件：一是淀粉含量高、产量大、副产品利用率高；二是原料加工、贮藏（薯类一般变成薯干）、销售容易；三是价格较便宜；四是不与人争口粮。因此，目前一般选用玉米较合适，其次是薯类；大米和小麦尽管产量大，但价格较高又是人的主要口粮，因此，只在部分产量比较集中的地区才用于加工淀粉及其深加工产品；豆类淀粉含量高，产量低，价格高，是很好的粉丝原料（如龙口粉丝的生产）。

欧美国家主要是以玉米、马铃薯、木薯、高粱为原料生产淀粉；日本主要是利用玉米或甘薯为原料生产淀粉；我国东北主要是以玉米为主，其他北方地区以马铃薯为主、广西、广东以木薯为主，其他南方地区以甘薯为主。

淀粉生产的原料不同，其生产工艺及其工艺参数也不同。如：禾谷类的小麦、玉米两种淀粉加工方式不同，小麦采用洗面筋的方法，而玉米采用浸泡研磨的方法。同一品种不同种类，加工工艺条件有所不同，如：玉米的硬质和软质种的生产工艺不同。现将我国主要的淀粉生产工艺分述如下。

（一）玉米淀粉的生产

玉米淀粉的生产方法很多，普遍采用的是湿法和干法两种工艺。所谓湿法就是指淀粉工业中的玉米原料前处理的加工方法是

将玉米用温水浸泡，经粗细研磨，分出胚芽、纤维和蛋白质，而得到高纯度的淀粉产品。所谓干法是指靠磨碎、筛分、风选的方法，分出胚芽和纤维，而得到低脂肪的玉米粉。一般获得纯净的玉米淀粉多采用湿磨工艺进行生产，其工艺流程可分为开放式和封闭式（派生部分封闭式）两种。在开放式流程中，玉米浸泡和全部洗涤水都用新水，因此该流程耗水多，干物质损失大，排污量多。封闭式流程只在最后的淀粉洗涤时用新水，其他用水工序都用工艺水，因此新水用量少，干物质损失少，污染大为减轻。所以现代化的淀粉厂均采用封闭式流程。

1. 湿法玉米淀粉生产工艺及设备

湿法玉米淀粉生产工艺流程如图 1-1 所示。

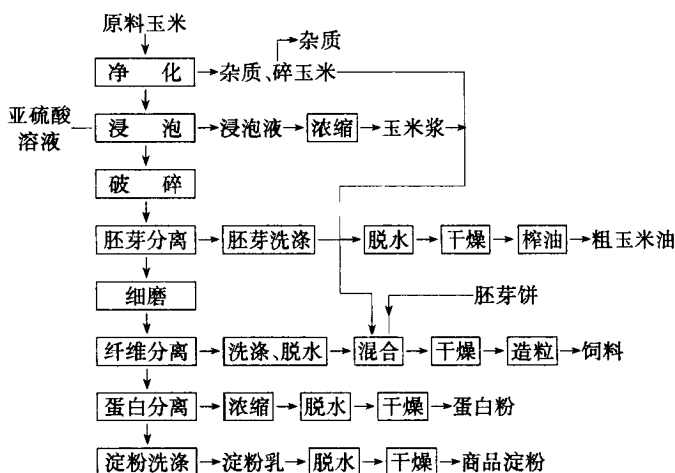


图 1-1 湿法玉米淀粉生产工艺流程

(1) 玉米净化 目的是去除灰分、黄曲霉毒素、金属碎片及石块等。常采用带有吸尘（风力）的振动筛，去除大、小杂质，电磁分离机去除铁片等，然后玉米采用水力输送到浸泡罐，同时将灰分除去。水力输送的速度为 $0.9 \sim 1.2 \text{ m/s}$ ，玉米和输送水的比例为 $1:(2.5 \sim 3)$ ，温度为 $35 \sim 40^\circ\text{C}$ ，经脱水筛，脱除的水回头作输送水用，湿玉米进入浸泡罐。

(2) 玉米浸泡 玉米的浸泡是在亚硫酸水溶液中采用逆流循环浸泡工艺进行的。浸泡的目的：一是使籽粒变软，籽粒含水分 45% 左右；二是使可溶物浸出，主要是矿物质、蛋白质和糖等；三是破坏蛋白质的网络结构，使淀粉与蛋白质分离；四是防止杂菌污染，阻止腐败生物生长；五是具有漂白作用，可抑制氧化酶作用，避免淀粉变色。浸泡时亚硫酸浓度 0.2%~0.3% 浸泡温度 48~52℃ 浸泡时间 40~50h。完成浸泡的浸泡液即稀玉米浆含干物质 7%~9%，pH 值 3.9~4.1，送到蒸发工序浓缩成含干物质 40% 以上的玉米浆。浸泡终了的玉米含水 40%~46%，含可溶物不大于 2.5%，用手能挤裂，胚芽完整挤出。其酸度为对 100kg 干物质用 0.1mol/L 氢氧化钠标准溶液中，用量不超过 70mL。

亚硫酸耗量（均指经吸收塔流出的亚硫酸水耗量）：浸渍过程为 120~140kg/100kg 绝干玉米；磨筛系统为 60~70kg/100kg 绝干玉米。

浸泡过程亚硫酸的浓度过高过低都不可以，这是因为过低时，乳酸菌繁殖加快，浸渍液酸度太高，部分淀粉水解为可溶性糖类，部分大分子长链断开，造成淀粉回收率低，此外，天然蛋白质大量降解成溶解状态，使浸渍水形成饱和溶液，大大降低了玉米中可溶物的扩散速度，一部分已降解的蛋白质进一步分解成氨基酸，渗入至淀粉粒中，增加了湿磨法分离和洗涤工序的困难，而且淀粉吸附含氮物后在深加工时，也会造成种种困难。如，水解制葡萄糖和糖浆时，这些杂质转化成有色物质，降低了最终产品的质量。过高时，一是乳酸菌受抑制，因为少量的乳酸菌的存在（1.0%~1.2%），可软化籽粒，与浸泡液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 生成络合物，呈溶解状态，可减少蒸发锅中的积垢；二是 SO_2 残留量高，劳动保护不好，易引起支气管炎；三是 SO_2 或 H_2SO_3 过高会水解淀粉。

Rsushdi 等人提出加蛋白质水解酶于浸泡液中，可缩短浸泡周期，对于破碎籽粒，可缩短 50%，而对完整的或损伤的籽粒无影响。

(3) 破碎与胚芽分离 淀粉在胚乳细胞内，水分少，必须磨碎，除去皮和胚乳细胞壁。目前有干磨法（如：小麦、大米）和湿磨法（如：玉米、高粱）两种。浸泡后的湿玉米，经头道凸齿磨破碎之后，破碎后的玉米用胚芽泵送至胚芽一次旋液分离器（或胚芽分离槽），分离器顶部流出的胚芽去洗涤系统，底流物经曲筛滤去浆料，筛上物进入二道凸齿磨。经二次破碎的浆料经胚芽泵送至二次旋液分离器；顶流物与经头道磨破碎和曲筛分出的浆料混合一起，进入一次胚芽分离器，底流浆料送入细磨工序。进入一次和二次旋液分离器的淀粉悬浮液浓度为 $7\sim 9^{\circ}\text{Bé}$ 压力为 $0.45\sim 0.55\text{MPa}$ ，胚芽分离过程的物料温度不低于 35°C 。

(4) 细磨 经二次旋液分离器分离出胚芽后的稀浆料通过压力曲筛，筛下物为粗淀粉乳，淀粉乳与细磨后分离出的粗淀粉浆液汇合进入淀粉分离工序；筛上物进入冲击磨（针磨）进行细磨，最大限度地使与纤维联结的淀粉游离出来。细磨后的浆料进入纤维洗涤槽。

(5) 纤维分离、洗涤、干燥 细磨后的浆料与洗涤纤维的洗涤水一起用泵送到第一级压力曲筛。筛下物为粗淀粉乳；筛上物再经 5 级或 6 级压力曲筛逆流洗涤。纤维从最后一级曲筛筛面排出，然后经螺旋挤压机脱水后送向纤维饲料工序。第一级筛下物粗淀粉乳与细磨前筛分出的粗淀粉乳汇合，进入淀粉分离工序。细磨后的浆料浓度为 $13\sim 17^{\circ}\text{Bé}$ 压力曲筛进料压力为 $0.25\sim 0.3\text{MPa}$ ，洗涤用工艺水温度 45°C ，可溶物不超过 1.5%，纤维洗涤用水量 $210\sim 230\text{L}/100\text{kg}$ 绝干玉米，洗涤后物料含游离淀粉 3% 干物质。粗淀粉乳中细渣含量 0.1g/L ，进入螺旋挤压机的湿皮渣含水 60% 左右，压榨后的皮渣水分 $50\%\sim 55\%$ 。

(6) 淀粉、蛋白质分离 粗淀粉乳经除砂器、回转过滤器，进入分离麸质和淀粉的主离心机，第一级旋液分离器顶流的澄清液作为主离心机的洗水。顶流分出麸质水，浓度为 $1\%\sim 2\%$ ，送浓缩分离机，底流为淀粉乳，浓度为 $19\sim 20^{\circ}\text{Bé}$ ，送十二级旋液分离器进行逆流洗涤。洗涤用新鲜水，水温为 40°C 经十二级旋液分离器洗涤后的淀粉含水 60%，蛋白质含量低于 0.35%，去精淀粉乳

槽进行脱水干燥。麸质水经过滤器进入（麸质）浓缩离心机，顶流为工艺水，进入工艺水贮槽，其固形物含量约为 0.25%~0.5%，供胚芽、纤维洗涤用。底流浓缩后的麸质水（含固形物约 15%），经转鼓式真空吸滤机脱水，得含水 50%~55% 的湿蛋白质，然后用管式干燥机干燥。

（7）胚芽洗涤、干燥和榨油 经一级胚芽旋流器顶部出来的胚芽（胚芽分离槽出来的胚芽）经三级曲筛洗涤后（含水分 75% 以上），进入螺旋挤压机脱水，脱水后的胚芽含水约 55%，去流化床干燥或管束式干燥机干燥。干胚芽含水分 $\leq 5\%$ ，含油率 $\geq 48\%$ ，含淀粉 $\leq 10\%$ 。干胚芽送压胚机破胚，经蒸炒锅，然后入榨油机榨油，胚芽饼即为很好的蛋白质饲料。

（8）玉米浆浓缩 含固形物 5%~7% 的稀玉米浆，经单效、双效或三效真空浓缩后，固形物含量为 45%~50%，直接卖给味精厂等，是很好的培养基；或做植酸钙、提肌醇。

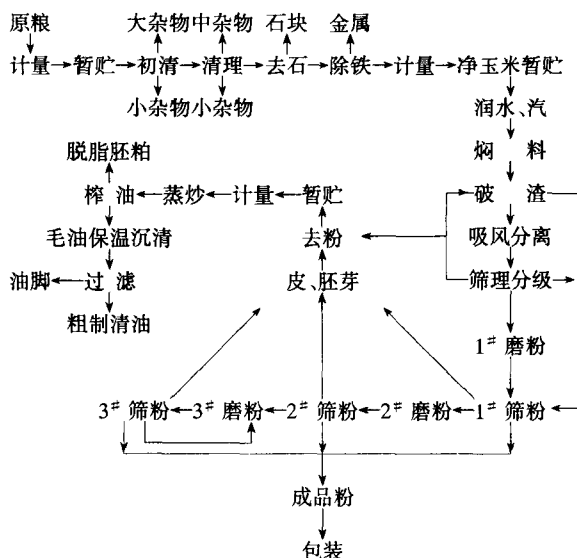
（9）纤维渣 烘干后的纤维渣加部分蛋白质或营养素做颗粒饲料。

湿法生产玉米淀粉的主要设备如表 1-14 所示。

表 1-14 湿法生产玉米淀粉的主要设备

序号	工 序	主 要 设 备
1	玉米浸泡	锥形底的圆柱形罐 高径比 2:1 锥度不低于 45°
2	玉米破碎	凸齿磨
3	胚芽分离	旋流器或漂浮槽
4	胚芽洗涤	曲筛
5	细磨	冲击磨（针磨）
6	纤维分离	压力曲筛 或锥形离心筛、振动平筛）
7	淀粉与蛋白质分离	碟式喷嘴型分离机
8	淀粉洗涤	旋流分离器 也称多管旋流器 由 $\phi 10\text{mm}$ 旋流管组合而成）
9	麸质浓缩	碟片式喷嘴型分离机
10	麸质回收	转鼓式真空吸滤机 或板框压滤机、沉降离心机）
11	淀粉脱水	卧式刮刀离心机
12	淀粉干燥	一级负压气流干燥机（或正压二级气流干燥机）
13	湿纤维、胚芽干燥	管束式干燥机
14	麸质干燥	气流干燥机或管束式干燥机

干法玉米淀粉生产工艺流程如图 1-2 所示。



主要设备有目衡式高效振动筛、吸式比重去石机、永磁筒、水汽调节机、焖料仓、玉米剥皮破渣机、磨粉机、筛粉机、蒸炒锅、榨油机、过滤机、风系统机组、除尘系统机组、提升设备系统机组、水平

输送系统机组。

(二) 小麦淀粉的生产

用面粉生产小麦淀粉的典型工艺见图 1-3。

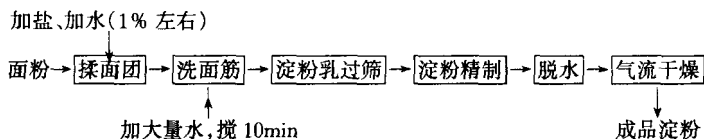


图 1-3 小麦淀粉生产工艺流程图

用面粉生产淀粉不需浸泡，只需加入少许氯化钠（1%左右），减少麦醇溶蛋白的溶解度，即减少面筋的水化作用以增加面筋强度。或加入 0.03mol/L 的 NaOH ，可防止洗面筋时过酸而引起蛋白质的水解，而使蛋白质与淀粉易分离，使面筋易洗出。若用整粒小麦则需浸泡（类似玉米淀粉加工）。

(三) 薯类淀粉的生产

薯类的淀粉在块根或块茎内，它们是营养器官转化为贮藏组织，特点为：含水分多，不要浸泡，不能磨，主要是刨丝；含有多酚类物质及多酚氧化酶，因此要加碱或 SO_2 抑制酶的活性和阻止褐变的发生。碱既可溶解多酚类物质，防止褐变，又可去掉淀粉中的丹宁类等引起的涩味；含毒物质多，如马铃薯发芽、发绿均不能吃，内含的龙葵三糖对红血球有强烈溶解作用，吃后嘴唇发紫。木薯有两种，一种为甜木薯，可直接食用，另一种为苦木薯，含有氰化物（主要在胚和皮层中），一般用来做淀粉，在加工中去皮可免除影响。氰配糖体与水中铁离子可结合形成蓝色的亚铁氰化物，使淀粉着色，因此制造木薯淀粉不能用铁器；薯类贮存困难，因此是季节性生产；当然也可以切片，晾干贮存。

现将马铃薯、木薯和甘薯淀粉的生产工艺分述如下。

1. 马铃薯淀粉的生产工艺

马铃薯淀粉的生产工艺见图 1-4。

(1) 马铃薯的清洗 马铃薯从原料仓出来通过流水槽和清洗机，

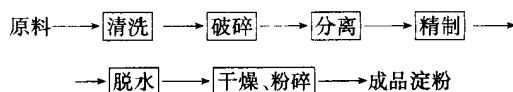


图 1-4 马铃薯淀粉生产工艺流程图

除去表面粘附的泥灰、夹附的杂质等，进入净料仓。在水力输送槽中，1t 马铃薯清洗的耗水量为 $6\sim 7\text{m}^3$ ，水和马铃薯的混合物的流动速度应不低于 0.75m/s ，清洗时间约为 12min。经清洗后的马铃薯的杂质含量不应高于 0.1%。

(2) 马铃薯的破碎 洗净的马铃薯从净料仓底卸出，落到螺旋输送机上，并均匀连续地喂入刨丝机中将马铃薯锉磨成细碎的丝条状并打成糊浆，然后用水将糊浆稀释（加水量不大于马铃薯质量的 50%）便于浆渣的分离，所得的细渣脱水后再进行三次磨碎。由于马铃薯块茎中含有酪氨酸酶能使淀粉变色，因此破碎时常用 0.2°Bé 的亚硫酸溶液，以抑制酪氨酸酶的作用。在加工鲜马铃薯时，刨丝机上的锉齿突出量应不大于 1.5mm（加工冷冻贮存的马铃薯为 2mm）进行第二次磨碎时不应高于 1mm，锉条每厘米长度上不少于 8 齿。锉齿滚筒的转速影响淀粉的游离程度，一般转速为 50m/s 淀粉的游离率数为 90%~93%。从细渣中洗涤得到的淀粉乳约占 70%，其浓度为 3.5%~5%。

(3) 分离 稀释后的糊浆送到一组组合筛中进行筛选。经几次筛选的细渣和来自回转筛的筛上物即粗渣混合，成为废渣。按干基计，淀粉乳中含渣量不大于 8%，而粉渣打中游离淀粉的含量不应超过 3%~4%。

(4) 精制 从组合筛得到的淀粉乳还需进行精制。淀粉乳精制可采用离心机进行二次分离，进入第一级离心机的淀粉乳浓度为 13%~15%，进入第二级离心机的淀粉乳浓度为 10%~12%。而经一级精制的淀粉乳含渣量不高于 1%，经二级精制的含渣量不高于 0.5%。经精制后的淀粉的纯度应达到 96%~98%。

(5) 淀粉的脱水干燥 精制后的湿淀粉含水量为 50%，不易贮存，应将其干燥，或直接用作生产淀粉糖或其他变性淀粉。干燥初期

温度不超过 40℃，待水分降低一些后，温度可提高到 70℃。过高的干燥温度会影响淀粉的色泽，为此淀粉的干燥尽可能地在低温下进行。干燥后的淀粉即可进行称重、包装，得成品淀粉。

2. 甘薯淀粉的生产工艺

生产甘薯淀粉的原料可以是鲜甘薯和甘薯干，两者生产工艺不同。鲜甘薯不便运输、贮存，因此鲜甘薯加工淀粉季节性强，一般多属小型工业生产或农村传统作坊式生产。一般的甘薯淀粉厂以薯干为原料，属机械化生产。现将甘薯干淀粉的工业化加工方法介绍如下。

甘薯干淀粉在生产过程中须用石灰水处理，以维持整个生产过程的 pH 值为 8.6~9.2，在此 pH 值下，甘薯片中的色素易渗出，留存于溶液中，可提高淀粉的白度。

甘薯干淀粉生产工艺流程如图 1-5 所示。

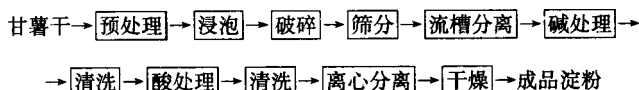


图 1-5 甘薯干淀粉生产工艺流程图

(1) 预处理 采用干法或湿法清理甘薯干在加工和运输过程中混入的各种杂质。干法是采用筛选、风选及磁选等设备；湿法是用洗涤机或洗涤槽清除杂质。

(2) 浸泡 甘薯干采用石灰水浸泡，浸泡液 pH 值在 10~11，浸泡时间约 12h，温度控制在 35~40℃。浸泡后甘薯片的含水量约为 60%，然后用水淋洗，洗去色素和尘土。

用石灰水处理甘薯片的作用：一是使甘薯片中的纤维膨胀，以便在破碎后便于和淀粉分离，淀粉颗粒被破碎的也较少；二是使甘薯片中色素渗出，留存于溶液中，可提高淀粉的白度；三是钙质可降低果胶类胶体物质的粘性，使薯糊易于筛分，提高筛分效率；四是保持碱性，抑制微生物生长；五是使淀粉乳在流槽中分离时，回收率增高，并可不被蛋白质污染。