

胃蛋白酶水解藏羊血清蛋白工艺研究

张娅俐¹, 洪晶¹, 曹竑^{1*}, 田晓静¹, 王婷婷¹, 张福梅¹, 柏家林², 丁功涛^{1,2}, 马忠仁^{1,2}, 宋礼³

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃兰州 730124; 2. 西北民族大学生物医学研究中心, 中国-马来西亚国家联合实验室, 甘肃兰州 730030; 3. 南牦牛乳研究院, 甘肃合作 747000)

摘要 为进一步利用血液资源, 以藏羊血清为原料, 采用胃蛋白酶对其进行水解。以水解度为指标, 研究 pH、温度、加酶量 3 个因素对藏羊血清水解度的影响规律; 在此基础上, 采用 Box-Behnken 响应面法优化胃蛋白酶水解藏羊血清蛋白工艺条件。结果表明: 底物浓度为 5%、加酶量为 6 200 U 时, 最佳水解条件: 温度为 46 °C、pH 为 2.25、酶解时间 2 h, 水解度为 (23.41 ± 0.23)%。**关键词** 胃蛋白酶; 水解; 羊血清蛋白; 响应面

中图分类号 TS 251.9 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)03-0174-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.03.047

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Study on the Process of Gastric Protease Hydrolysis and Serum Protein in Sheep**

ZHANG Ya-li, HONG Jing, CAO Hong et al (School of Life Sciences and Engineering, Northwestern University of Nationalities, Lanzhou, Gansu 730124)

Abstract In order to make further use of blood resources, the serum of sheep was used as raw material and hydrolyzed by gastric protease. Taking hydrolysis as the index, the effect law of pH, temperature and enzyme addition on serum hydrolysis of Tibetan sheep was studied, and on this basis, the gastric protease hydrolysis process conditions of sheep serum protein were optimized by Box-Behnken response surface test. The results showed that when the substrate concentration was 5% and the enzyme amount was 6 200 U, the optimal hydrolytic conditions were as follows; temperature 46 °C, pH 2.25, enzymatic hydrolysis time 2 h, and the degree of hydrolysis was (23.41 ± 0.23)%.**Key words** Gastric protease; Hydrolysis; Ovine serum protein; Response surface

血液一般占畜禽活体重 4.0%~9.8%^[1]。羊血是肉类加工工业的主要副产物之一, 羊血液中几乎含有人体所需的全部营养物质, 包括大部分的蛋白质、氨基酸、维生素以及钾、钠、钙、铁等微量元素^[2]。它还可作为医学和生物学中细菌培养、细菌鉴别及免疫学检测的重要试验材料, 是动物血液中适合作培养基的物资, 此外羊血中还含有专一性很强的凝血酶和超氧化物歧化酶等对人体有益的物质^[3]。但由于许多原因, 我国羊血资源利用率很低, 多数屠宰企业将血液直接排放, 造成宝贵的蛋白质资源浪费^[3]。目前国内外将动物血液用于林化工业、制药、肥料、葡萄酒等工业^[4]。

胃蛋白酶是一种消化性酸性蛋白酶, 在适宜的环境中可将蛋白质分解为肽片段和酪氨酸、苯丙氨酸等氨基酸。不同的蛋白酶水解羊血清蛋白速率、水解产物都有很大差异。近年来, 对其的研究引起了食品学界的广泛关注^[5-6]。当前国内外有关利用植物蛋白^[7-8]和动物蛋白^[9-10]进行蛋白酶水解生产多肽的研究很多, 利用动物血液开发功能性成分已成为研究热点, 但研究多局限于猪血, 关于羊血的研究鲜见报道。笔者以胃蛋白酶对藏羊血清蛋白进行水解, 测定其水解度, 通过响应面法优化其酶解条件, 以期对藏羊血资源和藏羊血清功能多肽的开发利用提供理论依据。

1 材料与方**1.1 材料与试剂** 冷冻干燥处理的藏系绵羊血清, 简称“藏

羊血清”(青海省海西州天峻县); 胰蛋白酶(北京中生瑞泰发展有限公司, 3 000 U/mg); 三氯乙酸、茚三酮、正丁醇、氢氧化钠、盐酸等其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备 722E 型可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司); HWS28 电热恒温水浴锅(上海-恒科技有限公司, 上海-恒科学仪器有限公司); GL-3250B 控温磁力搅拌器(江苏其林贝尔仪器制造有限公司); TGL-16M 高速台式冷冻离心机(湘仪离心机仪器有限公司); Labconco Freezone 1 台式冻干系统(上海比朗仪器有限公司); DHP-9272 型恒温干燥箱(上海-恒科技有限公司); JA2003N 型电子天平(上海精密科技仪器有限公司); PB-10 型精密 pH 计(Sartorius 公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 藏羊血清蛋白酶解液的制备。准确称取 5.0 g 藏羊血清蛋白, 加入 100 mL 超纯水溶解, 调节 pH, 加入适量胃蛋白酶, 在特定的温度下进行水解。水解后于 95 °C 灭酶 15 min, 加入一定量 10% 三氯乙酸后, 于 8 000 r/min 离心 15 min, 取上清液分析。

1.3.2 水解度的测定方法。采用茚三酮比色法^[11]测定样品中氨基酸含量, 并以式(1)计算水解度(degree of hydrolysis, DH)。为消除不同氨基酸因呈色不同而对测定造成的误差^[12-13], 式中采用待水解原料的完全水解液作为标准。

水解度的计算公式如下:

$$DH = (A_b - A_0) / (A_1 - A_0) \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_b 为酶解液中总游离氨基酸, mmol; A_1 为原料蛋白经强酸水解后的总游离氨基酸, mmol; A_0 为原料蛋白中固有的游离氨基酸, mmol。

基金项目 中央高校基本科研业务费专项资金资助(31920200115); 科技部援助项目(KY201501005); 甘肃省自然科学基金资助(18JR3RA371)。

作者简介 张娅俐(1996—), 女, 重庆人, 硕士研究生, 研究方向: 特种经济动物饲养。* 通信作者, 教授, 从事食品生物技术及安全控制研究。

收稿日期 2021-05-18

以甘氨酸含量(mg)为 x 轴,吸光值为 y 轴绘制标准曲线,曲线的回归方程为 $y=0.008 0x+0.043 5$, $R^2=0.992 8$ 。从图 1 可见,在甘氨酸含量 0~200 mg 呈良好的线性关系。

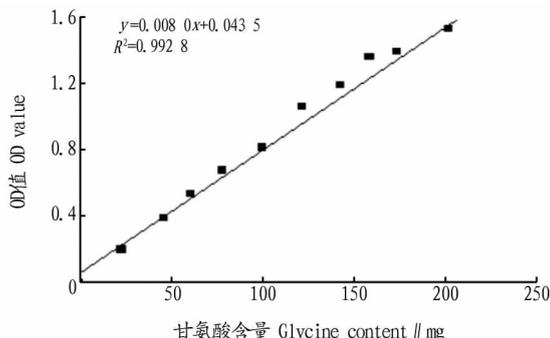


图 1 甘氨酸标准曲线

Fig. 1 Glycine standard curve

1.3.3 胃蛋白酶活力的测定。采用福林法测定胃蛋白酶活力^[5]。

1.3.4 单因素试验设计。为优化藏羊血清蛋白水解效果,在底物浓度为 5% 的条件下,研究 pH (1.0、2.0、3.0、4.0、5.0)、加酶量(3 000、4 500、6 000、7 500、9 000 U)和酶解温度(20、30、40、50、60 °C)对胃蛋白酶水解藏羊血清蛋白效果的影响。

1.4 响应面试验设计 在单因素试验的基础上采用 Box-Behnken 响应面设计,设计见表 1。采用 F 检验对胃蛋白酶水解藏羊血清蛋白的试验数据进行方差分析,评价模型的统计意义。

表 1 Box-Behnken 试验设计

Table 1 Box-Behnken experimental design

编码 Coding	变量 Variable		
	温度 Temperature (A) // °C	pH (B)	加酶量 Enzyme dosage (C) // U
-1	40	2.0	4 500
0	50	3.0	6 000
1	60	4.0	7 500

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 温度对水解度的影响。酶蛋白分子的肽键具有特定的空间结构,在反应温度超某一极限值时,易引起肽键的断裂,从而导致酶活性降低^[14];但如果反应温度过低,蛋白分子体系内运动的激烈程度会大大降低,导致酶与底物碰撞几率的降低^[15]。

在底物浓度为 5%、加酶量 6 000 U、pH 为 3.0 的条件下酶解 2 h,研究酶解温度(20、30、40、50、60 °C)对胃蛋白酶水解藏羊血清蛋白效果的影响,结果见图 2。从图 2 可知,酶解温度在 20~50 °C 时,水解度随温度的升高而增大;酶解温度超过 50 °C 后,水解度迅速下降。故选择较佳的酶解温度为 50 °C。

2.1.2 加酶量对水解度的影响。在蛋白质的水解过程中,随着加酶量的增大,溶液中水解的初速度增大,当原有的蛋

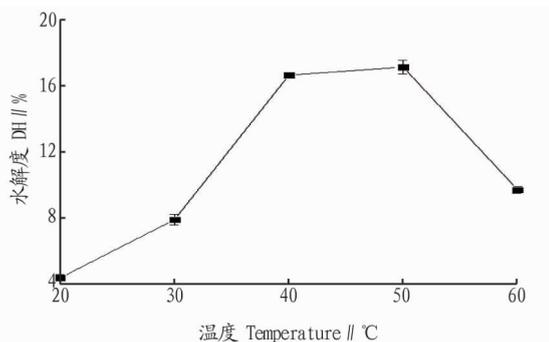


图 2 温度对藏羊血清蛋白水解度的影响

Fig. 2 Effect of temperature on degree of hydrolysis of Tibetan sheep serum protein

白质减少到一定程度以后,增加溶液中胃蛋白酶的浓度,其能够与大分子蛋白质产生作用的几率比之前大大降低,因此并不是酶添加量越高其作用效果越大。根据酶动力学可知,酶的用量过少难以得到最大的水解度,过多会造成资源浪费^[16]。在底物浓度为 5%、酶解温度为 50 °C、pH 为 3.0 的条件下酶解 2 h,研究加酶量(3 000、4 500、6 000、7 500、9 000 U)对胃蛋白酶水解效果的影响,结果见图 3。由图 3 可知,藏羊血清蛋白水解度随着加酶量的增加不断升高,当加酶量超过 6 000 U 后水解度增加缓慢。故选择较佳的加酶量为 6 000 U。

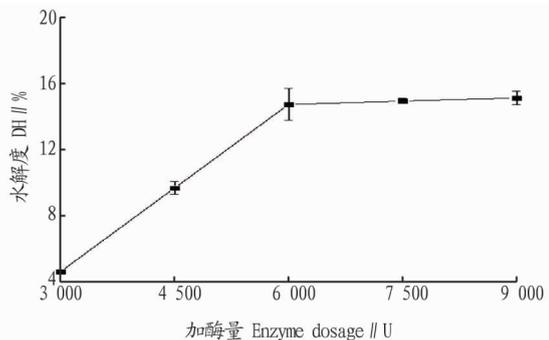


图 3 加酶量对藏羊血清蛋白水解度的影响

Fig. 3 Effect of enzyme dosage on degree of hydrolysis of Tibetan sheep serum protein

2.1.3 酶解 pH 对水解度的影响。pH 对水解度的影响主要表现为对酶活性的影响,因为胃蛋白酶的活性范围为 pH 在 1~5,在偏中性尤其是碱性环境中胃蛋白酶就会发生解链而失去活性^[17]。pH 对水解度的影响不仅要考虑酶本身所产生的生物水解作用,更重要的是要考虑低 pH 环境对藏羊血清蛋白所产生的化学水解对生物水解作用的影响。在底物浓度为 5%、酶解温度为 50 °C、加酶量为 6 000 U 的条件下酶解 2 h,研究酶解 pH (1.0、2.0、3.0、4.0、5.0)对胃蛋白酶水解效果的影响,结果见图 4。由图 4 可知,在 pH 小于 3.0 时,藏羊血清蛋白水解度随着酶解 pH 的升高不断增大;当酶解 pH 超过 3.0 后,其水解度逐渐下降。故选择较佳的酶解 pH 为 3.0。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 建立回归模型及方差分析。Box-Behnken 响应面试

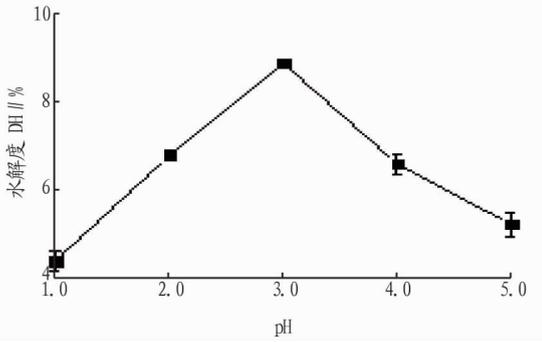


图4 酶解 pH 对藏羊血清蛋白水解度的影响

Fig. 4 Effect of enzymatic hydrolysis pH on degree of hydrolysis of Tibetan sheep serum protein

验设计方案及结果见表 2。采用 Design-Expert 进行数据分析,以水解度为响应值,经回归拟合得到胃蛋白酶水解藏羊血清蛋白关于 3 因素的回归方程为

$$Y = 19.81 + 0.18A + 0.41B + 1.97C - 2.73A^2 - 3.27B^2 - 1.12C^2 - 0.66AB - 0.85AC + 0.20BC$$

二次多项方差分析结果见表 3,由表 3 可知,回归模型 $F = 17.29, P < 0.01$,说明三元二次回归模型极显著;失拟项不显著 ($P > 0.05$);总回归模型 $R^2 = 0.9570$,调整后模型相关系数 $R_{adj}^2 = 0.9016$,说明该回归方程的拟合度较好,实际值与预测值有较好的拟合相关性,试验方法可靠,可以用来预测

试验结果。通过回归系数绝对值对各因素变化与水解度高低之间的分析,结果显示,影响胃蛋白酶水解效果的各因素由大到小为 $C > B > A$,即 3 个因素对水解度的影响表现为加酶量 $> pH > 温度$ 。

表 2 Box-Behnken 试验设计及其试验结果

Table 2 Box-Behnken experimental design and its experimental results

试验号 Test No.	温度 Temperature(A)	pH (B)	加酶量 Enzyme dosage(C)	水解度 DH %
1	-1	-1	0	13.022±0.042
2	1	-1	0	14.345±0.301
3	-1	1	0	14.576±0.079
4	1	1	0	13.266±0.118
5	-1	0	-1	12.251±0.331
6	1	0	-1	14.679±0.075
7	-1	0	1	18.934±0.097
8	1	0	1	17.945±0.124
9	0	-1	-1	13.456±0.045
10	0	1	-1	14.464±0.158
11	0	-1	1	15.964±0.356
12	0	1	1	17.754±0.062
13	0	0	0	20.424±0.295
14	0	0	0	19.563±0.013
15	0	0	0	19.632±0.035
16	0	0	0	18.673±0.421
17	0	0	0	20.744±0.017

表 3 因素方差分析结果

Table 3 Factor analysis of variance

系数源 Coefficient source	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	F 值 F value	$P_{rob} > F$	显著性 Significance
总模型	127.12	9	14.12	17.29	0.0005	**
A	0.26	1	0.26	0.32	0.5878	—
B	1.34	1	1.34	1.64	0.2412	—
C	31.00	1	31.00	37.95	0.0005	**
AB	1.73	1	1.73	2.12	0.1885	—
AC	2.92	1	2.92	3.57	0.1006	—
BC	0.15	1	0.15	0.19	0.6783	—
A ²	31.41	1	31.41	38.45	0.0004	**
B ²	45.13	1	45.13	55.25	0.0001	**
C ²	5.32	1	5.32	6.51	0.0380	*
剩余 Surplus	5.72	7	0.82			
失拟项 Spurious term	3.08	3	1.03	1.56	0.3304	
误差 Error	2.63	4	0.66			
总回归 Total regression	132.84	16				

注: ** 表示差异极显著, $P < 0.01$; * 表示差异显著, $P < 0.05$ 。 $R^2 = 0.9570$; 校正决定系数 $R_{adj}^2 = 0.9016$

Note: ** indicates extremely significant difference, $P < 0.01$; * indicates significant difference, $P < 0.05$ 。 $R^2 = 0.9570$; Correction determination coefficient $R_{adj}^2 = 0.9016$

2.2.2 响应面交互作用分析。为了更直观地反映两两因素交互作用对胃蛋白酶水解效果的影响,根据回归方程绘制出其响应面图和等高线图,结果见图 5。各因素交互作用对响应值影响程度的强弱与响应面坡度和等高线密集度有关。响应面曲面坡度越陡峭,表示二者交互作用越显著^[18-19],等高线圆形时交互作用较弱^[20]。由图 5 可以看出,加酶量与 pH 交互作用的响应曲面坡度最陡峭,且其等高线图椭圆率高, pH 和加酶量的交互作用对胃蛋白酶水解效果影响最显

著;温度和 pH 等高线图形状较圆,表示因素交互作用较弱,即温度和 pH 的交互作用对胃蛋白酶水解效果影响不显著。

2.2.3 验证试验。根据所建立的二次多项回归方程进行最优化分析,胃蛋白酶水解藏羊血清蛋白最佳条件为:温度(A)为 46℃, pH 为 2.25,加酶量(C)为 6200 U,水解时间 2 h,在该条件下,所建立模型预测的水解度最高可达 (23.60±0.27)%。经试验验证,在该条件下重复试验 3 次得到的水解度平均值为 (23.41±0.23)%,与模型的预测值接

近,表明模型拟合良好,方法具有可行性。

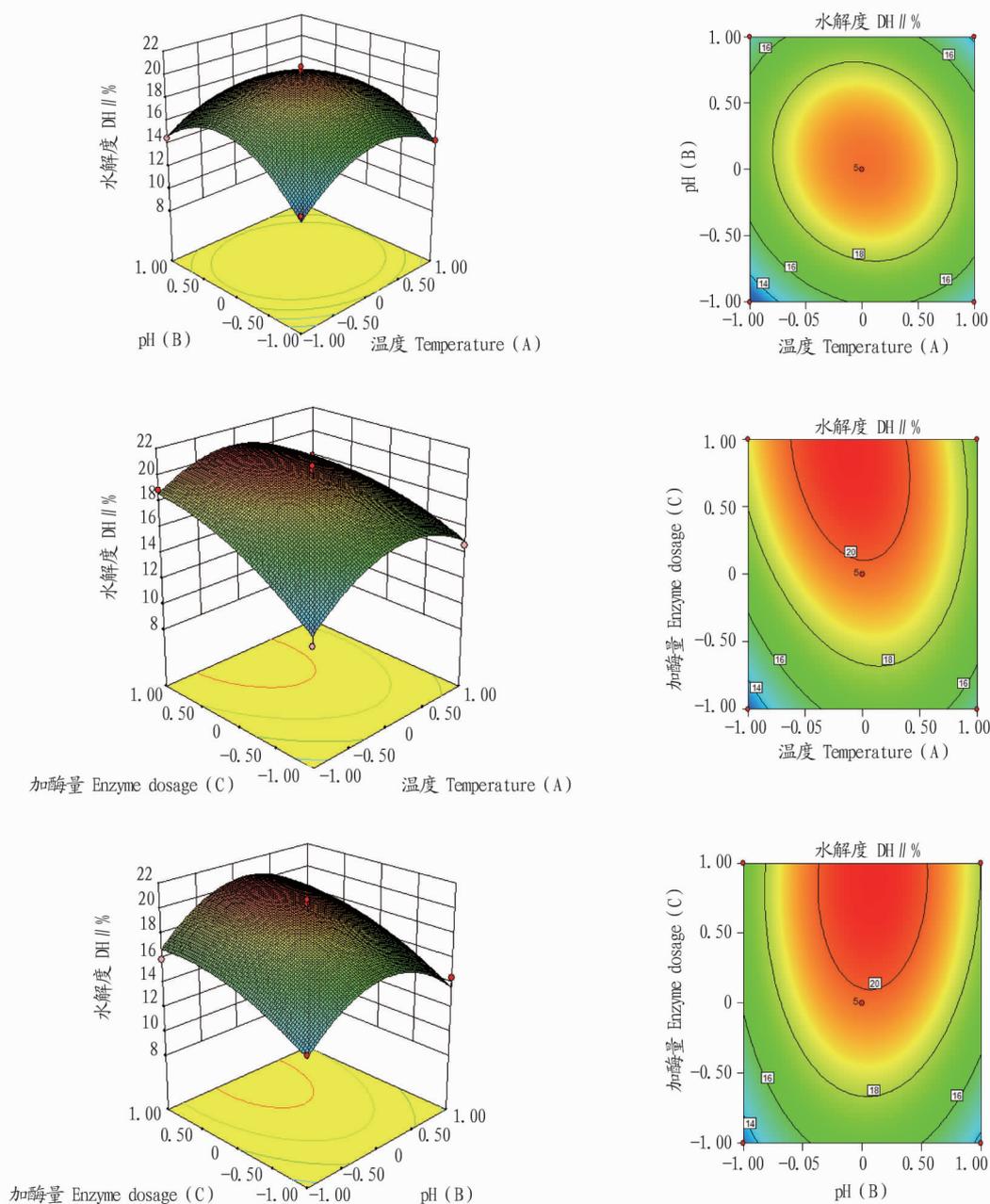


图5 各因素交互作用响应面及等高线

Fig. 5 Response surface and contour line of interaction of various factors

3 结论

在单因素试验的基础上,采用响应面法优化了胃蛋白酶水解藏羊血清蛋白的条件,最后建立了水解度与酶解温度、pH、加酶量3个因素的二次多项式回归模型,验证试验证明了该模型的可靠性。优化获得胃蛋白酶水解藏羊血清蛋白的最佳酶解条件:底物浓度为5%,温度为46℃,pH为2.25,加酶量为6200U,水解时间2h。在该工艺条件下,藏羊血清蛋白的水解度为(23.41±0.23)%。

水解藏羊血清蛋白是蛋白质研究领域中的热门方向,各种藏羊血清蛋白的酶解方法、检测手段也越来越受国内外学者的重视。该研究结果为藏羊血清的利用提供了又一种思

路,也为今后关于藏羊血清蛋白水解物的利用与开发提供了基础。

参考文献

- [1] 李芙琴,马黎明. 浅谈家畜血液资源的开发利用[J]. 养殖与饲料,2010(6):73-75.
- [2] 李晨光,庄红,吕学举,等. 动物血液血红素铁提取方法研究[J]. 食品工业科技,2008,29(1):308-310.
- [3] 周成伟,李芮洋,李景敏,等. 羊血的开发和利用[J]. 科技视界,2019(13):81-82.
- [4] 王芳,徐桂花,田建文. 羊肉部分下脚料的利用与开发[J]. 食品工业科技,2009,30(11):347-348,352.
- [5] 任建东,施用晖,乐国伟,等. 鹿茸血肽疏水性分离及抗氧化和ACE抑制作用的研究[J]. 天然产物研究与开发,2010,22(2):302-306.

(下转第208页)

参考文献

- [1] 王同朝,王燕,卫丽,等. 作物垄作栽培法研究进展[J]. 河南农业大学学报,2005,39(4):377-382.
- [2] 王旭清,王法宏,任德昌,等. 作物垄作栽培增产机理及技术研究进展[J]. 山东农业科学,2001,33(3):41-45.
- [3] 沈建辉. 加快构建我国完整的农业机械化学科体系:对农机与农艺结合问题的深层思考[J]. 中国农机化,2006,27(3):3-5.
- [4] 张富,高旺盛. 我国农作物育种高技术发展历程及策略探讨[J]. 中国农业科技导报,2010,12(3):67-72.
- [5] 吴明亮,官春云,沈宇峰,等. 南方稻田油菜全程生产机械化的思考[C]//作物多熟种植与国家粮油安全高峰论坛论文集. 北京:中国作物学会,2015:54-58.
- [6] 官春云,陈社员,吴明亮. 南方双季稻区冬油菜早熟品种选育和机械栽培研究进展[J]. 中国工程科学,2010,12(2):4-10.
- [7] 汤楚宙,官春云,吴明亮,等. 油菜机械化生产中农艺与农机相结合的探索与实践[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2011,37(6):674-677.
- [8] 郑华斌. 水稻垄作梯式栽培的水分利用及其增产机制[D]. 长沙:湖南农业大学,2014.
- [9] 王法宏,杨洪宾,徐成忠,等. 垄作栽培对小麦植株形态和产量性状的影响[J]. 作物学报,2007,33(6):1038-1040.
- [10] 徐成忠,孔晓民,王超,等. 垄作栽培对夏玉米根系和叶片生长发育及产量性状的影响研究[J]. 玉米科学,2008,16(1):101-103.
- [11] 张秀,苏金生,杨芳,等. 垄作与平作油菜产量及效益分析[J]. 现代化农业,2000(10):19.
- [12] 扈婷,郑华斌,陈杨,等. 垄作栽培条件下作物生理特性研究进展[J]. 作物研究,2012,26(6):702-706.
- [13] 张青松,汲文峰,廖宜涛,等. 油菜直播机铧式开畦沟前犁曲面分析与阻力特性试验[J]. 农业机械学报,2014,45(2):130-135.
- [14] 张青松,廖庆喜,汲文峰,等. 油菜直播机开沟犁型曲面优化与试验[J]. 农业机械学报,2015,46(1):53-59.
- [15] 刘晓鹏,肖文立,马磊,等. 油菜联合直播机组合式船型开沟器设计与开沟质量试验[J]. 农业机械学报,2017,48(11):79-87.
- [16] 刘晓鹏,张青松,刘立超,等. 基于微分几何与EDEM的船型开畦沟装置触土曲面优化[J]. 农业机械学报,2019,50(8):59-69.
- [17] 吴明亮,官春云,汤楚宙,等. 2BF-6型稻茬田油菜免耕联合播种机的研究[J]. 农业工程学报,2005,21(3):103-106.
- [18] 吴明亮,官春云,汤楚宙,等. 2BYF-6型油菜免耕直播联合播种机旋耕开沟部件结构优化设计[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2008,34(6):735-738.
- [19] 徐波,汤楚宙,官春云,等. 2BYF-6型油菜免耕直播联合播种机的改进及试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2008,34(1):109-111.
- [20] 罗海峰,官春云,汤楚宙,等. 旋耕开沟机横向抛土性能试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2006,32(4):441-444.
- [21] 李守仁,林金天. 驱动型土壤耕作机械的理论及计算[M]. 北京:机械工业出版社,1988.
- [22] 袁雄,滕召金,陶栋材. 基于MATLAB的搅拌机蜗杆传动的优化设计[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2007,33(1):101-104.
- [23] 任述光,吴明亮,官春云,等. 油菜免耕直播联合播种机抛土性能研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2013,39(5):543-548.
- [24] 吴明亮,官春云,罗海峰,等. 2BYD-6型油菜浅耕直播施肥联合播种机设计与试验[J]. 农业工程学报,2010,26(11):136-140.
- [25] 罗海峰,官春云,汤楚宙,等. 稻茬田油菜免耕播种机开沟部件的研究[J]. 农业工程学报,2007,23(11):153-157.
- [26] 王晓钰. 油菜垄作纵轴回转式开沟机的设计与试验[D]. 长沙:湖南农业大学,2016.
- [27] 谢伟,刘研. 1Q-180型开沟起垄机的试制[J]. 当代农机,2018(10):62-65.
- [28] 包攀峰,吴明亮,官春云,等. 犁旋组合式油菜播种开沟起垄装置设计[J]. 农业工程学报,2017,33(20):23-31.
- [29] 林健康. 新型旋耕起垄机的研制[J]. 农业机械,2008(32):69-71.
- [30] 梁政. 旋耕机改进为旋耕起垄机的设计及制造[J]. 现代农业装备,2008(5):47-49.
- [31] 连政国,王延耀,高成福,等. 2BHL-4型花生起垄播种机的研制[J]. 花生科技,2000,29(3):20-22.
- [32] 刘庆福,栾文辉,侯季理,等. 2BLZ-2型垄上镇压精密播种机的研制与试验[J]. 吉林农业大学学报,2000,22(4):105-107.
- [33] 赵满全,赵士杰,窦卫国,等. 2BM-9型免耕播种机关键部件的设计与研究[J]. 中国农机化,2003,24(6):33-35.
- [34] 姚宗路,王晓燕,李洪文,等. 2BMD-12型小麦对行免耕施肥播种机改进与试验研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(5):46-51.
- [35] 陈礼德,鄂卓茂,王继成,等. 2BSL-1型垄作施水播种机的开发研究[J]. 中国农业大学学报,2000,5(6):43-46.
- [36] 莫灿坤,林齐宽,熊元芳,等. 1GQS-120型旋耕起垄机的设计与试验分析[J]. 现代农业装备,2006(6):50-52.
- [37] 王文智,谭静. 1GZ-60V型山地旋耕起垄机研制与试验[J]. 中国农机化学报,2013,34(2):67-69.
- [38] 姬江涛,贾世通,杜新武,等. 1GZN-130V1型旋耕起垄机的设计与研究[J]. 中国农机化学报,2016,37(1):1-4,21.
- [39] 陈长林,闵启超,梁苏宁,等. 1KS-1200型起垄开沟机的设计与试验[J]. 中国农机化学报,2014,35(3):4-7.
- [40] 何进,李洪文,张学敏,等. 1QL-70型固定垄起垄机设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(7):55-60.
- [41] 杨林,杨斌,康金波. SGTN-160型灭茬旋耕起垄机的研发简介[J]. 农业机械,2009(11):86-87.
- [13] 郭兴凤. 蛋白质水解度的测定[J]. 中国油脂,2000,25(6):176-177.
- [14] 邓乾春,陈春艳,潘雪梅,等. 白果活性蛋白的酶法水解及抗氧化活性研究[J]. 农业工程学报,2005,21(11):155-159.
- [15] 王梅,谷文英. 酶解玉米黄粉蛋白制备可溶性肽[J]. 粮油食品科技,1999,17(1):1-3.
- [16] 王硕,木泰华,李鹏高. 胃蛋白酶水解甘薯蛋白制备血管紧张素转化酶抑制肽的研究[J]. 食品科技,2011,36(8):2-7.
- [17] 曹斌,朱丽丽. 风味蛋白酶水解藏羊血清蛋白工艺的研究[C]//中国畜牧兽医学家协会禽生态学分会学术研讨会论文集. 北京:中国畜牧兽医学学会,2015:237-241.
- [18] GHAEDI A M, GHAEDI M, VAFAEI A, et al. Adsorption of copper(II) using modified activated carbon prepared from Pomegranate wood: Optimization by bee algorithm and response surface methodology[J]. Journal of molecular liquids, 2015, 206: 195-206.
- [19] 黄典,高雅,刘蕾,等. 蛋白酶水解美味牛肝菌工艺优化及酶解产物的抗氧化活性[J]. 食品工业科技,2021,42(12):209-217.
- [20] 周丹丹,周春晖,黄惠华. 猴头菇多糖的超声辅助罐组式动态逆流提取及纯化研究[J]. 食品工业科技,2017,38(5):279-284.

(上接第177页)

- [6] 励建荣,封平. 功能肽的研究进展[J]. 食品科学,2004,25(11):415-419.
- [7] 程云辉,王璋,许时婴. 麦胚蛋白的研究进展[J]. 食品与机械,2006,22(2):105-108.
- [8] NAKAMURA Y, MASUDA O, TAKANO T. Decrease of tissue angiotensin I-converting enzyme activity upon feeding sour milk in spontaneously hypertensive rats [J]. Bioscience, biotechnology, and biochemistry, 1996, 60(3):488-489.
- [9] 陈胜军,李来好,曾名勇,等. 罗非鱼鱼皮胶原蛋白降血压酶解液的制作与活性研究[J]. 食品科学,2005,26(8):229-233.
- [10] 徐怀德,刘伟,姜莉. 草鱼生物饮料加工技术研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(10):59-62.
- [11] 余勃,陆兆新. 微生物发酵法产大豆多肽液水解度的测定[J]. 食品科学,2005,26(4):104-107.
- [12] 徐英操,刘春红. 蛋白质水解度测定方法综述[J]. 食品研究与开发,2007,28(7):173-176.