

马铃薯加工技术及加工业发展

曾凡逵, 刘 刚*

(中国科学院兰州化学物理研究所环境材料与生态化学研究发展中心, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 马铃薯加工的历史可以追溯到公元 200 年。第一次世界大战和第二次世界大战期间, 脱水马铃薯由于其方便性和耐贮藏性被广泛用作军队粮食。法式炸薯条被认为是第二次世界大战的产物。从 20 世纪 20 年代开始, 一系列技术革新使马铃薯加工技术越来越先进: 20 年代出现了机械去皮和密封包装, 50 年代出现了调味技术, 1985 年出现微处理器控制下的称重包装技术, 1990 年出现清理不合格产品的光学筛选技术, 1995 年出现充氮包装技术。目前全球每年大约有 3 000 万 t 马铃薯用于加工, 主要包括预炸产品(冷冻薯条等)、薯片、脱水产品(全粉等)、淀粉等。在欧洲西北部和北美发达国家, 人们食用马铃薯加工产品的比例高达 1/3 到 2/3。欧洲中东部国家(包括俄罗斯)的马铃薯加工相对落后, 人们食用加工产品的比例也相对要低。大洋洲作为世界上第三大马铃薯加工地区与欧盟和北美国家相比差距也非常大。中国作为世界上第一大马铃薯生产国和印度作为世界上第三大马铃薯生产国, 马铃薯加工业正在飞速发展。2006 年, 非洲马铃薯人均消费量只有 14.1 kg, 加工业比较落后, 发展速度也比较缓慢。我们预测: (1) 欧洲中东部国家、中国和印度的马铃薯加工业将来会快速发展, 加工产品的消费比例一定会较快增长; (2) 在马铃薯加工业相对成熟的欧洲西北部和北美国家, 马铃薯加工产品的消费比例不再增长, 可能会维持现状或略有降低; (3) 随着欧洲国家的人口老龄化进程和人们对健康的关注度增加, 将来的马铃薯加工产品会朝着多元化方向发展, 加工产品会呈现低脂肪(低能量)、低盐、高维生素、高微量元素、高膳食纤维和高抗氧化物质含量的特点。

关键词: 马铃薯; 加工技术; 加工业发展

马铃薯起源于南美洲, 印加人在 13 000 年以前便已经开始种植马铃薯, 欧洲和世界其他地方的马铃薯是在美洲新大陆被发现以后才开始种植的^[1,2]。据文献记载^[3], 1573 年, 西班牙塞维利亚的一家医院购买过马铃薯, 1588 年, 意大利有将马铃薯作为牛饲料的文献记录。在 18 世纪和 19 世纪, 马铃薯成为欧洲大部分地区的主要食品来源。并且从 18 世纪后半叶开始, 已经用几种不同形式的马铃薯干制品为船舶提供食物配给。

现在, 全球每年大约有 3 000 万 t 马铃薯(占总产量的 10%)用于加工, 在欧盟和北美国家, 每天消费的马铃薯, 1/3 ~ 2/3 是以法式炸薯条和炸薯片形式进行消费^[2]。马铃薯加工属于高度工业化、技术含量很高的产业, 加工产品的类型受到市场需求的驱动。马铃薯加工产品的品质和在商业上能否取得成功, 受原材料的影响非常大。马铃薯品种、产

作者简介: 曾凡逵(1980—), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事马铃薯加工研究。

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-15)。

* **通信作者:** 刘刚, 研究员, 博士, 主要从事马铃薯加工研究, E-mail: gangliu@licp.cas.cn。

量、质量、采后贮藏技术对马铃薯加工业都非常重要。刘刚等^[4]、林亚玲等^[5]和周庆峰^[6]分别对马铃薯加工进行过综述, 本文将对马铃薯加工历史、加工现状、加工对原材料的要求、主要产品的加工技术、加工副产物的资源化利用以及将来马铃薯加工业的发展等进行详细阐述。

1 马铃薯加工技术

1.1 加工历史

马铃薯加工的历史可以追溯到公元 200 年, 当时马铃薯生长在秘鲁的山区, 当地人利用夜晚的低温将马铃薯冷冻, 白天再进行解冻, 解冻过程中就会有水分从马铃薯中流出来, 这样反复循环数次, 直到含水量降低到可以保藏。近 2 000 年后的今天, 这一过程用于脱水马铃薯的加工生产^[3]。

在第一次世界大战(1914 ~ 1918 年)和第二次世界大战(1939 ~ 1945 年)期间, 脱水马铃薯由于其方便性和耐贮藏, 广泛用作军队粮食^[7]。战争结束以后, 欧洲继续生产相当数量的马铃薯脱水产品, 广泛用于土豆泥、小吃食品、烘焙食品、汤、沙拉以及挤压食品生产当中^[8]。

马铃薯淀粉自 1831 年开始广泛生产, 第一个淀粉厂建在美国, 在欧洲、美国、加拿大和亚洲马铃薯淀粉的用量都非常大^[9], 图 1 为 19 世纪荷兰 Foxhol 地区的一个马铃薯淀粉厂^[1]。薯片也最先出现在美国的萨拉托加, 时间为 19 世纪中叶(1853 年), 但当时只是进行小规模商业化生产, 直到脱皮技术和油炸技术发展起来以后, 薯片才得到快速发展, 薯片的产量在第二次世界大战期间大幅度增加。法式炸薯条也是第二次世界大战的产物, 大部分食品历史学家认为法式炸薯条是由比利时人发明的。最初的法式炸薯条加工工艺和现在差不多, 先将马铃薯切成条油炸一下, 最后在食用前继续油炸至完全成熟。

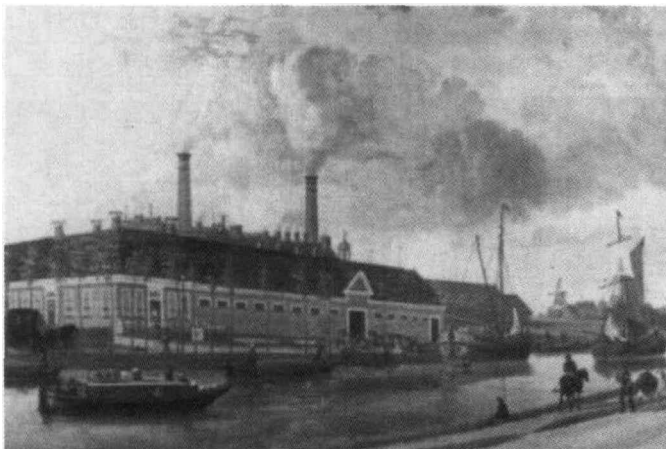


图 1 19 世纪荷兰 Foxhol 地区的一个马铃薯淀粉厂

1.2 加工现状

2005 年, 全球人均马铃薯消费量最大的是欧洲(96.1 kg), 然后是北美(57.9 kg)。人均马铃薯消费量比较低的地区包括拉丁美洲(23.7 kg)、亚洲和大洋洲(25.8 kg)以及非洲(14.1 kg)^[2]。西方国家马铃薯消费已经由鲜食向附加值提高的加工产品转变。2006 年,

部分西方国家年人均马铃薯鲜薯和加工产品的消费量见表1^[2]，表格中的数据都是以鲜薯进行计算，预炸产品换算成鲜薯的系数为1.9:1，薯片为4:1，脱水产品为6.2:1。美国、加拿大、荷兰、德国、比利时、英国和法国马铃薯加工产品的消费量占到总消费量的1/3~2/3。波兰和土耳其马铃薯加工产品的消费量不是太高，分别占马铃薯消费总量的10%和8%^[2]。

表1 西方国家年人均马铃薯鲜薯及加工产品的消费量(单位: kg)

国家	鲜食	加工产品	预炸产品	薯片	脱水产品	其他
美国	19.1	37.0	23.9	7.3	5.4	0.4
加拿大	29.8	35.8	13.0	11.2		11.6
土耳其		3.9	1.5	2.4		
荷兰			16.0			
德国		30.4	10.5	4.6	15.7	
比利时	36.8	17.4	14.4			3.0
英国	48.8	45.6	29.1	12.3		4.2
法国		34.2	18.0	5.2	6.1	4.9
波兰		13.1				

目前，欧洲中东部国家人均马铃薯加工产品的消费量仍然很低，冷冻预炸薯条的年人均消费量只有0.65 kg(等同于1.20 kg新鲜马铃薯)，其中捷克共和国为3.50 kg(等同于6.70 kg新鲜马铃薯)，俄罗斯只有0.20 kg(等同于0.39 kg新鲜马铃薯)^[10]。

2006年，全球估计有3 000万t马铃薯用于加工，占马铃薯总产量的9.5%，实际加工用量比这个统计数据要高。2005年，欧盟二十七国大约有800万t马铃薯用于淀粉加工，淀粉的产量为190万t^[2]。把淀粉生产算上，加上中国和印度的马铃薯加工，估计2006年全球有4 300万t马铃薯用于加工，占马铃薯总产量的14%^[2]。

表2 北美和欧盟马铃薯加工用量(×1 000 t, 不包括淀粉加工)

国家	总量	预炸	薯片	脱水产品	其他
北美	15 390	9 590			
美国 2006~2007	12 640	6 990	3 040	2 480	130
加拿大 2006~2007	2 750	2 600			
阿根廷	276	276			
澳大利亚 2006~2007	700	700(含薯片)			
新西兰 2006	300	300(含薯片)			
南非	250	250(含薯片)			
欧盟二十七国					
荷兰 2006	3 115	2 461			654
德国 2006	3 047	865	380	1 302	500
比利时 2006	2 184	1 668			516
英国 2006~2007	1 822	1 105	702		15
法国 2006~2007	1 215	792	74	215	134
波兰 2004~2005	930	800(含薯片)		130	
罗马尼亚 2006	60				
欧盟其他成员国 2003~2005	690				
总和	29 979	18 807	4 196	4 127	1 949

北美和欧盟国家马铃薯加工情况见表2, 数据同样以鲜薯计算, 马铃薯加工产品的产量见表3, 这两个表格的数据主要来源于2006年^[2]。从这两个表可以看出法式炸薯条在马铃薯加工中所占的比例最大, 大部分加工用的马铃薯是用于法式炸薯条和其他预炸产品的生产。在欧洲, 马铃薯加工产品的产量排名靠前的5个国家分别是荷兰、比利时、德国、法国和英国, 这5个国家的马铃薯加工产品在整个欧洲占有很大市场份额。波兰的马铃薯加工业增长速度非常快。大洋洲是世界上第三大马铃薯加工区域, 但落后于北美和欧洲很远。亚洲增长非常快, 非洲增长较慢。

表3 北美和欧盟马铃薯加工产品的产量(×1 000 t)

国家	总量	预炸	薯片	脱水产品	其他
北美	6 248	5 088			
美国 2006 ~ 2007	4 838	3 678	760	400	
加拿大 2006 ~ 2007	1 410	1 410			
欧盟五国	5 163	3 612	306	257	988
荷兰 2006	1 660	1 294			
德国 2006	991	455	95	210	231
比利时 2006	1 148	834			314
英国 2006 ~ 2007	772	582			15
法国 2006 ~ 2007	592	447			62
总量	11 411	8 700			988

中国作为世界上第一大马铃薯生产国, 马铃薯加工业发展非常迅速, 2008年至少建了两座法式炸薯条生产工厂, 2003年中国已经有20个薯片厂和2个脱水马铃薯加工厂。包括马铃薯淀粉生产, 中国在2003年一共加工了126万t马铃薯^[2]。

印度作为世界第三大马铃薯生产国, 马铃薯加工发展也非常迅速。2007年, 一个产能为4万t的法式炸薯条工厂在印度开工生产, 而且印度也有薯片厂和脱水马铃薯厂在加工马铃薯。2005年, 印度马铃薯的加工比例为5%, 估计为130万t^[2]。

1.3 加工对原料的要求

原材料的供应对现代马铃薯加工至关重要。马铃薯加工需要考虑原料的品种、农业生产过程、冷藏技术(下一年马铃薯上市之前)、贮藏过程中马铃薯品质的持续控制以及运送到加工厂的运输过程等。法式炸薯条和薯片加工对马铃薯的品种要求和鲜食不一样, 加工厂通过和农场(农民)签订契约或者直接从他们那里购买马铃薯, 他们给农民指定种薯, 还会在生产和贮藏过程中给农民制订一定的技术标准。市场上消费者对马铃薯加工产品的品质是有一定要求的, 加工厂将消费者的要求转化成对马铃薯加工原料的要求。法式炸薯条对原料的要求包括马铃薯的尺寸大小要合适, 形状也要合适, 干物质含量要高, 为了使最终产品的颜色满足消费者的需求, 还原糖含量要低。

在加工原料方面, 逐渐形成了法式炸薯条固定使用的一些品种。现在美国和加拿大的炸薯条一般都是采用传统的北美品种, 如 Russet Burbank(布尔班克)和 Shepody(夏波蒂)。在法式炸薯条比较流行的其他国家一般也是采用这两个品种和其他北美品种(如 Ranger Russet), 如澳大利亚、新西兰和阿根廷。在印度, Shepody 和 Dutch Santana 这两个品种应用得比较多。在中国, 麦凯恩采用自己引进的马铃薯品种 Russet Burbank 进行薯条

生产^[2]。

在欧洲用于加工薯片的马铃薯品种主要有 Saturna, Lady Rosetta, Hermes 和 Erntesolz, 其中 Saturna 是传统品种。在美国传统品种 Atlantic(大西洋)仍然是用于加工薯片最主要的品种, 也有一些新品种如 Pike 和 Snowden, 这三个品种的还原糖含量都比较低^[2]。

1.4 加工技术

1.4.1 薯条加工

炸薯条和炸鱼的风味有点相似, 在欧美很长一段时间是贫困家庭的主食。工业化生产法式炸薯条出现得比较晚(大约在 1945 年), 20 世纪 50 年代早期得到了快速发展。工业化加工过程归功于美国爱达荷州的 Simplot, 他创办了 J. R. Simplot 薯条加工公司。如今, 全球规模较大的法式炸薯条生产厂家包括 McCain(麦肯食品公司)、Simplot(辛普劳公司)和 Lamb Weston(蓝威斯顿)。其中, 麦肯食品公司在 13 个国家拥有 55 个工厂, 业务扩展到了 110 个国家。

法式炸薯条一般都是在原料产地附近选址建厂, 产品通常会通过长途运输到达市场, 这一点与薯片刚好相反, 说明其单位体积产品的质量还是比较大(水分含量也高, 只是半成品)。薯条属于冷冻马铃薯加工产品, 其他冷冻马铃薯产品包括 Waffles, Wedges, Hashed brown potatoes, Rosti, Pre - formed mashed potatoes, Patties, Potato rounds, Diced potatoes, Baby roasts 等^[1]。

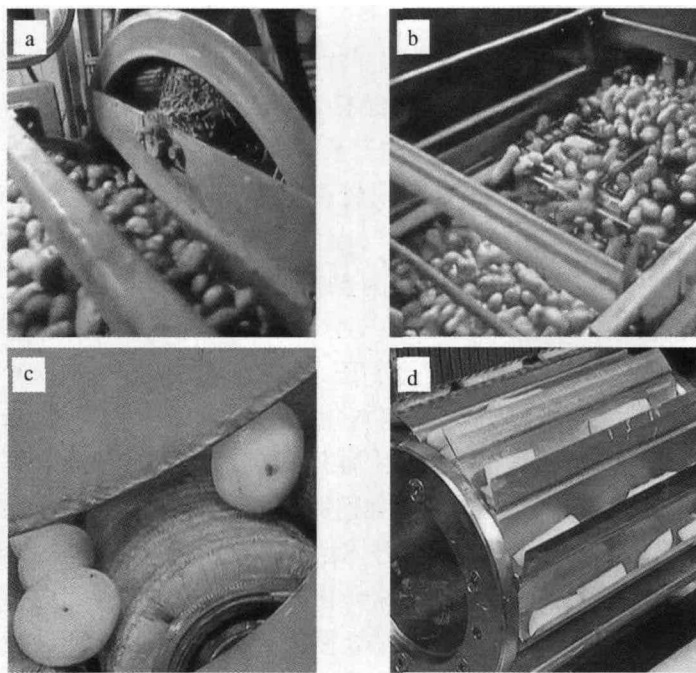


图2 薯条生产线上的清洗机(a)、分级机(b)、脱皮机(c)及切割机(d)

法式炸薯条的加工过程先将马铃薯进行清洗(图 2a)和分级(图 2b), 再去皮(图 2c), 然后切成细条(横截面约 1 cm 见方)(图 2d), 用冷水简单地清洗除去表面的淀粉和还原糖, 再沥干表面水分, 在 180 °C 油温下油炸成浅金黄色。法式炸薯条工厂里出来的半成品大约含有 10% 的脂肪, 其中大部分油脂保留在表面上。之所以称之为半成品,

是因为薯条厂只是将薯条油炸到三成熟就在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行冷冻处理, 然后在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下储藏, 这种半成品的水分含量一般会控制在 70% 以内。从薯条厂出来的薯条在最终消费以前, 还需要在 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 油温下进行油炸至完全熟, 这时候的产品颜色和内部质地都达到了消费者的预期。

马铃薯去皮是薯条生产线上技术含量比较高的一项技术, 先把马铃薯送入一个巨型蒸锅, 在加压水蒸气中蒸煮约 10 s 以后, 马铃薯外皮软到只要稍微施加压力就能剥除。马铃薯去皮通常采用的是带毛刷的剥皮机(图 2c)。剥皮机看起来像一台巨型烘干机, 滚筒边缘布满了毛刷, 当滚筒滚动时, 刷毛将马铃薯皮剥下来。

清理不合格薯条的光学筛选技术属于薯条生产线上高科技的品管技术。油炸以前每根薯条都得通过一台摄影机, 通过电脑分析每根薯条的大小和色泽, 不符合标准的薯条都会被标记, 再由一个喷气嘴吹出生产线, 合格的薯条则进入下一道工序。

近年来, 关于抑制薯条和薯片中丙烯酰胺生成的文献报道比较多。丙烯酰胺的分子结构如图 3 所示, 具有神经毒性、生殖毒性、致癌性、遗传毒性和致突变性。2011 年, 营养 (Nutrition) 杂志的编辑撰写了一篇题为《Fried potato chips and French fries - Are they safe to eat》的社论文章^[12], 阐述了在薯条和薯片加工过程中, 随着油温的升高, 丙烯酰胺含量会增加。丙烯酰胺的前体物质为游离天门冬氨酸和还原糖, 二者在高温油炸过程中发生 Maillard 反应生成丙烯酰胺。Kalita 和 Jayanty^[13] 报道了在油炸前采用 VOSO_4 溶液浸泡薯片和薯条可以抑制丙烯酰胺的生成。

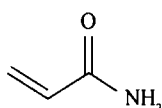


图 3 丙烯酰胺分子结构

1.4.2 薯片加工

美国的薯片起源于 1853 年纽约州东部的一个村落, 这个村落的一家旅馆在厨房里将新鲜马铃薯加工成薯片进行销售^[11]。直到 1895 年, 美国才出现商业化的炸薯片。从 20 世纪 20 年代开始, 一系列技术革新使炸薯片的生产加工技术越来越先进: 20 年代出现了机械去皮和密封包装, 50 年代出现了调味技术, 1985 年出现微处理器控制下的称重包装技术, 1990 年出现清理不合格的产品的的光学筛选技术, 1995 年出现充氮包装技术。

严格意义上, 炸薯片 (Potato chip) 这一术语还包括百事公司生产的乐事薯片 (Baked Lays[®]) 和宝洁公司生产的品客薯片 (Pringles[®]) 这两种稍微有点特殊的产品。与传统炸薯片采用新鲜马铃薯块茎为原料不一样的是, 这两种产品都是用脱水马铃薯粉为原料, 加入水及调味品以后, 前者采用焙烤后者采用油炸加工而成, 这两种产品在外型上和传统薯片差不多。

菲多利公司 (Frito - Lay) 是全球著名的小吃食品生产公司, 1965 年, 菲多利公司与百事可乐公司 (Pepsico) 合并, 成为了百事可乐公司的一部分。该公司在全球 27 个国家拥有 67 个工厂, 是全球薯片生产的重要企业。薯片生产企业一般通过长途运输将马铃薯原料输送到工厂, 而加工好的成品运输路程一般较短, 这说明单位体积的炸薯片质量较轻, 输

送新鲜马铃薯比输送薯片划算。

通常意义上的薯片是将马铃薯切成 1.0 ~ 1.5 mm 厚的薄片，然后在大约 180 °C 油温下进行油炸，直到薯片变得干燥且酥脆，水分含量通常要控制在 1.3% ~ 1.5%。采用不同的植物油得到的薯片风味不一样。由于薯片的表面积、体积比很大，因此薯片内部及表面吸附的油脂很多，炸薯片的脂肪含量为 40% ~ 45%，有些商品炸薯片的脂肪含量为 46%。脂肪含量高的食品很容易引发健康问题，2005 年，世界卫生组织(WHO)公布，全球大约有 5% 的成年人因为食用饱和脂肪酸含量高的高能量食品而导致肥胖。全球的薯片生产商为了顺应时代潮流，都不再使用含有反式脂肪酸的氢化植物油来油炸薯片^[14]。

近年来，关于真空油炸薯片的文献报道较多。油炸后通过离心方式将油脂从薯片上分离以降低薯片最终脂肪含量是一种非常有效的途径。Yagua 等^[15]指出离心法脱油装置是薯片真空油炸装备的关键技术，可以将 80% ~ 87% 的油脂去除。Warning 等^[16]指出，真空油炸技术 (<6.65 kPa) 与传统油炸技术相比更健康，产品中脂肪、丙烯酰胺含量低，产品颜色好(油炸过程缺氧)、风味更佳。实验室规模的真空油炸装置如图 4 所示^[15]。

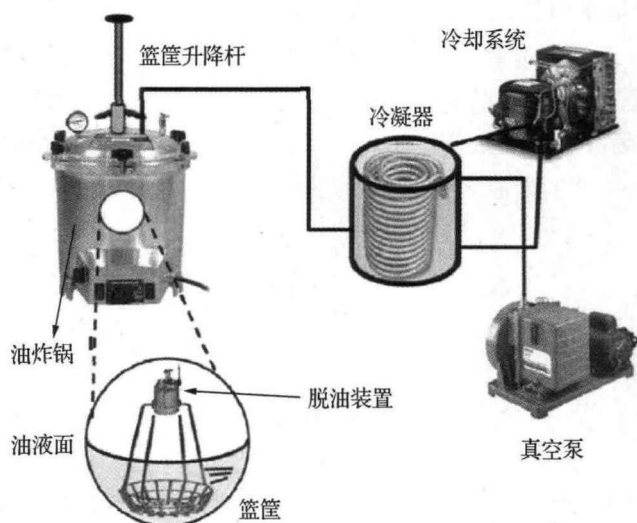


图 4 实验室用薯片真空油炸装置

1.4.3 脱水马铃薯加工

脱水马铃薯可能是世界上第一种马铃薯加工产品。从文献追溯可以看出，最早的马铃薯加工产品出现在 18 世纪末，1989 年，Burton 记载了法国的 Parmentier 于 1781 年用煮熟的土豆制作了一种饼干形式的食品供海员们吃^[11]。Burton 还对脱水马铃薯粉加入沸水制作食品进行了讨论。尽管 Eskew^[17]于 1945 年申请了第一个关于脱水马铃薯泥粉制备的美国专利，马铃薯泥粉的工业化生产在此之前的战争年代已经由工业化国家开始生产了。在战争年代，脱水马铃薯为战士们提供了体积小、新鲜、容易储藏，而且方便制备的食品。尽管 20 世纪后半叶，人们意识到脱水马铃薯属于一种“Convenience foods(方便食品)”，但“二战”结束以后的和平年代，脱水马铃薯产品的产量相对战争年代还是下降了。脱水马铃薯产品同样面临着储藏过程中品质变差的问题，但将水分含量降到大约 6%，再添加一些亚硫酸盐和一些必要的抗氧化剂，在室温下至少能储藏 6 个月^[11]。

马铃薯脱水产品(全粉)主要包括 Potato Flakes(雪花粉)和 Potato Granules(颗粒粉)等。这两种产品采用不同的干燥方式生产,前者采用滚筒干燥工艺,后者采用回填和热气流烘干工艺。在中国,马铃薯脱水产品具有广阔的应用前景,如家庭用的即食土豆泥、面包、饺子、丸子、面条、点心(饼干)、蛋糕、沙拉、砂锅菜等,也可以作为酱汁、膨化食品、火腿、方便面等工业化食品加工原料,马铃薯脱水产品还可以用于宠物食品。马铃薯脱水产品相对于马铃薯淀粉营养更全面,在日常饮食当中多吃马铃薯全粉加工成的食品比吃淀粉加工成的食品(如粉丝、粉条)更有益于健康。

1.4.4 淀粉加工

马铃薯块茎干物质中 65% ~ 75% 为淀粉,淀粉很容易用水萃取出来^[11]。世界上第一个马铃薯淀粉厂出现在美国新罕布什尔州的安特里姆^[18],当时的北美和欧洲,特别是在荷兰、波兰、法国和德国已经开始加工马铃薯淀粉^[18],而且已经培育出淀粉含量高的马铃薯品种来。马铃薯淀粉的加工过程包括清洗、磋磨、过滤、离心和干燥等过程^[19],工艺流程如图 3 所示^[1]。马铃薯淀粉有很多有用的功能特性,如增稠、作为包衣材料、制作凝胶、黏合剂和用于封装等。由于马铃薯淀粉的直链淀粉含量为 17% ~ 25%,而且支链淀粉高度分支,其一些功能特性还是其他淀粉难以取代的。如今,通过有效的化学和物理方法改性,马铃薯淀粉在很多工业领域都有应用,包括食品原料,在造纸和纺织行业作为上浆剂,还可以制作淀粉基生物可降解塑料^[19]。马铃薯淀粉还能用于酒精生产。

淀粉加工属于马铃薯传统加工技术,通过改性可以大幅度提高马铃薯原淀粉的附加值。改性以后的马铃薯淀粉,其功能特性会进一步提高,如黏性、表面活性、抗酶剪切能力等。变性淀粉生产方法包括生物酶法、物理法和化学法等,其中化学法应用最为广泛(化学变性淀粉的种类也最多)。我国高品质的变性淀粉主要依赖进口,中国科学院兰州化学物理研究所刘刚研究团队在马铃薯变性淀粉方面已从事多年研究,开发了多种高品质的马铃薯变性淀粉,在食品、医药等领域具有广泛的用途。

2 加工副产物资源化利用

崔国立^[20]对马铃薯淀粉加工副产物处理技术进行了综述。当今世界以荷兰 NIVOBA(尼沃巴)公司的马铃薯淀粉加工无废料工艺最为先进,即在提取马铃薯淀粉的同时,回收马铃薯中的纤维、蛋白、肥料(浓缩有机质)及马铃薯本身所含的水,实现了“无废料马铃薯淀粉加工”。该工艺的理念是:在提取马铃薯中所有成分的同时不给环境造成污染,既提高了马铃薯淀粉加工企业的经济效益,又解决了环保问题。这种马铃薯淀粉无废料加工工艺及高效能设备同样被美国缅因州位于 Fort Fairfield 的 Aroostook 淀粉公司采用。尽管美国缅因州的环境保护法律特别严格,但以上系统的使用,在没有其他污水处理设施的情况下,该项目的生产也被环保部门通过。

马铃薯淀粉加工的薯渣含水量高达 87%(国产淀粉加工设备含水量更高),其他化学成分以干基计算包括淀粉 37%、纤维素 17%、半纤维素 14%、果胶 17%、蛋白质和氨基酸 4% 等。对于薯渣的利用,国内外许多学者做了多方面的尝试,其中包括用马铃薯渣制备膳食纤维、提取果胶,以及利用不同种类的微生物发酵马铃薯渣。雷恒等^[21]对利用微生物发酵薯渣的研究进展进行了综述,薯渣可用于发酵生产丙酮、丁醇和乙醇,也可以用

于发酵生产聚-β-羟丁酸,还可以用于发酵生产纤维素酶、羧甲基纤维素酶、木聚糖酶等酶制剂。另外,薯渣还可以用于发酵生产单细胞蛋白以及与其他农副产品混合发酵制备青贮饲料以改善其适口性。

马铃薯淀粉加工分离汁水(Potato Fruit Water, PFW)的pH值大约为5.6,淀粉加工分离汁水有机物含量很高,化学需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)高达20 000 mg O₂/L以上,其化学成分以湿基计算包括水94%、淀粉<0.5%、蛋白1.8%、氨基酸1.8%以及糖、盐和酸2.5%等^[22]。

目前,回收马铃薯蛋白的工艺较成熟且已经产业化应用的方法是酸热絮凝法,该方法回收的蛋白其商品名称为马铃薯浓缩蛋白(Potato protein concentrate, PPC)。中国科学院兰州化学物理研究所刘刚研究员的团队在马铃薯淀粉加工废水处理方面从事了多年的研究,并开发出从马铃薯淀粉加工分离汁水中回收蛋白的成套技术。在实际应用马铃薯浓缩蛋白的过程中还发现,该工艺还需要解决的关键问题是龙葵素残留问题^[23],欧盟制订的马铃薯浓缩蛋白及其水解物的质量标准中规定了产品中总龙葵素的含量要低于150 mg/kg。

近年来,回收具有天然活性的马铃薯蛋白成为马铃薯淀粉加工副产物高值化利用的热点,目前已经尝试了很多种方法来进行回收,这些方法综合了离子强度、pH值和温度,使马铃薯蛋白原有的构象、活性和溶解性得以保持。近年来研究的一些新的分离纯化方法,包括乙醇沉淀法、羧甲基纤维素络合法、超滤法和扩张床吸附法等^[24-27]。Zeng等^[28]采用扩张床吸附技术以Amberlite XAD7HP为填料对从马铃薯淀粉加工分离汁水中选择性回收蛋白酶抑制剂进行了研究,回收的蛋白溶解性好,胰蛋白酶抑制活性高,这种具有生物活性的蛋白酶抑制剂有望用于制药行业。

3 发展趋势

可以预测,欧洲中东部国家马铃薯加工产品的消费量将会有所增长,在马铃薯加工业成熟的北美和欧洲西北部国家,马铃薯加工产品的消费量预计不会再有更大幅度的增长,可能会维持现状或许和略有降低,正如英国一样,2002年马铃薯加工产品的人均消费量为54.4 kg,到2006年降低到了45.6 kg。

全球法式炸薯条的需求量随着快餐连锁店数量的增加而增长(如麦当劳不断有新店开张),也随着食品零售业的发展而增长。在中国和印度等发展中国家以及欧洲中东部国家,法式炸薯条的产量也会不断增加。法式炸薯条工厂的建立主要是为快餐食品链提供原料^[29]。城市化进程、工资收入的增长、生活方式的改变、旅游观光业的发展对法式炸薯条的消费增长都具有促进作用^[29]。

4 结束语

未来50年,马铃薯加工业在西方发达国家将会是一项非常成熟的食物加工技术,欧洲的中东部国家、俄罗斯、中国和印度将会快速发展马铃薯加工业。在这些发展马铃薯加工业的国家和地区,需要解决的关键问题是马铃薯贮运,让马铃薯加工厂全年都能得到高品质的加工原料,具体要考虑适合加工的品种、高品质种薯的获取及在给农民进行培训教育时提高栽培管理技术,提高贮藏技术等。

在西方国家,马铃薯加工业可能会受到人口老龄化的影响,加工品种向方便化和多元化方向发展。其他发展趋势包括健康和可持续发展等也会受到重视^[30]。健康是未来马铃薯加工业发展的一个重要方向,这一点对于新产品的开发具有重要指导作用。西方国家受到肥胖问题的困扰,儿童肥胖症患者也在快速增加,这一点与饮食关系非常大。肥胖会带来严重的慢性疾病(糖尿病、心脏病,关节退变等)。法式炸薯条和薯片在加工过程中会吸入大量油脂,人体摄入过多的脂肪对健康非常不利。此外,降低马铃薯加工产品中盐的含量在欧洲国家和美国的呼声也很高,摄入过多的盐会导致高血压。未来马铃薯加工会朝着低脂肪、优质脂肪酸组成和低盐方向发展,其中优质脂肪酸组成是指不饱和脂肪酸含量要高。在营养方面,未来的马铃薯加工也会考虑低能量、高维生素、高微量元素、高膳食纤维和高抗氧化物质含量等^[31]。

[参 考 文 献]

- [1] Grommers H E, van der Krogt D A. Potato starch: production, modifications and uses[M]//BeMiller J, Whistler R. Starch Chemistry and Technology. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2009: 512.
- [2] Keijbets M J H. Potato processing for the consumer: developments and future challenges[J]. Potato research, 2008, 51: 271 - 281.
- [3] Torres M D A, Parreno W C. Thermal processing and quality optimization[M]//Singh J, Kaur L. Advances in potato chemistry and technology. Burlington: Elsevier. 2009: 163.
- [4] 刘刚, 赵鑫, 周添红, 等. 我国马铃薯加工产业结构分析与发展思考[J]. 农产品加工业, 2010(8): 4 - 11.
- [5] 林亚玲, 杨炳南, 杨延辰. 马铃薯加工现状与展望[J]. 农产品加工业, 2012(11): 18 - 21.
- [6] 周庆峰. 马铃薯加工产业发展分析[J]. 中国食品添加剂增刊, 2005: 136 - 141.
- [7] Talburt W F. History of potato processing[M]// Talburt W F, Smith O. Potato processing. 3rd ed, Connecticut: The AVI Publishing Company INC Westport, 1975: 1 - 11.
- [8] Gould W A. Introduction and history[M]//Gould W A. Potato production, processing and technology. Maryland: CTI Publications, 1999: 1 - 11.
- [9] Salunkhe D K, Kadam S S. Introduction [M]// Salunkhe D K, Kadam S S, Jadhav S J. Potato: production, processing, and products. Boston: CRC Press, 1991: 1 - 9.
- [10] Schrader F H J. Creating success in central and eastern Europe: rocket science not needed [M]//Haase N U, Haverkort A J. Potato developments in a changing Europe. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2006: 203 - 211.
- [11] Bradshaw J E, Ramsay G. Potato origin and production[M]// Singh J, Kaur L. Advances in potato chemistry and technology, Burlington: Elsevier, 2009: 19 - 21.
- [12] Editorial. Fried potato chips and French fries—Are they safe to eat? [J]. Nutrition, 2011, 27: 1076 - 1077.
- [13] Kalita D, Jayanty S S. Reduction of acrylamide formation by vanadium salt in potato French fries and chips[J]. Food Chemistry, 2012; 138: 644 - 649.
- [14] Kirkman M A. Global markets for processed potato products[M]// Vreugdenhil D. Potato biology and biotechnology advances and perspectives. Oxford: Elsevier, 2007: 27 - 44.
- [15] Yagua C V, Moreira R G. Physical and thermal properties of potato chips during vacuum frying[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(2) 272 - 283.
- [16] Warning A, Dhall A, Mitrea D, et al. Porous media based model for deep - fat vacuum frying potato chips[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110: 428 - 440.
- [17] Eskew R K. Potato Flakes[M]// Talburt W F, Smith O. Potato Processing. Westport: The Avi Publishing Company, Inc, 1959: 328 - 344.
- [18] Treadway R H. Potato Starch[M]// Talburt W F, Smith O. Potato Processing. Westport: The Avi Publishing Company,

Inc. , 1959: 374 - 389.

- [19] Li X Q, Scanlon M G, Liu, et al. Processing and value addition[M]//Gopal J, Khurana S M P. Handbook of potato production, improvement, and postharvest management. New York: Food Products Press, 2006: 523 - 555.
- [20] 崔国立. 马铃薯淀粉加工副产物处理技术[J]. 农机使用与维修, 2012(6): 36 - 37.
- [21] 雷恒, 曹兵海, 杨富裕, 等. 利用微生物发酵马铃薯淀粉渣的研究进展[J]. 动物营养学报, 2011, 23: 1891 - 1897.
- [22] Zwijnenberg H J, Kemperman A J B, Boerrigter M E, et al. Native protein recovery from potato fruit juice by ultrafiltration [J]. Desalination, 2002, 144: 331 - 334.
- [23] Refstie S, Tiekstra H A J. Potato protein concentrate with low content of solanidine glycoalkaloids in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 2003, 216: 283 - 298.
- [24] Kärenlampi S O, White P J. Potato proteins, lipids, and minerals[M]// Singh J, Kaur L. Advances in potato chemistry and technology. Burlington: Elsevier, 2009: 99 - 125.
- [25] Strætkvern K O, Schwarz J G, Wiesenborn D P, et al. Expanded bed adsorption for recovery of patatin from crude potato juice[J]. Bioseparation, 1999, 7: 333 - 345.
- [26] Strætkvern K O, Schwarz J G. Recovery of native potato protein comparing expanded bed adsorption and ultrafiltration[J]. Food Bioprocess Technology, 2012, 5: 1 939 - 1 949.
- [27] Bártová V, Bárta J. Chemical composition and nutritional value of protein concentrates isolated from potato (*Solanum tuberosum* L.) fruit juice by precipitation with ethanol or ferric chloride[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57, 9 028 - 9 034.
- [28] Zeng F K, Liu H, Liu G. Recovery of protease inhibitors from potato fruit water by expanded bed adsorption with Amberlite XAD7HP[J], Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2013, In press.
- [29] Morrow L, Jecha - Beard L. Developments in the international potato processing industry[J]. Acta Horticulturae, 2003, 619: 459 - 462.
- [30] Sloan A E. Top 10 trends to watch and work on: 2003[J]. Food Technology, 2003, 57: 30 - 50.
- [31] Brat P, Georgé S, Bellamy A, et al. Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables [J]. Journal of Nutrition, 2006, 136: 2 368 - 2 373.