

# 玉米胚芽蛋白提取利用研究进展及开发前景

石 丹<sup>1</sup>,孙向东<sup>2</sup>,张 筠<sup>1</sup>

(1. 黑龙江东方学院 食品与环境工程学部,黑龙江 哈尔滨 150086;2. 黑龙江省农业科学院 农产品质量安全研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**为玉米胚芽蛋白的有效开发与利用,简要介绍了玉米胚芽蛋白的营养价值及保健功效,并对玉米胚芽蛋白功能性及其影响因素进行了分析,对玉米胚芽蛋白的几种提取工艺及优缺点进行了讨论。回顾了玉米胚芽蛋白在食品中的应用并对未来发展趋势进行了预测。指出醇法提取玉米胚芽蛋白是未来实现工业化生产的重点研究方向,具有不同保健功能的胚芽蛋白肽将是最有潜力的研究领域之一。

**关键词:**玉米胚芽蛋白;提取工艺;功能性;提取率;应用

**中图分类号:**S816 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2015)07-0162-06 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2015.07.0162

我国是玉米生产大国,种植范围广,产量大。据统计,2013年我国三大粮食作物总产量分别为:玉米 21 773 万 t,稻谷 20 329 万 t,小麦 12 172 万 t,玉米已成为我国产量最大的粮食作物。目前玉米主要有两大用途:制作饲料和作为工业原料用于精深加工。我国玉米饲料用量约占总量的 63%,深加工用量已达总量的 27%,直接食用的数量相对很小。在玉米胚芽综合利用方面还存在较大问题,作为玉米淀粉和酒精工业的副产品,玉米胚芽主要用于制油,副产物胚芽粕直接干燥粉碎,因其蛋白质严重变性,功能性较差,且存在异味,多作为饲料出售,不但经济价值较低,也是对优质蛋白质资源的极大浪费。

据报道,美国的 Ener Genetics International, Inc. (EGI)公司在 2003 年推出了被誉为“明天的革命性蛋白质”的玉米胚芽分离蛋白,该蛋白无色、无味,具有极佳的功能性质<sup>[1]</sup>。目前欧美发达国家已经工业化生产纯度高达 92%~95%的优质玉米胚芽分离蛋白并且广泛应用于乳制品、冰激凌、焙烤食品、早餐方便食品、健康营养食品、饮料、人造肉及乳化肉制品中,其保水性、发泡性、吸油性、增稠性、乳化能力、乳化稳定性等均优于大豆分离蛋白、鸡蛋清蛋白、酪蛋白等优质蛋白添加剂。应用玉米胚芽蛋白可显著改善产品组织结构及口感,提高产品得率,延长保质期,因而受到广泛欢迎。

目前我国对玉米胚芽蛋白低变性提取方法较少,开展这方面的研究有助于改变我国玉米胚芽蛋白仅用作饲料的浪费局面,为食品企业提供工艺技术,提高粮食精深加工水平,增加优质植物蛋白供应来源,提升产品附加值,从而提高广大人民群众的营养水平。参考西方发达国家实际推广情况,考虑到我国玉米作为主要粮食作物的巨大产量,玉米胚芽蛋白的开发在我国势在必行,市场前景极其广阔。

## 1 玉米胚芽蛋白的营养价值及保健功能

谷物胚芽具有高脂肪、高灰分和高蛋白的特点。玉米胚芽占玉米籽粒质量的 10%~15%,含有玉米籽粒中 22%的蛋白质。玉米胚芽制油后得到的玉米胚芽饼粕,粗蛋白含量为 23%~25%。如果玉米胚芽以溶剂浸出法制油,脱脂胚芽粕再经过脱溶脱臭提纯处理,即可制得一种风味和功能性质优良的蛋白质添加剂。从营养学角度看,玉米胚芽蛋白的主要组分是白蛋白和球蛋白,而胚乳蛋白的主要组分是醇溶蛋白,因而其营养价值和功能性均大大优于胚乳蛋白。玉米籽粒各部分蛋白组成见表 1。玉米胚芽蛋白必需氨基酸含量很高,尤其是玉米胚乳中缺乏的赖氨酸和色氨酸含量都比较高,而其它氨基酸含量较均衡,其氨基酸组成与鸡蛋蛋白及大豆分离蛋白的氨基酸组成非常接近<sup>[2]</sup>,与 FAO/WHO 推荐的完全蛋白质标准较一致<sup>[3]</sup>(见表 2)。玉米胚芽蛋白的生物价(BV)为 64%~72%,接近大豆蛋白(73%),高于大米(63%)和精制面粉(52%)。玉米胚芽蛋白的蛋白质功效比值(PER)为 2.04~2.56,与大豆蛋白(2.32),酪蛋白(2.5)相当。在常见谷物中,玉米胚芽蛋白的氨基酸评分最高<sup>[4]</sup>,是最好的一种植物蛋白营养源。

收稿日期:2015-03-09

基金项目:哈尔滨市优秀学科带头人基金项目(2013 RFXJ049)

第一作者简介:石丹(1990-),女,黑龙江省庆安县人,硕士,从事食品工程研究。E-mail:daisyilla@163.com。

通讯作者:张筠(1976-),女,博士,副教授,从事食品工程研究。

表 1 玉米籽粒、胚乳和胚芽中蛋白质组  
分构成<sup>[5]</sup>

Table 1 Protein components in corn grain, endosperm and embryo <sup>[5]</sup>				
蛋白质种类 Protein	白蛋白/% Albumin	球蛋白/% Globulin	醇溶蛋白/% Gliadin	谷蛋白/% Gluten
籽粒 Grain	8	9	39	40
胚乳 Endosperm	4	4	47	39
胚芽 Embryo	30	30	5	25

虽然玉米胚芽营养全面而均衡,但作为淀粉工业的副产品,因玉米淀粉生产过程中使用 SO<sub>2</sub> 浸泡,导致玉米胚芽中有约 40% 的 SO<sub>2</sub> 残留,造成玉米胚芽的酸值、过氧化值及 SO<sub>2</sub> 残留量偏高。

表 2 玉米胚芽分离蛋白的必须氨基酸组成<sup>[2]</sup>

Table 2 Necessary amino acids of corn germ separation protein <sup>[2]</sup>								
氨基酸 Amino acids	赖氨酸/% Lys	苏氨酸/% Thr	色氨酸/% Try	半胱氨酸/% Cys	缬氨酸/% Val	亮氨酸/% Leu	苯丙氨酸/% Phe	异亮氨酸/% Ile
FAO 标准 FAO standard	5.5	4.0	1.5	3.5	5.0	7.5	3.0	4.0
玉米胚芽粕 Corn germ meal	5.9	4.0	1.6	0.68	6.8	10.1	4.2	4.02
玉米胚芽分离蛋白 Corn germ separation protein	7.4	3.7	1.3	0.84	6.8	8.9	4.9	3.98
大豆分离蛋白 Separation protein of soybean	6.1	3.7	1.8	2.1	4.8	7.7	5.4	4.9

王霞<sup>[7]</sup>等通过对玉米胚芽蛋白水解物的抗氧化活性研究发现,水解物对羟基自由基、DPPH 自由基、超氧阴离子自由基具有一定的清除能力。当浓度为 6 mg·mL<sup>-1</sup> 时,清除效果最好。水解物还对 Cu<sup>2+</sup> 具有螯合作用,随水解物浓度的上升螯合作用呈增强的趋势。水解物对亚油酸氧化具有抑制作用,作用效果与剂量呈正相关,对油脂的 POV 值亦有抑制效应,当浓度为 0.1% 时抑制效果最好。

李升福等<sup>[8]</sup>以小鼠为实验对象,测试了玉米蛋白水解物的抗疲劳效果。结果显示,玉米水解肽具有增强小白鼠游泳耐力,降低运动后小白鼠血乳酸及血尿素氮水平的显著作用,确认玉米水解肽具有抗疲劳效果。研究还发现玉米胚芽蛋白可降低血压、血糖、甘油三酸酯,清除人体内致癌物质。

2 玉米胚芽蛋白的功能性及影响因素

未变性的玉米胚芽蛋白具有良好的功能性,如持水性、持油性、乳化性、乳化稳定性、发泡性、

因此市售玉米胚芽多呈酸性,pH 一般为 4.5~5.0。这会造成安全隐患,需要在后续生产过程中采用脱硫、脱酸来改善其风味与安全性。

目前,对于玉米胚芽蛋白保健功能方面的研究还不够深入,报道亦不多,最新研究发现其在改善免疫功能、提高抗氧化活性、抗疲劳等方面具有一定功效。张鸣镝等<sup>[6]</sup>研究了玉米胚芽蛋白酶解物对小鼠免疫功能的影响,结果显示玉米胚芽蛋白酶解物能显著提高正常小鼠的免疫脏器指数、腹腔巨噬细胞的吞噬百分率、吞噬指数和淋巴细胞的转化功能活性,促进溶血素的形成。认为玉米胚芽蛋白经胰蛋白酶体外水解后产生了一些具有免疫活性的小肽,这些小肽可提高机体免疫功能,是一种很好的非特异性免疫激活剂。至于具体是哪些小肽在起作用,作者未做进一步研究。

胶凝性等,是一种优良的功能性食品原料。常规制油方法(高温压榨)会导致玉米胚芽蛋白严重变性,丧失其功能性质,因而无法应用于食品中,只能作为饲料使用。环境条件如温度、pH、盐类等都会对玉米胚芽蛋白的功能特性产生影响,从而影响其在食品中的应用效果。

研究表明,玉米胚芽分离蛋白在 pH4.7 时溶解度最小,是其等电点;在碱性条件下溶解性较好,在 pH8.0 时溶解度可达 78.2% (见图 1)。在 55℃ 时溶解度最大(见图 2)。pH 为 7.0~8.5 时乳化性明显增加。提高温度也可以增加蛋白质的乳化性<sup>[9]</sup>。赵梅等<sup>[10]</sup>在研究了玉米胚芽蛋白粉的持水性和持油性后指出,玉米胚芽蛋白粉在低温(10~25℃)和低 pH(pH5.0~5.5) 时持水力低,持水力在 30~70℃ 时迅速增大。在 pH7.0, 69℃ 保温 29 min 时,玉米胚芽粉持水能力最大,达到 4.88 g·g<sup>-1</sup>。影响玉米胚芽蛋白粉持水力的主次因素为:温度>时间>pH。玉米胚芽蛋白粉的持油性对热不敏感。持油性随着加热时间的延

长而增大,缓慢升温会使玉米胚芽蛋白侧链展开,疏水性增大,有利于增加持油能力。玉米胚芽粉在 40% 浓度,70℃ 保温 30 min 时,持油性最强,可达 91.56%。认为影响玉米胚芽蛋白粉持油性大小的因素为:浓度>温度。Hung 和 Zayas<sup>[11-12]</sup>比较了玉米胚芽蛋白粉与乳蛋白的溶解性、持水性及持油性,发现玉米胚芽蛋白的吸油性与脱脂乳粉和大豆浓缩蛋白接近,低于乳清浓缩蛋白和酪蛋白钠盐。

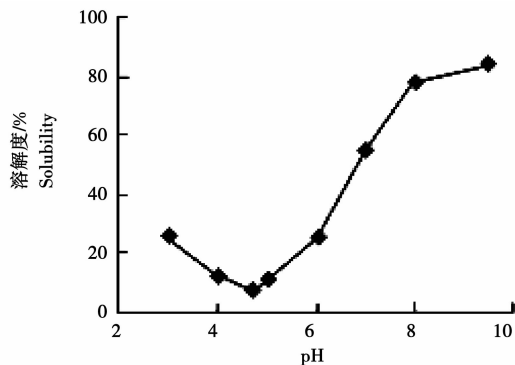


图 1 pH 对玉米胚芽分离蛋白溶解度的影响<sup>[14]</sup>

Fig. 1 The effect of pH on the solubility of corn germ protein isolates

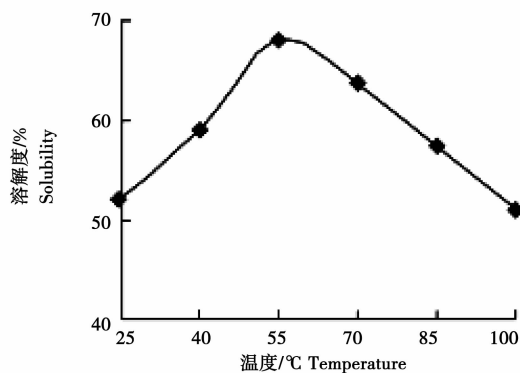


图 2 温度对玉米胚芽蛋白溶解度的影响<sup>[16]</sup>

Fig. 2 The effect of temperature on the solubility of corn germ protein isolates

Zayas 和 Lin<sup>[12]</sup>研究发现在等电点区域(pH4.0~4.5),玉米胚芽蛋白乳化能力最差,随着 pH 的升高,其乳化能力也逐渐提高。同时,乳化能力还与溶解度相关。当 pH 较高时,胚芽蛋白溶解度也较高,这必然增加其乳化能力。乳化稳定性与胚芽蛋白浓度相关,随着蛋白浓度的提高,乳化稳定性亦提高。7% 脱脂玉米胚芽蛋白与 40% 油脂混合可获得最大乳化稳定性,此时持水性为 70.39%。在油脂含量为 20%~40% 范围内,提高油脂含量可使乳化稳定性增加。Vani 和 Zayas<sup>[13]</sup>研究了玉米胚芽蛋白粉的发泡性和泡沫稳

定性并与小麦胚芽蛋白粉、大豆粉、脱脂乳粉进行了比较,结果显示玉米胚芽蛋白粉发泡能力最强,在 30 min 内泡沫稳定性最好。认为蛋白质浓度、pH 均对玉米胚芽蛋白粉的发泡性和泡沫稳定性有影响。

李晶和昌友权<sup>[14]</sup>比较了玉米胚芽蛋白和大豆分离蛋白在乳化型碎肉制品中的乳化能力,发现玉米胚芽蛋白乳化固体脂肪的能力及凝胶性能都要强于大豆分离蛋白,通过凝胶层析发现大豆分离蛋白主要以分子形式存在,而玉米胚芽分离蛋白则形成了具有较高表面疏水性的可溶性分子聚集体,该蛋白分子聚集体可能具有棒状结构,两极分别是亲水端和亲油端,而这种结构允许蛋白质同时具有表面疏水性和溶解性。蛋白质聚集体的亲油端可吸附在脂肪颗粒表面,亲水端则深入水相,有利于固体脂肪的稳定。而大豆分离蛋白的球状分子没有相对独立的亲水和亲油端,且表面疏水性较低,无法立刻吸附在脂肪表面,因此大豆分离蛋白的乳化性要比玉米胚芽蛋白差。

Parris 等<sup>[15]</sup>比较了商业干磨和湿磨法提取的玉米胚芽蛋白组分。发现采用干磨法获得的玉米胚芽蛋白组分要显著多于湿磨法(见图 3)。采用湿法处理获得的胚芽蛋白的非蛋白氮含量要显著高于干法制备的蛋白质中的非蛋白氮含量。

蛋白质的功能性是由其内在结构决定的,不同的物理化学性质往往反映了蛋白质的特定结构。最新研究显示<sup>[2]</sup>,玉米胚芽蛋白的二级结构主要为  $\beta$ -折叠和无规则卷曲,其变性温度为 97.37 和 98.95℃,电泳图谱显示 9 条谱带,分子量分别为 87.98、76.32、69.65、53.64、48.54、38.16、34.33、32.29、24.48 kDa。凝胶层析结果显示玉米胚芽蛋白主要由 2 个组分构成,分子量分别为 459 和 154 kDa。

### 3 玉米胚芽蛋白提取工艺及参数优化

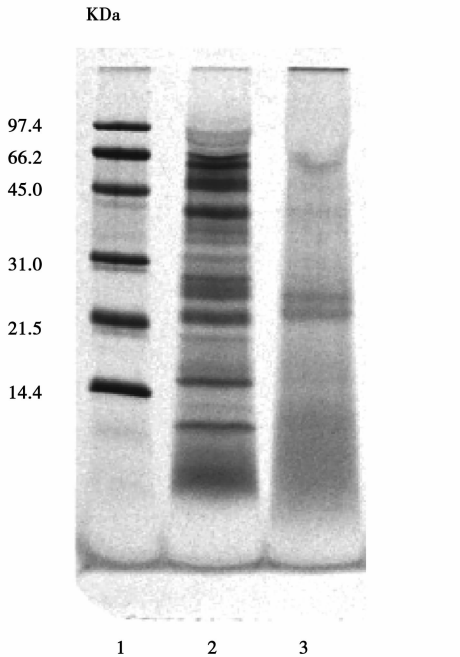
目前玉米胚芽蛋白尚未实现工业化生产,实验室水平的提取方法较多,主要有碱溶酸沉法(等电点沉淀法)、醇法、酶法和反胶束法四大类。虽然很多人进行了初步的研究,探索了可能的途径,但普遍存在的工艺复杂、提取率较低、成本偏高等问题,制约了玉米胚芽蛋白的大规模商业化生产。

#### 3.1 碱溶酸沉法工艺器与设备

图 4 是一种典型的碱溶酸沉法玉米胚芽蛋白提取工艺,很多研究都是在此基础上进行的改进。

赵梅<sup>[16]</sup>等利用碱溶酸沉法从脱脂玉米胚芽粉提取分离蛋白,利用单因素实验和响应面法分析获得影响玉米胚芽分离蛋白提取率的主要因素

依次是:pH、液料比和温度。最佳提取条件为pH9.0,料液比为10:1,提取时间1 h,温度50℃时,提取率达到55.71%。张鸣镝等<sup>[17]</sup>采用同样的提取工艺,实验和分析方法,获得的最佳提取条件为pH为8.7,料液比为11:1,提取时间1.5 h,温度为46℃时,提取率为58.46%。两个实验得到的结果基本一致,后者获得的较高提取率表明其参数设置更加合理。



1 泳道:分子量标准蛋白;2 泳道:干法提取的玉米胚芽蛋白;3 泳道:湿法提取的玉米胚芽蛋白  
Lane 1: molecular weight standards; lane 2: protein extracted from dry-milled corn germ; Lane 3: protein extracted from wet-milled corn germ

图3 干法和湿法提取的玉米胚芽蛋白的 SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳图谱<sup>[15]</sup>

Fig. 3 SDS-polyacrylamide gel electrophoresis of commercial corn germ proteins extracted from dry- and wet-milled corn germ<sup>[15]</sup>

李秀娟等<sup>[18]</sup>采用Osborne分类将玉米胚芽蛋白分成了白蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白四类。其中,白蛋白含量最高,为41%;其次为谷蛋白含量达19%。并对玉米胚芽蛋白质按照以下工艺进行提取:玉米胚芽→磨碎→缓冲溶液提取→真空干燥→水洗→干燥→蛋白粉。选取pH为10.17,料液比为1:9.5,提取时间为1.5 h,温度为50℃的条件下进行提取,最终所得蛋白质提取率为75.2%。

郑有为等<sup>[19]</sup>研究了提油方式对玉米胚芽粕蛋白提取率的影响。选用压榨法、溶剂浸泡法和超临界CO<sub>2</sub>萃取法3种不同提油方式,研究结果

表明超临界CO<sub>2</sub>萃取法对玉米胚芽粕中的各组分影响最小,有利于玉米胚芽浓缩蛋白的制取且浓缩蛋白中蛋白质含量最高。

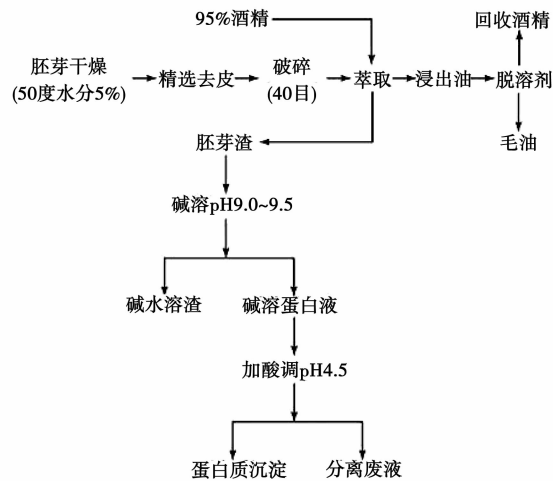


图4 典型的碱溶酸沉玉米胚芽蛋白提取工艺<sup>[2]</sup>  
Fig. 4 Typical alkali soluble acid and corn germ protein extraction process

碱溶酸沉法提取蛋白质虽然工艺简单、成本较低,但因酸碱用量大、污染环境等缺点,已逐渐成为被淘汰的提取方法。

### 3.2 酶法——醇法结合工艺

酶法反应条件温和、特异性好、效率高,是一种很有前途的处理方法。采用淀粉酶或蛋白酶水解处理以提高蛋白质提取率是目前的研究热点之一。醇法采用乙醇为溶剂,可回收反复利用,避免了碱溶酸沉法对环境的污染,是一种很有前途的提取方法。酶法——醇法结合工艺可进一步提高分离提取效率,具有很好的工业化应用前景。

韩忠杰<sup>[20]</sup>等人以脱脂玉米胚芽粉为原料,先用α-淀粉酶进行酶解,再采用醇法提取玉米胚芽蛋白并用响应面法优化了玉米胚芽蛋白的制备工艺。结果表明:在乙醇体积分数为63.67%,液料比为10.25:1,提取时间为1.06 h,温度为45℃时,玉米胚芽蛋白的蛋白提取率达到81.87%,蛋白质含量为55.73%。

采用单酶法提取玉米胚芽蛋白得率较低。皮钰珍等<sup>[21]</sup>采用Alcalase碱性蛋白酶提取玉米胚芽蛋白,通过响应面法获得最佳工艺条件为:pH7.0,料液比1:6.8 g·mL<sup>-1</sup>,酶用量3 000 U·g<sup>-1</sup>,酶解时间3 h,温度60℃,提取率仅为31.06%。

双酶法则可获得较高的提取率。陈丽安等<sup>[22]</sup>采用两步酶法提取工艺,采用纤维素酶和碱性蛋白酶对玉米胚芽进行水解处理。通过正交实验确定最佳工艺为:纤维素酶用量0.3%(w/v),

在 pH4.5 条件下水解 2.5 h;碱性蛋白酶 Alcalase 用量 4% (v/v),在 pH9.0 条件下水解 3 h。玉米胚芽蛋白的提取率可达 83.7%,终产品蛋白质含量达 90.2%。

### 3.3 反胶束法工艺

李飞等<sup>[23]</sup>用反胶束法同时提取玉米胚芽中的蛋白质和油脂,分析了萃取时间、 $W_0$  (反胶束溶液中水的浓度与表面活性剂浓度之比)、萃取温度、离子浓度、pH 和加样量对蛋白质和油脂提取率的影响。确定最佳前萃工艺条件为:萃取时间 1.0 h,萃取温度 40℃,  $W_0$  25, KCl 溶液浓度 0.1 mol·L<sup>-1</sup>, pH7.0, 加样量 0.50 g 时,蛋白质的提取率达 45.61%。

任婷婷等<sup>[24]</sup>采用 AOT/异辛烷反胶束法萃取玉米胚芽蛋白并利用纤维素酶水解处理以提高得率。获得的前萃最佳参数为:酶用量 4 000 IU·g<sup>-1</sup> 玉米胚芽、AOT 浓度 3 g·(50 mL)<sup>-1</sup> 异辛烷、萃取 pH6、KCl 浓度 0.1 mol·L<sup>-1</sup>、 $W_0$  为 25。后萃最佳参数为:KCl 浓度 0.5 mol·L<sup>-1</sup>、萃取 pH10.5,萃取时间 40 min。还对玉米胚芽蛋白的部分功能性质进行了测定,显示其具有良好的吸油性(2.9 mL·g<sup>-1</sup>)、乳化性(54.5%)、乳化稳定性(86.5%)及泡沫稳定性(58.3%),但吸水性和发泡性不佳。

综上所述,响应面法是目前最普遍使用的工艺优化方法,广泛用来筛选最佳提取条件。玉米胚芽蛋白采用传统的碱溶酸沉法提取率在 50% 左右;两步酶法提取率可达 83.7%。反胶束法近年亦用于玉米胚芽蛋白的萃取,该法具有条件温和,蛋白质变性很小,不易污染环境等优点,蛋白质提取率为 45.6%。从目前情况看,反胶束法成本较高,还难以应用于玉米胚芽蛋白的工业化生产。

## 4 玉米胚芽蛋白在食品中的应用潜力

玉米胚芽蛋白是一种优良的蛋白质资源,可以作为营养强化剂及功能性食品添加剂应用到食品中,具有广阔的开发前景。

### 4.1 在焙烤食品中的应用

玉米胚芽蛋白氨基酸组成均衡,在焙烤食品中添加玉米胚芽蛋白,可以弥补小麦蛋白质中赖氨酸和苏氨酸的不足,起到强化蛋白质的作用,是一种很好的食品营养添加剂。籍保平等<sup>[25]</sup>指出玉米胚芽粉的添加量对面团的发酵性能有很大影响。面团发酵后的最大体积与胚芽粉添加量呈负相关,胚芽粉添加量低于 3% 时,胚芽面包面团发酵的最大体积与面包专用粉相当。添加量达 9% 时,其最大体积减小约 18%。卢敏<sup>[26]</sup>在面粉中添

加 2% 的玉米胚芽蛋白粉,制作的饼干体积增大,口感更为酥脆。Tsen<sup>[27]</sup>在普通玉米中添加 12% 的脱脂玉米胚芽粉加工制作玉米胚芽蛋糕,显著提高了玉米蛋白质的利用率,在小麦粉中添加 12% 玉米胚芽蛋白粉制作的营养强化面包,产品外观与口感与普通面包无明显差异。

### 4.2 在肉制品中的应用

玉米胚芽蛋白具有较好的吸水、吸油及凝胶性,可用于肉制品中代替大豆蛋白,起到改善产品质地(减少脂肪游离),增加得率,提高营养价值,也可作为稳定剂存在于脂肪乳化液中。已有报道将其作为添加剂应用在香肠<sup>[28]</sup>、肉糜<sup>[29]</sup>、牛肉饼<sup>[30]</sup>中,可提高能够增加肉糜的持水力、弹性和热稳定性,显著增加终产品得率;可增加肉馅的持水性、持油性及乳化稳定性,改善产品组织特性。

### 4.3 在饮料中的应用

玉米胚芽蛋白是植物蛋白,可做牛奶的替代品,满足牛奶蛋白过敏和乳糖不耐受症人群的需求。玉米胚芽可制备胚芽饮料,采用酶法制取脱脂玉米胚芽饮料<sup>[31]</sup>,乳酸发酵饮料,酸奶或与其它植物胚芽蛋白一起制作复合胚芽蛋白饮料<sup>[32-33]</sup>。

### 4.4 在干酪中的应用

将玉米胚芽蛋白液添加到新鲜牛乳中制作夸克干酪,当玉米胚芽蛋白添加量为 4%,发酵剂添加量为 3.5%,离心转速为 2 700 r·min<sup>-1</sup> 条件下制作的夸克干酪产率高,质地细腻,风味清香,感官品质最佳<sup>[34]</sup>。

## 5 结论

玉米胚芽蛋白是一种营养价值极高的蛋白质资源,具有较好的潜在价值。玉米胚芽蛋白通过蛋白酶水解后,可作为特殊人群的膳食蛋白来源(如消化系统功能不健全的人、老人、过敏性婴儿等)。从目前情况看,玉米胚芽蛋白的提取还处在实验室研究阶段,虽然相关研究提出了各种提取工艺技术,但都存在一定问题,难以实现工业化生产。今后应进一步着重研究提高玉米胚芽蛋白提取率、减少环境污染、有效降低成本、简单易行的提取工艺。酶法结合醇法提取是较有前途的提取方法,反胶束法如能突破成本瓶颈,也将大有潜力。玉米胚芽蛋白采用特异酶水解制备的肽类已经展现了多种保健功能,进一步探索这些功能肽类的各种保健功效,如降血压、血脂、抗疲劳、抗衰老、预防心脑血管疾病、抗肿瘤、抗癌等将是今后研究热点领域之一。

### 参考文献:

[1] Healey I. A revolutionary new food protein/nutraceutical

- ingredient for the food and beverage industries [J]. International Food Marketing and Technology, 2004, 18(1): 4-6.
- [2] 宋春丽,任健,马云飞. 玉米胚芽蛋白的分离及物化特性研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6): 1255-1257.
- [3] Kulakova E V, Vainerman E S, Rogoshin S V. Contribution to the investigation of corn germ. I. Corn germ is a valuable source of protein[J]. J Nahrung, 1982, 26: 451-457.
- [4] 张鸣镝,姚惠源. 玉米胚芽蛋白及其在食品工业中的应用[J]. 食品科技, 2006 (5): 124-126.
- [5] 顾尤. 玉米胚芽蛋白粉的性质及应用前景[J]. 粮油食品科技, 2010, 18(1): 8-9.
- [6] 张鸣镝,管晓,姚惠源. 玉米胚芽蛋白酶解物对小鼠免疫功能的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(2): 302-305.
- [7] 王霞,丁继峰,鹿保鑫,等. 玉米胚芽蛋白水解物的抗氧化活性研究[J]. 中国酿造, 2013, 32(6): 84-88.
- [8] 李升福,闻海波. 玉米蛋白水解物的功能性——抗疲劳的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(8): 245-247.
- [9] 张鸣镝,姚惠源. 玉米胚芽分离蛋白溶解性和乳化性质的研究[J]. 中国油脂, 2006, 31(8): 36-39.
- [10] 赵梅,孙庆杰. 玉米胚芽蛋白粉持水性和持油性影响因素研究[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(4): 7-10.
- [11] Hung S C, Zayas J F. Protein solubility, water retention, fat binding of corn germ protein flour compared with milk proteins [J]. Journal of Food Science, 1992, 57: 372-384.
- [12] Zayas J F, Lin C S. Emulsifying properties of corn germ proteins[J]. Cereal Chemistry, 1989, 66(4): 263-267.
- [13] Vanib, Zayas J F. Foaming properties of selected plant and animal protein[J]. Journal of Food Science, 1995, 60: 1025-1028.
- [14] 李晶,昌友权. 玉米胚芽蛋白的性能及应用研究[J]. 食品科学, 2003, 24(9): 48-51.
- [15] Parris N, Robert A, Moreau R A, et al. Protein distribution in commercial wet- and dry-milled corn germ[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2006, 54: 4868-4872.
- [16] 赵梅,韩忠杰,孙庆杰. 响应面法优化玉米胚芽分离蛋白的提取工艺[J]. 粮食加工, 2013, 21(3): 10-14.
- [17] 张鸣镝,王章存. 响应面分析法优化玉米胚芽蛋白的提取工艺研究[J]. 农产品加工, 2008 (3): 174-178.
- [18] 李秀娟,鲁曾. Box-Behnken 试验设计法提取玉米胚芽蛋白工艺的研究[J]. 油脂工程, 2010(10): 44-46.
- [19] 郑有为,王联结,杨丽. 提取油方式对提取玉米胚芽粕蛋白的影响[J]. 粮食与油脂, 2011, 36(1): 129-132.
- [20] 韩忠杰,熊柳,孙庆杰,等. 醇法制取玉米胚芽蛋白的工艺[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(3): 40-44.
- [21] 皮钰珍,刘彦妮,岳喜庆,等. 酶法提取玉米胚芽蛋白的工艺优化[J]. 食品科技, 2011, 36(7): 157-160.
- [22] 陈丽安,张鸣镝. 两步酶法提取玉米胚芽蛋白的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2007, 50(8): 93-104.
- [23] 李飞,朱科学,周惠明,等. 反胶束法同时提取玉米胚芽中蛋白质和油脂的前萃工艺研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(11): 27-30.
- [24] 任婷婷,吕双双,李书国. 反胶束法萃取玉米胚芽蛋白及其功能性研究[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(2): 80-84.
- [25] 籍保平,梁建芬. 玉米胚芽面包面团的发酵性能[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(6): 98-100.
- [26] 卢敏,王成刚. 玉米胚的开发与利用[J]. 吉林粮食高等专科学校学报, 1998, 13(3): 1-3.
- [27] Tsen C C, Mojibian C N, Inglett G E. Defatted corn germ flours as a nutrient fortifier for bread[J]. Journal of Cereal Chemistry, 1974, 51: 262-264.
- [28] Zayas J F, Lin C S. Effect of pretreatment of corn germ protein on the quality characteristics of frankfurters[J]. Journal of Food Science, 1989, 54: 1452-1456.
- [29] Zayas J F, Lin C S. Influence of corn germ protein on yield and quality characteristics of comminuted meat products in a model system[J]. Journal of Food Science, 1987, 52: 545-548.
- [30] Brown L M, Zayas J F. Corn germ protein flour as an extender in broiled beef patties[J]. Journal of Food Science, 1990, 55: 888-892.
- [31] 安广杰,罗双群,王娜娜,等. 脱脂玉米胚芽饮料的研制[J]. 食品与机械, 2009(4): 134-137.
- [32] 赵华,楚宁,刘珍利,等. 玉米胚芽乳酸发酵饮料的研制[J]. 食品研究与开发, 2013(16): 31-35.
- [33] 张红旗,胡红娟,吴相如. 复合胚芽蛋白饮料的研究[J]. 食品工程, 2007(2): 40-42.
- [34] 朱美伶,皮钰珍. 玉米胚芽蛋白夸克干酪加工工艺的研究[J]. 食品科技, 2014, 39(2): 109-112.

## Advances in Extraction and Utilization of Corn Germ Proteins and Development Prospects

SHI Dan<sup>1</sup>, SUN Xiang-dong<sup>2</sup>, ZHANG Yun<sup>1</sup>

(1. Food and Environmental Engineering Department, Harbin, East University of Heilongjiang, Heilongjiang 150086; 2. Safety and Quality Institute of Agricultural Products, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

**Abstract:** In order to effective development and utilization of corn germ protein, the nutritional value and health benefits of corn germ proteins were introduced briefly, and their functionality and impacting factors were analyzed. The advantages and defects of several extraction technologies were discussed, as well as review of application of corn germ proteins in food and prediction of future development trend. It was pointed out that extraction technology of enzymatic/alcoholic methods would be the key research field for future commercial production, and corn germ protein peptides with various health benefits would be the most potential research field.

**Keywords:** corn germ protein; extraction technology; functionality; extraction rate; application