非糊化条件对小麦蛋白肽酶法制备的影响

安广杰[1,2,3]，卫梦雅[1]，王章存[*1,2,3]，赵学伟[1,2,3]，贺志铮[1]，李秀芳[1]
（1. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院，河南 郑州 450001；2. 食品生产与安全河南省协同创新中心，河南 郑州 450001；3. 河南省冷链食品质量安全控制重点实验室，河南 郑州 450001）

摘要：为了探讨联合制备小麦蛋白肽和小麦淀粉的新方法，以小麦面粉为原料，以小麦蛋白肽的纯度、得率、水解度、还原糖质量分数为评价指标，研究了淀粉非糊化状态下不同处理条件对两种蛋白酶制备小麦蛋白肽的作用效果。结果表明：与浸泡前加酶相比，浸泡后加酶生产的蛋白肽纯度高，还原糖质量分数低，但两者得率相差较小。最佳浸泡条件为：温度 50 ℃，时间 2.5 h。此条件下，中性蛋白酶水解得到的小麦蛋白肽纯度为 27%，得率为 75%，水解度为 17.6%，还原糖质量分数为 5.9%；碱性蛋白酶水解得到的小麦蛋白肽纯度为 25%，得率为 85%，水解度为 23.7%，还原糖质量分数为 9%。预处理过程中，宜采用浸泡后加酶。可根据需要选择不同蛋白酶生产，但碱性蛋白酶中淀粉酶含量较高会产生相对多的淀粉糖。

关键词：小麦蛋白肽；非糊化；蛋白酶
中图分类号：TS 201.1　**文章编号：**1673-1689(2022)12-0068-07　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.12.008

Effect of Non-Gelatinization Conditions on Enzymatic Preparation of Wheat Protein Peptides

AN Guangjie[1,2,3], *WEI Mengya*[1], *WANG Zhangcun*[*1,2,3], *ZHAO Xuewei*[1,2,3], *HE Zhizheng*[1], *LI Xiufang*[1]
(1. College of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China; 2. Collaborative Innovation Center of Food Production and Safety, Zhengzhou 450001, China; 3. Henan Key Laboratory of Cold Chain Food Quality and Safety Control, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: To explore a new method for the combined preparation of wheat protein peptide and wheat starch, the effects of different treatment conditions on the preparation of wheat peptides by two proteases under the non-gelatinization state of raw flour were studied using the purity and yield of peptides, degree of hydrolysis, and reducing sugar content as evaluation indexes. The results showed that the peptides were higher in protein purity and lower in reduced sugar content when the enzyme was added after soaking, while their yields had insignificant difference. The optimum soaking was carried out under 50 ℃ for 2.5 h. Under the optimal condition, the protein purity of wheat peptides, protein yield, hydrolysis degree and reducing sugar content obtained by the neutral protease were 27%, 75%, 17.6%, and 5.9%, respectively, while those obtained by the alkaline protease hydrolysis

收稿日期：2022-04-11
基金项目：河南省科技攻关项目(172102210543)。
作者简介：安广杰(1974—)，女，博士，副教授，硕士研究生导师，主要从事蛋白质食品资源开发和利用方面的研究。E-mail：271180874@qq.com
*** 通信作者：**王章存(1963—)，男，博士，教授，硕士研究生导师，主要从事蛋白质食品资源开发和利用方面的研究。E-mail：dwzhc@163.com

were 25%, 85%, 23.7%, and 9%, respectively. The enzyme was recommended to add after soaking during the pretreatment process. Moreover, different protease could be selected according to the demand, but the higher content of amylase in alkaline protease would produce relatively more starch sugar.

Keywords: wheat protein peptide, non-gelatinization, protease

小麦是我国的主要粮食作物,近几年全国小麦产量超亿吨。但目前小麦面粉食品的消费量却呈现下降趋势。因此小麦深加工和资源转化成为我国小麦利用的主要研究方向。

小麦面粉主要由淀粉和蛋白质组成。淀粉具有糊化、回生、冻融稳定性、凝胶性等功能特性[1],可作增稠剂、稳定剂和脂肪替代品等;谷朊粉是小麦蛋白质常用的商品名称[2],主要由醇溶蛋白和麦谷蛋白组成,具有黏性、弹性、延伸性、成膜性和吸脂性,但因其疏水性强、溶解度低,应用范围有限[3]。谷朊粉含有丰富的蛋白肽,蛋白肽中的谷氨酰胺具有多种生理功能,如抗氧化[4-5]、解酒[6]、免疫调节[7-8]、降血糖[9]、保护肠黏膜[10-11]、促进胃黏膜修复[12-14]等,是其他任何蛋白质无法比拟的优质蛋白,不仅在食品领域有广泛用途,也可大量用于动物营养的添加,市场前景广阔[15]。

目前小麦蛋白肽的生产是以高纯度的小麦蛋白为原料,通过加入不同蛋白酶水解,将大分子蛋白质降解为不同长度的小分子(即蛋白肽)。生产小麦蛋白肽的过程需要较长的工艺路线和较为复杂的生产设备,且消耗大量的水,并产生大量废水,造成严重的环境污染,而且,谷朊粉的干燥过程需要消耗大量的能量[16-17]。因此,市场以及企业迫切需要新的工艺技术来生产小麦蛋白肽,从而为小麦资源转化开发新的市场和道路。

联合制备淀粉糖和小麦蛋白肽的工艺是以小麦面粉为原料,采取先用蛋白酶水解生产蛋白肽,经离心分离后,再用淀粉酶水解淀粉生成相应的淀粉糖,省去了单纯生产小麦淀粉和谷朊粉的过程,简化了生产工艺流程,可大大减少设备投资、缩短生产周期、实现连续化生产、提高生产效率[18];生产过程也大大减少了水的用量和排放,有利于减少环境污染,实现绿色化生产[19]。目前还未出现此工艺的相关文献报道。作者是在此研究的基础上,以小麦面粉为原料,以小麦蛋白肽纯度、得率等为指标,研究了不同浸泡预处理工艺和不同酶对制备小麦蛋白肽的影响,为小麦蛋白肽的工业化生产提供理论和实践基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

小麦面粉:购于中粮面业集团(蛋白质 9%,碳水化合物 75%,脂肪 1.5%,均为质量分数);Alcalase 2.4 L:丹麦诺维信公司产品;中性蛋白酶(200 000 U/g):索莱宝(北京)公司产品;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

DF-101S 型集热式恒温加热磁力搅拌器:河南省予华仪器有限公司产品;UV-8100 B 型紫外可见分光光度计:北京莱伯泰科仪器有限公司产品;FD-1-50 型真空冷冻干燥机:北京博医康实验仪器有限公司产品。

1.3 方法

1.3.1 工艺路线及实验内容 采用两种工艺路线(见图 1)生产小麦蛋白肽,两者主要区别在于浸泡处理(55 ℃,2 h)和加酶顺序不同。采用碱性蛋白酶时,pH 为 8.5;采用中性蛋白酶时,pH 为 7。

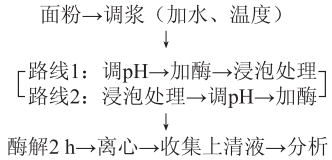


图 1 工艺路线

Fig. 1 Process route

首先,通过考察不同工艺路线下蛋白酶水解效果,得到最佳工艺路线。其次,在路线中依次改变浸泡温度和浸泡时间,通过对酶解物中蛋白肽纯度、得率、水解度和还原糖质量分数的分析,比较两种酶的水解效果。

1.3.2 酶水解实验 按照工艺路线 2 设定单因素实验的基本条件为:面粉与水按 1 g:7 g 混合,浸泡温度为 50 ℃,浸泡 2.5 h 后调 pH 并加酶酶解,加酶量为 1.2%(质量分数),以淀粉质量计,酶解时间 2 h。

以蛋白肽纯度、得率、水解度和还原糖质量分

数为指标,不加酶组为对照组,分别考察浸泡温度、浸泡时间对两种酶水解效果的影响。各因素梯度设定:浸泡温度分别为:45、50、55、60、65 ℃;浸泡时间分别为:1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 h。

1.3.3 蛋白肽纯度和得率测定 采用 Folin-酚试剂法[20]测定上清液中蛋白质质量,并依此计算蛋白肽纯度和得率。

$$P=\frac{M_1}{M_2}\times 100\% \quad (1)$$

$$Y=\frac{M_1}{M_3}\times 100\% \quad (2)$$

式中:P 为蛋白肽纯度,%;M_1 为上清液中蛋白质质量,g;M_2 为上清液中固形物总质量,g;Y 为蛋白肽得率,%;M_3 为初始样品总蛋白质的质量,g。

1.3.4 水解度测定 采用 OPA(邻苯二甲醛)法[21]测定,水解度按下式计算:

$$DH=\frac{h}{h_{tot}}\times 100\% \quad (3)$$

式中:DH 为水解度,%;h 为被水解的肽键数;h_{tot} 为蛋白质总肽键数。

1.3.5 还原糖的测定 为了验证蛋白酶中含有少量的淀粉酶可以酶解淀粉产生还原糖进入上清液。采用斐林试剂法[22]测定上清液中还原糖质量分数。根据下式计算还原糖质量分数:

$$C=\frac{M_4}{M_5}\times 100\% \quad (4)$$

式中:C 为还原糖质量分数,%;M_4 为上清液中还原糖质量,g;M_5 为初始样品总糖质量,g。

2 结果与分析

2.1 不同浸泡预处理工艺对两种酶制备小麦蛋白肽的影响

为了满足不同的生产要求,考察了碱性蛋白酶和中性蛋白酶两种酶的水解效果。

2.1.1 对碱性蛋白酶水解效果的影响 两种工艺路线下碱性蛋白酶水解效果(包括蛋白肽纯度、得率等)见表 1,工艺路线 2 得到的蛋白肽纯度明显比路线 1 高,但两种路线的蛋白肽得率和水解度差异较小,另外路线 2 的上清液中还原糖质量分数明显较路线 1 低。这可能是因为浸泡处理前加酶,淀粉和蛋白质还未分离,难以进行酶解,且随着酶解时间的增加,蛋白酶活力下降,酶解效果减弱,但在浸泡处理后加酶,淀粉颗粒膨胀,体积增大,反而使蛋白质分散度增加,与酶结合概率增大,酶解效果得到提升[23-24],因此,工艺路线 2 即浸泡处理后加酶水解效果较佳。

两种工艺路线的蛋白肽纯度都不高,一方面可能是因为还原糖的存在,另一方面可能是因为淀粉吸水膨胀使黏度增加,导致蛋白质被包裹其中难以分离,上清液中蛋白质减少。

表 1 两种工艺路线下碱性蛋白酶水解效果

Table 1 Effect of alkaline protease hydrolysis under two processes

工艺路线	蛋白肽纯度/%	蛋白肽得率/%	蛋白肽水解度/%	还原糖质量分数/%
路线 1	10.6	54.8	21.8	23.1
路线 2	14.6	52.6	19.6	8.5

2.1.2 对中性蛋白酶水解效果的影响 两种工艺路线下中性蛋白酶水解效果见表 2,工艺路线 2 得到的蛋白肽纯度和得率明显比路线 1 高,但路线 2 的蛋白质水解度明显较路线 1 低,且路线 2 的还原糖质量分数与路线 1 相比较小。

表 2 两种工艺路线下中性蛋白酶水解效果

Table 2 Effect of neutral protease hydrolysis under two processes

工艺路线	蛋白肽纯度/%	蛋白肽得率/%	蛋白肽水解度/%	还原糖质量分数/%
路线 1	19.5	56.4	20.6	8.7
路线 2	25.9	59.3	12.5	4.9

比较表 1 和表 2 可知,中性蛋白酶水解得到的小麦蛋白肽纯度和得率都较碱性蛋白酶高,并且碱性蛋白酶对还原糖质量分数影响较显著,而中性蛋白酶影响较小。其中原因可能是碱性蛋白酶含有少量淀粉酶能够水解淀粉产生还原糖,导致肽纯度降低。因此,以蛋白肽纯度和得率为指标,考察两种工艺路线下中性蛋白酶水解效果,得出工艺路线 2 即浸泡处理后加酶提取小麦蛋白肽效果最佳。

其中,中性蛋白酶水解所得蛋白肽纯度较碱性蛋白酶高,但总量仍然较低,这可能是因为尽管还原糖质量分数较低使其纯度较高,但淀粉的黏度增加导致了上清液中蛋白质减少。

2.2 浸泡温度对酶水解效果的影响

2.2.1 对蛋白肽纯度的影响 不同蛋白酶水解所得小麦蛋白肽的纯度见图 2,小麦蛋白肽的纯度都随温度的升高先上升后逐渐下降,在 50 ℃时分别

达到最高值。这可能是因为在 45~65 ℃存在一个临界点温度,在临界点温度前,蛋白肽被部分糊化的淀粉包裹[25-26],难以分离,因此纯度较低;在临界点时,淀粉颗粒膨胀,体积增大反而增加蛋白质分散度,使其更易被酶解,因此纯度升高;但高于此温度,糊化度升高,蛋白质逐渐变性,黏度增加,膨胀的淀粉颗粒难以分离并发生酶解反应,酶活力也在逐渐下降[27-28],上清液中蛋白质减少,蛋白酶中淀粉酶活力逐渐上升,还原糖质量分数升高,因此,小麦蛋白肽纯度降低。临界点温度为 50 ℃。

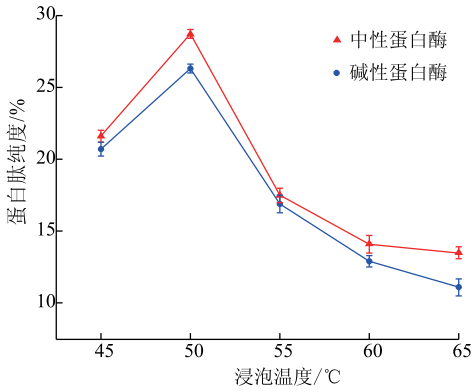


图 2 浸泡温度对蛋白肽纯度的影响

Fig. 2 Effect of soaking temperature on peptide purity

2.2.2 对蛋白肽得率的影响 不同蛋白酶水解所得蛋白肽得率见图 3,蛋白肽得率都随着温度升高先增加后逐渐减少,但中性蛋白酶水解效果更佳。由图 2 可知,50 ℃为临界点温度,此时蛋白质分散度增加,更易被酶解,得率最高,但高于此温度,淀粉逐渐膨胀,黏度增加,与蛋白质难以分离,酶活力也在高温下逐渐失活,上清液中蛋白质减少,因此得率逐渐降低。

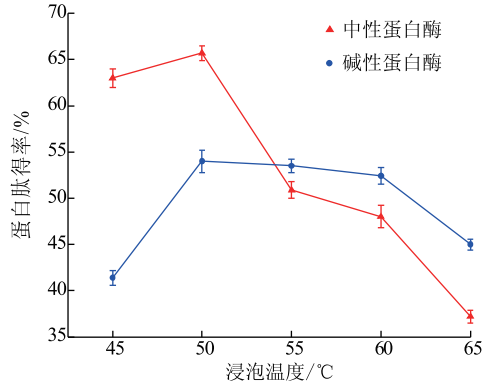


图 3 浸泡温度对蛋白肽得率的影响

Fig. 3 Effect of soaking temperature on peptide yield

2.2.3 对蛋白肽水解度的影响 不同蛋白酶作用下蛋白肽水解度见图 4,蛋白肽水解度都随着温度升高先增加后逐渐减少,这可能是因为临近 50 ℃,蛋白质的分散度增加,使其更易被水解,因此水解度逐渐增加,但高于 50 ℃,酶逐渐失去活性,淀粉颗粒膨胀,黏度增加,吸水量变大,与蛋白质难以分离[29],小肽难以进入上清液,因此,上清中蛋白质减少,使其水解度逐渐下降。

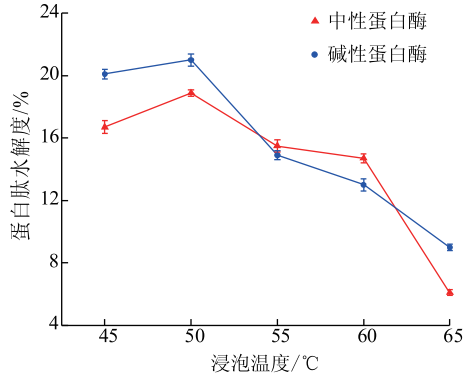


图 4 浸泡温度对蛋白肽水解度的影响

Fig. 4 Effect of soaking temperature on peptide hydrolysis degree

2.2.4 对还原糖质量分数的影响 由于提取过程中存在部分杂质和糖进入酶解物,因此对两种酶解物中还原糖质量分数进行分析(见图 5)。还原糖质量分数都随着温度升高先增加后降低。55 ℃时,还原糖质量分数达到最高,证明蛋白酶中确实存在少量淀粉酶,能够酶解淀粉产生还原糖。碱性蛋白酶处理组还原糖质量分数远高于中性蛋白酶处理组。随着温度升高,淀粉酶活力逐渐提升[30],淀粉被降解为小分子低聚糖,使还原糖质量分数增加。离心使物料中的还原糖进入上清液,其还原糖质量分数逐渐升高;高于 55 ℃时,淀粉逐渐糊化,底物黏度升高,流动性差,沉淀物逐渐增多,上清液质量减少,还原糖质量分数也逐渐降低。

综合以上结果,浸泡温度选择 50 ℃为最佳。

2.3 浸泡时间对酶水解效果的影响

2.3.1 对蛋白肽纯度的影响 不同蛋白酶水解所得蛋白肽纯度见图 6,随着浸泡时间的延长,蛋白肽纯度都先增加后减少,浸泡 2.5 h 时,蛋白肽纯度达到最高,中性蛋白酶水解得到蛋白肽纯度为 27%,碱性蛋白酶水解得到蛋白肽纯度为 25%。因此,浸泡时间 2.5 h 较为合适。这可能是因为随着浸泡时

间的延长,蛋白酶水解效果逐渐增加,蛋白肽纯度逐渐增加,当浸泡时间超过 2.5 h,淀粉吸水膨胀,黏度增加,与蛋白质难以分离,上清液中蛋白质减少,蛋白肽纯度逐渐下降。

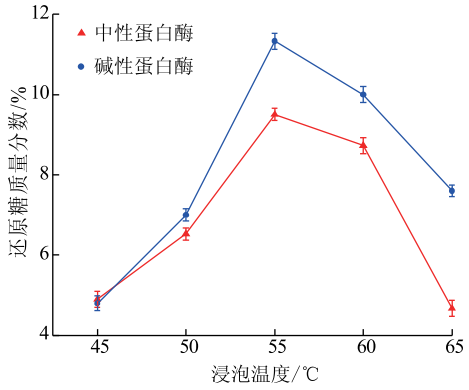


图 5 浸泡温度对还原糖质量分数的影响

Fig. 5 Effect of the soaking temperature on the reducing sugar content

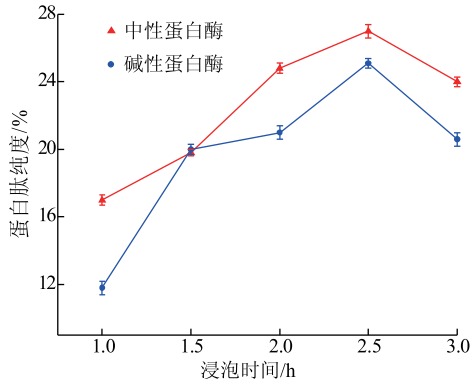


图 6 浸泡时间对蛋白肽纯度的影响

Fig. 6 Effect of soaking time on peptide purity

2.3.2 *对蛋白肽得率的影响* 不同蛋白酶水解所得蛋白肽得率见图 7,随着浸泡时间的延长,蛋白肽得率都先增加后减小。浸泡 2.5 h 时,蛋白肽得率最高,碱性蛋白酶处理组达到 85%,中性蛋白酶处理组为 75%,因此,确定浸泡时间为 2.5 h。随着浸泡时间的延长, 淀粉颗粒膨胀可能增加蛋白质的分散度,使其更易被酶水解,超过 2.5 h,淀粉颗粒体积过大且临近糊化状态,物料流动性变差,可能会阻隔蛋白质与酶反应,因此,得率逐渐降低。碱性蛋白酶水解效果较中性蛋白酶佳。

2.3.3 *对蛋白肽水解度的影响* 不同蛋白酶作用后,蛋白肽水解度见图 8,随着时间增加,水解度都逐渐降低。这是因为随着浸泡时间的延长,淀粉颗粒膨胀,体积变大,糊化度升高,临近糊化状态,流动性变差,可能会阻隔蛋白质与酶反应,时间越久,黏度越大,可被水解的蛋白质包裹其中,难以分离,同时酶活力也逐渐下降, 因此水解度逐渐降低,但相同条件下,碱性蛋白酶水解效果较中性蛋白酶佳。

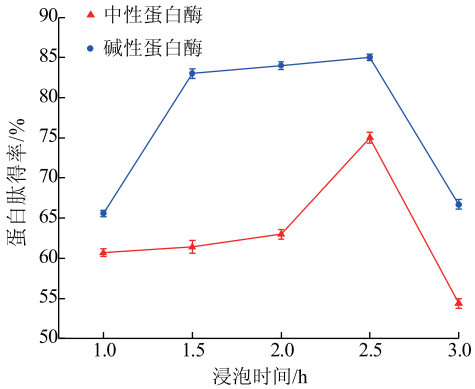


图 7 浸泡时间对蛋白肽得率的影响

Fig. 7 Effect of soaking time on the peptide yield

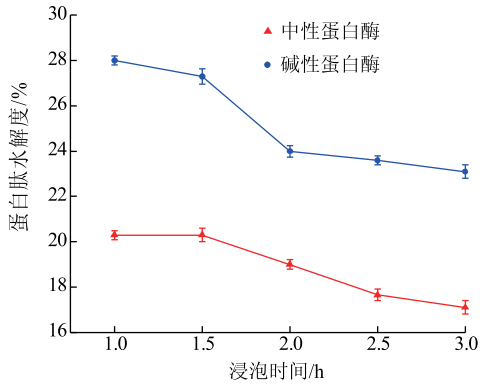


图 8 浸泡时间对蛋白肽水解度的影响

Fig. 8 Effect of soaking time on peptide hydrolysis degree

综上可知,以小麦蛋白肽纯度和得率为主要评价指标,选择时间为 2.5 h 最佳。

2.3.4 *对还原糖质量分数的影响* 对两种酶解物中的还原糖进行分析,结果见图 9,还原糖质量分数都随着浸泡时间的增加逐渐降低,这可能是因为浸泡时间越久,淀粉颗粒越膨胀,结合水分的含量越高,因此离心得到的上清液质量越少,其还原糖质量分数越低。碱性蛋白酶水解得到的还原糖质量分数较中性蛋白酶高,证明碱性蛋白酶中淀粉酶较多。

2.4 验证实验

以不加酶组为空白对照组,测得蛋白肽纯度为 5.5%,得率为 17.1%,水解度为 2.4%,还原糖质量分数为 5.1%,进一步验证蛋白酶中含有少量淀粉酶可

以产生还原糖,碱性蛋白酶中淀粉酶含量高于中性蛋白酶。

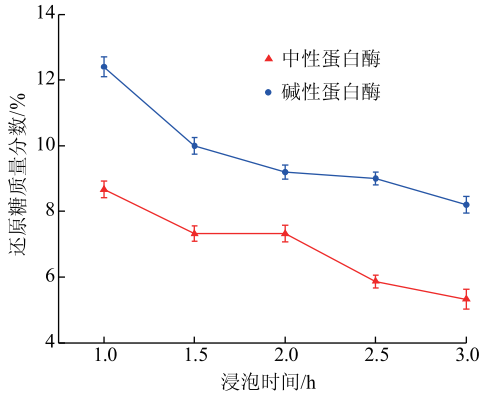


图 9　浸泡时间对还原糖质量分数的影响

Fig. 9　Effect of soaking time on the reducing sugar content

3 结　语

通过对不同预处理和不同酶制备蛋白肽效果的影响进行研究,得到以下结论:1)浸泡预处理工艺采取浸泡后加酶水解效果更佳。2)通过对酶解物中还原糖质量分数进行分析,结果表明碱性蛋白酶中淀粉酶含量较高,会产生相对多的淀粉糖。此现象尚未在工业生产中引起重视,为了提高蛋白肽纯度和得率,也需要进一步探究和观察。3)最佳浸泡条件为浸泡温度 50 ℃,浸泡时间 2.5 h。此条件下,中性蛋白酶水解得到蛋白肽纯度为 27%,得率为 75%,水解度为 17.6%,还原糖质量分数为 5.9%;碱性蛋白酶水解得到蛋白肽纯度为 25%,得率为 85%,水解度为 23.7%,还原糖质量分数为9%。

通过单因素实验对各项指标进行评价,探讨了非糊化工艺及条件对小麦蛋白肽酶法生产的影响及机理,要想获得更科学的实验结果,还需要通过响应面优化实验进一步探究。另外,蛋白肽的纯度整体较低,主要是酶解时间有限,在后续研究中将对酶解条件做进一步探究。

参考文献:

[1] 项丰娟,苏磊,张秀南,等. 小麦淀粉的研究现状[J]. 食品研究与开发,2021,42(16):212-219.
[2] 冀世敏,张连富. 小麦面筋蛋白 - 果胶复合物的制备及功能特性研究[J]. 食品与生物技术学报,2019,38(8):84-90.
[3] 王章存,王许东,张子峰,等. BTI 保护法测定小麦水解蛋白中谷氨酰胺含量[J]. 中国粮油学报,2016,31(6):150-152.
[4] 苏春燕,朱科学,周惠明. 超滤法分离富集谷朊粉抗氧化活性肽[J]. 食品与生物技术学报,2011,30(1):44-48.
[5] ZOU Z,WANG M,WANG Z ,et al. Antihypertensive and antioxidant activities of enzymatic wheat bran protein hydrolysates[J]. **Journal of Food Biochemistry**,2020,44(1):1-13.
[6] YANG X,YANG L,PAN D,et al. Wheat peptide protects against ethanol-induced gastric mucosal damage through downregulation of TLR4 and MAPK[J]. **Journal of Functional Foods**,2020,75:1-11.
[7] ZHENG Z,YANG X,LIU J,et al. Effects of wheat peptide supplementation on anti-fatigue and immunoregulation during incremental swimming exercise in rats[J]. **RSC Advances**,2017,7(69):43345-43355.
[8] YU G,JI X,HUANG J ,et al. Immunity improvement and gut microbiota remodeling of mice by wheat germ globulin[J]. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**,2021,37(4):1-13.
[9] SUN S,ZHANG G,MU H,et al. The mixture of corn and wheat peptide prevent diabetes in NOD mice[J]. **Journal of Functional Foods**,2019,56:163-170.
[10] WEI G,HELMERHORST E J,DARWISH G,et al. Gluten degrading enzymes for treatment of celiac disease[J]. **Nutrients**,2020,12(7):1-15.
[11] DI S L,PICASCIA S,AURICCHIO R,et al. Comparative analysis of *in vitro* digestibility and immunogenicity of gliadin proteins from durum and einkorn wheat[J]. **Frontiers in Nutrition**,2020,7:1-7.
[12] 叶丽萍,龚四堂. 正常大鼠小肠黏膜纹状缘氨基肽酶活性的研究[J]. 广东医学,2008(5):746-747.
[13] KAN J,CHENG J,XU L,et al. The combination of wheat peptides and fucoidan protects against chronic superficial gastritis and alters gut microbiota:a double-blinded,placebo-controlled study[J]. **European Journal of Nutrition**,2020,59(4):1655-1666.
[14] 刘文颖, 杨贤, 曹珂璐, 等. 小麦低聚肽和谷氨酰胺对大鼠胃肠黏膜损伤的保护作用 [J]. 食品与发酵工业,2017,43(11):

51-57.
[15] 余楠楠,陈琛. 生物活性肽功能及制备技术研究进展[J]. 中国酿造,2018,37(9):17-21.
[16] 方颂平,蒲顺昌,吴文睿,等. 小麦淀粉生产工艺因素对淀粉糊化特性的影响[J]. 中国粮油报,2020,35(4):33-38.
[17] NIKOLAVCIC B,SVARDAL K. Biological treatment of potato starch wastewater design and application of an aerobic selector [J]. **Water Science and Technology**,2000,41(9):251-258.
[18] MERZ M,EISELE T,CLAABEN W,et al. Continuous long-term hydrolysis of wheat gluten using a principally food-grade enzyme membrane reactor system[J]. **Biochemical Engineering Journal**,2015,99:114-123.
[19] 叶为标. 淀粉废水处理方法研究进展[J]. 粮食与油脂,2008(10):4-7.
[20] 柏韵,李然,张振,等. 中国对虾虾壳制备几丁质工艺研究[J]. 食品工业科技,2017,38(9):174-180.
[21] NIELSEN P M,PETERSEN D,DAMBMANN C. Improved method for determining food protein degree of hydrolysis [J]. **Journal of Food Science**,2001,66(5):642-646.
[22] 谢静静,付文鹏,赵艳雯,等. 美洲大蠊脱脂膏中总糖和还原糖含量的测定[J]. 食品工业科技,2019,40(3):199-206.
[23] 陈建省,邓志英,吴澎,等. 添加面筋蛋白对小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(2):388-395.
[24] 陈建省,田纪春,吴澎,等. 不同筋力面筋蛋白对小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 食品科学,2013,34(3):75-79.
[25] 罗舜菁,李燕,杨榕,等. 氨基酸对大米淀粉糊化和流变性质的影响[J]. 食品科学,2017,38(15):178-182.
[26] NARCISO J O,BRENNAN C. Whey and pea protein fortification of rice starches:effects on protein and starch digestibility and starch pasting properties[J]. **Starch – Stärke**,2018,70(9/10):1-16.
[27] WANG L,ZHANG L,WANG H,et al. Insight into protein-starch ratio on the immersion and retrogradation characteristics of reconstituted rice flour[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**,2020,146:524-529.
[28] 靳志强,陈艳彬,王玺. 湿热处理和发酵对小米营养素生物可给性及淀粉消化性的影响[J]. 中国食品学报,2019,19(12):177-186.
[29] 章乐乐,崔鑫儒,赵创谦,等. 青稞多糖对玉米淀粉糊化和流变特性的影响[J]. 食品与生物技术学报,2020,39(10):73-81.
[30] 王章存,陆杰,李乐静,等. 谷朊粉的有限酶解对其分散性及胶黏性的影响[J]. 食品工业科技,2012,33(5):119-122.

科　技　信　息

研究揭示中国香猪肉优质风味的代谢组特征

近日,中国农业科学院北京畜牧兽医研究所猪遗传育种科技创新团队对中国香猪肉优质风味的代谢组进行了解析,揭示了中国香猪肉的代谢组特征,为优质猪肉的遗传机理研究和优质种猪选育提供了新依据。相关研究成果发表在 *Food Research International* 上。

剑河白香猪是我国香猪品种之一,其肉色鲜红,平均肌内脂肪质量分数可达 7%以上,肉质风味极佳。鉴于目前关于我国地方香猪品种优良肉质性状形成机制的研究较为缺乏,该研究选取了剑河白香猪为研究对象,以纯种大白猪为对照,分析发现,在剑河白香猪肉中,与优质风味密切相关的甘油三酯、单不饱和脂肪酸和糖类物质含量更高,并且剑河白香猪肉中磷脂的不饱和程度显著高于大白猪。研究还筛选鉴定了 100 个脂质分子和 118 个亲水代谢物作为潜在的生物标记物,为探讨猪肉品质和风味影响因素提供了参考。

该研究得到国家重点研发计划、国家生猪产业技术体系和中国农业科学院科技创新工程等项目的支持。

[信息来源]中国农业科学院北京畜牧兽医研究所.研究揭示中国香猪肉优质风味的代谢组特征 [EB/OL]. (2022-11-15).https://www.caas.cn/xwzx/kyjz/324391.html.