

谷氨酰胺转氨酶及辅料对珍珠蚌肉
糜凝胶性质的影响

Effects of transglutaminase and additive agents on
gel properties of pearl mussel surimi

王伯华^{1,2,3} 龙娇丽^{1,2,3} 雷 颂^{1,2,3}

WANG Bo-hua^{1,2,3} LONG Jiao-li^{1,2,3} LEI Song^{1,2,3}
涂庆会^{1,2,3} 段兰鑫^{1,2,3} 杨品红^{1,2,3}

TU Qing-hui^{1,2,3} DUAN Lan-xin^{1,2,3} YANG Pin-hong^{1,2,3}

(1. 湖南文理学院生命科学学院, 湖南 常德 415000; 2. 水产高效健康生产湖南省协同创新中心,
湖南 常德 415000; 3. 环洞庭湖水产健康养殖及加工湖南省重点实验室, 湖南 常德 415000)

(1. College of life science, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China; 2. Collaborative Innovation
Center for Efficient and Health Production of Fisheries in Hunan Province, Changde, Hunan 415000, China; 3. Key Laboratory
of Health Aquaculture and Product Processing in Dongting Lake Area of Hunan Province, Changde, Hunan 415000, China)

摘要:以采珠后的蚌肉为试验对象,研究谷氨酰胺转氨酶(TG 酶)及辅料对蚌肉肉糜凝胶硬度、内聚性和弹性质构特性的影响。结果表明: TG 酶改善蚌肉糜凝胶性的最佳作用条件为: 酶的添加量 2%, pH 7, 45 °C 反应 1.0 h。蚌肉肉糜凝胶性得到了良好的改善, 该条件下的硬度为 5 910.647 g, 内聚性为 0.820, 弹性为 0.914。辅料的添加也能改善蚌肉糜凝胶性质, 马铃薯淀粉、蛋清蛋白和大豆分离蛋白的最佳添加量分别为 6%, 6% 和 9%。为蚌肉糜制品的质构性质优化提供了理论依据。

关键词:蚌肉糜; 谷氨酰胺转氨酶; 辅料; 质构特性

Abstract: The influence of TGase and additives on gel hardness, cohesiveness and springiness of mussel surimi after picking pearls was studied. The results showed that the optimal TGase amount was 2%, pH was 7, at 45 °C for 1.0 h. The TGase can significantly enhance the texture properties of mussel surimi. The gel Hardness could reach 5 910.647 g, cohesiveness was 0.820 and springiness was 0.914. Additive agents could enhance gel properties as well, the optimal amount of potato starch, egg white and gluten were 6%, 6% and 9% respectively.

基金项目: 湖南文理学院博士科研启动项目(编号: 14BSQD04); 湖南文理学院生命科学学院省级平台开放课题项目(编号: SKYPT201610); 湖南文理学院大学生研究性学习和创新性实验计划项目

作者简介: 王伯华, 女, 湖南文理学院讲师, 博士。

通讯作者: 杨品红(1964—), 男, 湖南文理学院教授, 博士。

E-mail: yph588@163.com

收稿日期: 2016—07—14

and 9% respectively. It provides a theoretical foundation for the optimization of texture properties of mussel surimi.

Keywords: Mussel surimi; TGase; additives; texture properties

中国淡水珍珠产量很大, 但采珠后的珍珠蚌肉未得到有效开发利用, 常处理成饲料或废弃掉, 造成了资源浪费。蚌肉富含人体生长发育所需各种营养元素, 据本草纲目记载^[1], 蚌肉还有明目滋阴等功效。然而蚌肉韧性较强, 鲜食口感差, 凝胶性能也较海水鱼差, 制约了其加工与推广^[2]。

凝胶特性决定着肉糜制品的口感与质量, 谷氨酰胺转氨酶能够促进肌球蛋白分子内与分子间形成大量的共价交联, 进而提高产品的各项质构指标^[3-5], 肉糜制品还常通过添加大豆分离蛋白、蛋清蛋白、淀粉等辅料来提高产品的凝胶性能^[6]。目前还未见谷氨酰胺转氨酶与辅料对珍珠蚌肉糜凝胶特性改善的研究报道, 因此, 以采珠后的蚌肉糜为原料, 研究 TG 酶及辅料对蚌肉糜凝胶性能的影响, 以期对淡水珍珠生产的副产物加工利用提供新途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

珍珠蚌: 采自常德淡水珍珠养殖基地;

谷氨酰胺转氨酶: 酶活力 120 U/g, 江苏省泰兴市东圣食品科技有限公司;

柠檬酸、柠檬酸钠、磷酸氢二钠: 分析纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

质构仪:TA-XT Plus 型,英国 Stable Micro System 公司;
电子天平:PL203 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;
压力蒸汽灭菌器:LY-B0.018 型,武汉市鸿雁医疗器械制造有限公司;
恒温水浴锅:HH-S4 型,北京科伟永兴仪器有限公司;
万能粉碎机:FW100 型,天津市泰斯特仪器有限公司。

1.3 蚌肉肉糜凝胶的制备

参照文献[7],修改如下:将蚌肉用冰水清洗干净,随后将蚌肉放入组织捣碎匀浆机中空斩 90 s,添加 2%食盐(按肉样的质量计量)以及 TG 酶或辅料斩拌 60 s,斩拌完成后将其转入容器中水浴保温使得 TG 酶充分反应,然后采用两段式加热方式:第一阶段 70 ℃ 水浴 30 min,第二阶段 90 ℃ 水浴 15 min。冷却后置于 4 ℃ 冰箱冷藏 12 h,备用。

1.4 谷氨酰胺转氨酶对凝胶特性的影响

1.4.1 谷氨酰胺转氨酶添加量的确定 自然 pH 下,TG 酶添加量分别为:0.0%,0.5%,1.0%,1.5%,2.0%,40 ℃ 保温 1 h,将制得的凝胶样品在 TPA 模式下进行质构测定,每个处理平行测定 3 次。
1.4.2 谷氨酰胺转氨酶作用温度的确定 自然 pH 下,添加 1.5% 的 TG 酶,分别置于 35,40,45,50,55 ℃,水浴保温 1 h,测定凝胶样品的质构指标。
1.4.3 谷氨酰胺转氨酶作用时间的确定 自然 pH 下,添加 1.5% TG 酶,45 ℃ 分别保温 0.0,0.5,1.0,1.5,2.0 h,测定凝胶样品的质构指标。
1.4.4 谷氨酰胺转氨酶作用 pH 的确定 将蚌肉糜置于 pH 分别为 4.0,5.0,6.0,7.0,8.0 的 4 ℃ 缓冲液中浸泡 1 h 后,添加 1.5% 的 TG 酶,45 ℃ 保温 1.5 h,测定所制备样品的质构指标。
1.4.5 TG 酶对凝胶性质影响正交试验 根据单因素试验结果设计正交试验,考察 TG 酶对凝胶特性改善的最优效果。

1.5 辅料对蚌肉糜凝胶特性的影响

1.5.1 马铃薯淀粉对凝胶特性的影响 单独添加马铃薯淀粉作为辅料,添加量分别为 2%,6%,10%,12%,15%(以蚌肉糜为基准),制备成凝胶样品后进行质构测定。
1.5.2 蛋清蛋白对凝胶特性的影响 单独添加蛋清蛋白作为辅料,添加量分别为 4%,6%,8%,10%(以蚌肉糜为基准),制备成凝胶样品后进行质构测定。
1.5.3 大豆分离蛋白对凝胶特性的影响 单独添加大豆分离蛋白作为辅料,添加量分别为 5%,7%,9%,11%,13%,15%(以蚌肉糜为基准),制备成凝胶样品后进行质构测定。

1.6 质构特性的测定与评价

将制备好的蚌肉糜凝胶恢复至室温,修整成圆柱体(Φ30 mm×25 mm),置于物性测试仪的载物平台上,采用圆柱形 P/30 探头(Φ35 mm),在 TPA 模式下,测定条件设为:

5 kg力感应源,测试速度 1 mm/s,压缩距离 14 mm,感量 5 g。以硬度、内聚性和弹性为表征指标,测试 3 次取平均值。

1.7 数据分析

采用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 软件进行数据分析。采用 *t*-检验进行组间显著性分析, $P<0.05$ 为显著, $P>0.05$ 为不显著。

2 结果与分析

2.1 谷氨酰胺转氨酶添加量的影响

TG 酶添加量对蚌肉糜凝胶的硬度和弹性有显著性影响。由图 1 可知,随着 TG 酶添加量的增加,硬度和内聚性呈先上升后下降的趋势,弹性则不断增大,添加 1.5% TG 酶时硬度和内聚性均达到最大。这说明随着酶添加量的增加,蛋白质间的交联作用不断加强,内部空间网络结构越发致密,凝胶强度不断加大^[8-10]。添加 TG 酶也可以减少肉的脱水收缩现象^[11]。当酶添加量过高时,凝胶强度反而减小,导致硬度、内聚性的降低^[2]。

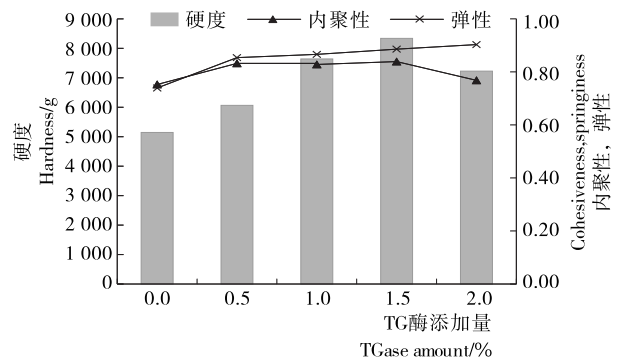


图 1 TG 酶添加量对蚌肉糜凝胶特性的影响
Figure 1 Effect of TGase on the gel properties of mussel surimi

2.2 谷氨酰胺转氨酶作用温度的影响

由图 2 可知,随着 TG 酶作用温度的提高,硬度、内聚性和弹性均大体呈现先上升后下降的趋势。40 ℃ 处理时硬度达到最大值,温度继续上升硬度反而下降;45 ℃ 处理时,内聚性和弹性达到最大,温度继续上升至 50 ℃ 后,硬度和内聚

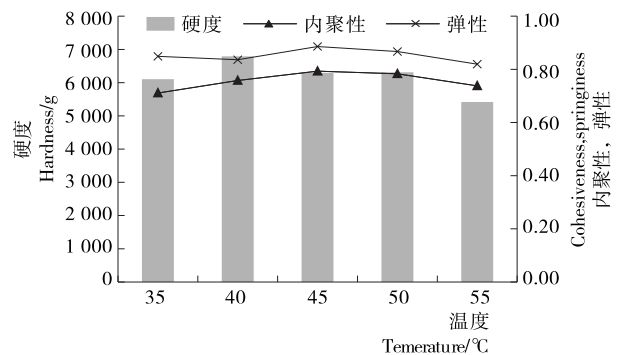


图 2 TG 酶作用温度对蚌肉糜凝胶特性的影响
Figure 2 Effect of TGase reaction temperature on the gel properties of mussel surimi

性两项质构指标呈现下降趋势。可能是温度过高时,蛋白质裂解较快,来不及排列紧密就形成了结构粗糙的凝胶组织,造成了凝胶强度的下降^[2,12]。综合分析得出 TG 酶的最佳作用温度为 45 ℃。

2.3 谷氨酰胺转氨酶作用时间的影响

由图 3 可知,随着 TG 酶作用时间的增加,硬度、内聚性和弹性均大体呈现先上升后下降的趋势。与对照组相比,适量延长酶作用时间可以有效改善样品的凝胶性质。酶作用时间为 0.5~1.5 h 时,对硬度指标影响很小;酶作用时间为 1.5 h 时,内聚性和弹性比酶作用前显著增加($P<0.05$),达到最大值。继续延长酶作用时间,质构指标呈现下降趋势。可能是加热时间过长,蛋白分子的过度交联破坏了凝胶体系结构^[13-15]。因此,TG 酶最适作用时间为 1.5 h。

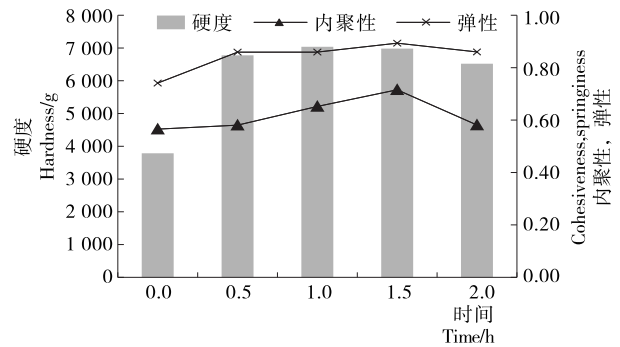


图 3 TG 酶作用时间对蚌肉糜凝胶特性的影响
Figure 3 Effect of TGase reaction time on the gel properties of mussel surimi

2.4 谷氨酰胺转氨酶作用 pH 的影响

由图 4 可知,随着 TG 酶作用 pH 的增加,硬度呈先上升后下降的趋势,内聚性和弹性则不断增大。随着 pH 的上升,硬度呈先上升后下降的趋势,在 pH 6 时相对 pH 4~5 和 pH 7~8 均显著增加($P<0.05$),并达到最大值;内聚性和弹性则随着 pH 的上升不断增加。pH 对凝胶质构的影响是多方面的,pH 能够影响酶的反应活性,进而影响蛋白分子的交联情况^[16];pH 偏离肌球蛋白等电点时能够促进盐溶性蛋白的溶出^[17],增强凝胶性质^[18]。

试验中还观察到,pH 4~5 时,蚌肉糜呈现较深的豆浆

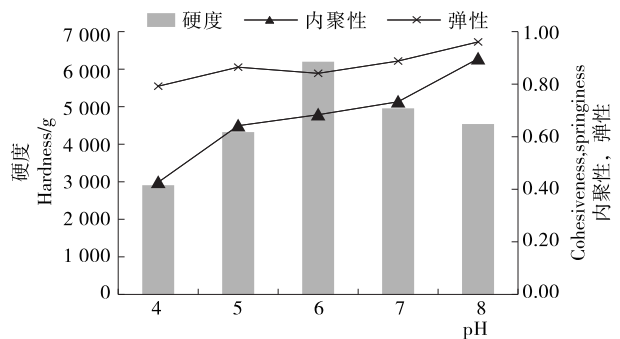


图 4 TG 酶作用 pH 对蚌肉糜凝胶特性的影响
Figure 4 Effect of TGase reaction pH on the gel properties of mussel surimi

黄色;pH 6~7 时,蚌肉糜呈现略带淡青色的乳白色;pH 8 时,蚌肉糜呈现灰青色。结合感官品质和凝胶质构指标综合考虑,取 TG 酶的最佳作用 pH 为 6。

2.5 谷氨酰胺转氨酶对凝胶性质影响正交试验结果

根据单因素试验结果,设计的正交试验因素水平见表 1。

表 1 正交试验因素和水平表				
Table 1 Factors and levels of orthogonal test				
水平	A 酶添 量/%	B 作用温 度/℃	C 作用时 间/h	D pH
1	1.00	40	1.0	5
2	1.50	45	1.5	6
3	2.00	50	2.0	7

由表 2 可知:TG 酶对硬度的最佳作用因素水平为 $A_1B_2C_3D_1$;TG 酶对内聚性的最佳作用因素水平为 $A_3B_2C_1D_3$;TG 酶对弹性的最佳作用因素水平为 $A_3B_1C_2D_3$ 。

通过分析极差数据可知, A_3 条件下内聚性和弹性均达到最佳,而硬度略低,有数据^[19]显示硬度适中时口感较好,因此选定 A_3 为最佳酶添加量。 B_2 条件下硬度和内聚性均达到最佳,弹性略低,因而确定 B_2 为最适 pH。在硬度极差分析表中 C_3 与 C_1 的差别为 144.443,小于三水平的极差值。理论上硬度越大,凝胶性质越好,但是综合考虑到感官评价,硬度过大会影响口感^[19-20]。所以,这里硬度的作用时间取 C_1 。在弹性极差分析表中可以看到, C_2 与 C_1 的差值为 0.006,远小于三水平的极差值。综合 C_1 条件下内聚性最佳考虑, C_1 为最佳酶反应时间。 D_3 条件下内聚性和弹性均达到最佳,而硬度略低,由此,选择 D_3 为最佳酶作用时间。

综合分析得出,TG 酶的最佳作用条件为 $A_3B_2C_1D_3$,即:TG 酶的添加量为 2%,最适 pH 为 7,45 ℃保温 1 h。正好出现在正交设计的试验点,此条件下蚌肉的硬度适中,内聚性和弹性均达到最佳水平。

2.6 马铃薯淀粉对蚌肉凝胶特性的影响

由图 5 可知,随着马铃薯淀粉添加量的增加,硬度呈先上升后下降的趋势,内聚性和弹性则呈先上升后下降再上升的趋势。12% 添加量时硬度比对照组显著增加($P<0.05$),达到最大值,继续增大添加量硬度开始下降,弹性和内聚性均在 6% 添加量时比对照组显著增加($P<0.05$)并达到最大。马铃薯淀粉加热吸水后能够形成淀粉凝胶颗粒,并填充于蚌肉糜凝胶的三维网状结构中,使凝胶结构更致密,其质构性质得到改善。但是淀粉在储藏过程中易发生老化,造成凝胶脆化,甚至水分分离结构龟裂^[21]。因此,淀粉添加量过高凝胶性质反而变差。此外,过多添加淀粉也会严重影响产品的风味。综合考虑,6% 的马铃薯淀粉添加量适中,质构指标都较高。

2.7 蛋清蛋白对蚌肉凝胶特性的影响

由图 6 可知,随着蛋清蛋白添加量的增加,硬度呈先上升后下降的趋势,内聚性和弹性则呈不断增大。当蛋清蛋白添加量为 6% 时,蚌肉糜的硬度比对照组显著增加($P<0.05$)

表 2 正交试验结果
Table 2 Results of orthogonal test

序号	A	B	C	D	硬度/g	内聚性	弹性
1	1	1	1	1	6 405.852	0.703	0.904
2	1	2	2	2	5 966.192	0.683	0.879
3	1	3	3	3	6 418.746	0.746	0.891
4	2	1	2	3	5 474.393	0.737	0.928
5	2	2	3	1	7 180.060	0.674	0.834
6	2	3	1	2	5 895.858	0.712	0.866
7	3	1	3	2	5 046.882	0.735	0.891
8	3	2	1	3	5 910.647	0.820	0.914
9	3	3	2	1	6 402.570	0.645	0.897
硬 度	k_1	6 263.597	5 642.376	6 070.786	6 662.828		
	k_2	6 183.437	6 352.300	5 947.718	5 636.311		
	k_3	5 786.700	6 239.058	6 215.229	5 934.595		
	R	476.897	709.924	267.511	1 026.517		
内 聚 性	k_1	0.711	0.725	0.745	0.674		
	k_2	0.708	0.726	0.688	0.710		
	k_3	0.734	0.701	0.719	0.768		
	R	0.026	0.025	0.057	0.094		
弹 性	k_1	0.892	0.908	0.895	0.878		
	k_2	0.876	0.875	0.901	0.879		
	k_3	0.900	0.885	0.872	0.911		
	R	0.024	0.033	0.029	0.033		

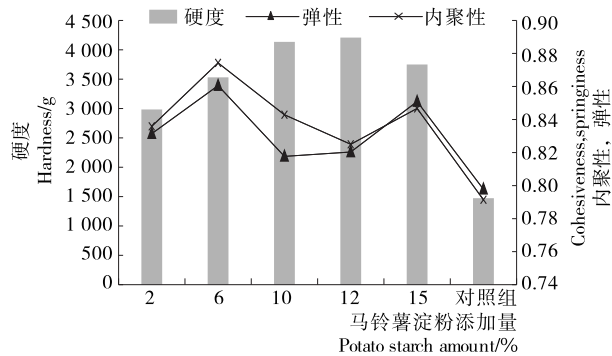


图 5 马铃薯淀粉添加量对蚌肉质构特性的影响
Figure 5 Effect of potato starch on the gel properties of mussel surimi

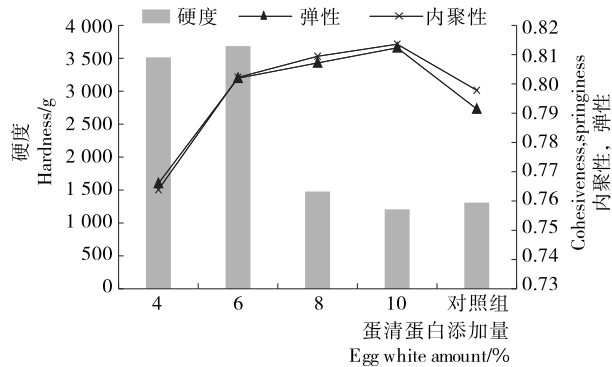


图 6 蛋清蛋白添加量对蚌肉质构特性的影响
Figure 6 Effect of egg white on the gel properties of mussel surimi

并达到最大,继续添加蛋清蛋白,硬度反而下降,可能是添加量过大破坏了凝胶体系。随着蛋清蛋白添加量的增加,蚌肉糜凝胶弹性和内聚性随之增加,添加 10% 的蛋清蛋白,弹性和内聚性比 4% 添加量时显著增加($P<0.05$),添加量大于 6% 后,增加趋势变缓。蛋清蛋白作为粘合剂,可以和蛋白质基质相互作用,蛋清蛋白和肌原纤维蛋白的相互作用能加强凝胶网络结构,此外,蛋清蛋白中的活性成分也可以使其凝胶强度得到提高^[22]。结合质构指标综合考虑,蛋清蛋白最适添加量为 6%。

2.8 大豆分离蛋白对蚌肉凝胶特性的影响

由图 7 可知,随着大豆分离蛋白添加量的增加,硬度呈先上升后下降的趋势,内聚性和弹性则呈不断增大。在添加

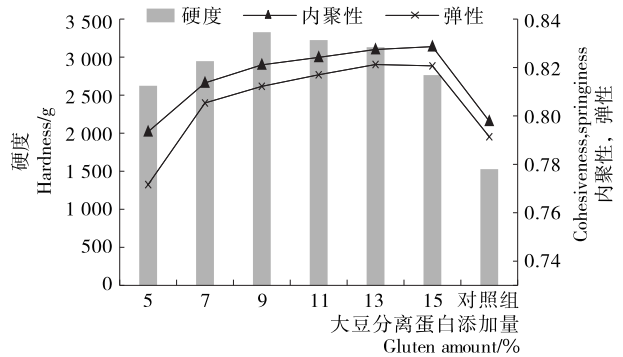


图 7 大豆分离蛋白添加量对蚌肉质构特性的影响
Figure 7 Effect of gluten on the gel properties of mussel surimi

量为 9%时,弹性和内聚性均比对照组显著增加($P<0.05$),硬度值比对照组显著增加($P<0.05$)并达到最大值。由于大豆分离蛋白有助于蚌肉糜蛋白分子间的交联,且受热凝固后能够分散脂肪^[23],添加量的增加会不断提高蚌肉糜的弹性。考虑到过多添加大豆分离蛋白对产品风味影响较大,综合各项质构指标,9%的添加量较合适。

3 结论

TG 酶和马铃薯淀粉、蛋清蛋白和大豆分离蛋白三种辅料都能显著改善蚌肉糜的凝胶性能。通过正交试验得出 TG 酶的最佳作用条件为:2%酶添加量,pH 为 7,于 45℃作用 1 h。此条件下内聚性和弹性均达到最大值,硬度得到了改善又不至于过大而影响口感。马铃薯淀粉、蛋清蛋白和大豆分离蛋白添加量过高均会影响蚌肉糜产品风味,其中,马铃薯淀粉添加过多还会因淀粉老化而破坏凝胶结构。为珍珠蚌肉的精深加工利用提供了新思路,但加工方式等对蚌肉糜凝胶性质的影响还需进一步研究。

参考文献

[1] (明)李时珍. 本草纲目[M]. 南昌:二十一世纪出版社, 2014: 295.

[2] 王伯华,雷颂,刘玉娇,等. 蚌肉盐溶蛋白提取工艺优化及其功能特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11): 215-221.

[3] 扶杖权,周红霞,曾华. 谷氨酰胺转氨酶对乳化型香肠质构特性的影响[J]. 肉类工业, 2010(8): 28-31.

[4] 李宝臻,李海宾,刘尔卓,等. 谷氨酰胺转氨酶及其对肉制品凝胶特性的影响[J]. 农产品加工: 学刊, 2014(2): 60-63.

[5] 程琳丽,李来好,马海霞. 谷氨酰胺转氨酶对鱼肉保水性的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 128-131.

[6] 马静蓉,杨贤庆,马海霞,等. 谷氨酰胺转氨酶及辅料对南海鳊鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 29-33.

[7] 杨青. 谷氨酰胺转氨酶在鲢鱼糜中的应用及机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011: 8-21.

[8] GUARDIA M D, GUERRERO L, GELABERT G, et al. Sensory characterization and consumer acceptability of small calibre fermented sausages with 50% substitution of NaCl by mixtures

of KCl and potassium lactate[J]. Meat Science, 2008, 80: 1 225-1 230.

[9] Spaziani M, Torre M D. Changes of physicochemical, microbiological, and textur-al properties during ripening of Italian low-acid sausages: Proteolysis, sensory and volatile profiles[J]. Meat Science, 2009, 81: 77-85.

[10] 李先保,刘伟. TG 酶对鸡肉肉糜凝胶特性的影响[J]. 安徽科技学院学报, 2010, 24(3): 9-12.

[11] 郭颖,孟珩,常忠义,等. 谷氨酰胺转氨酶和磷酸盐对鲢鱼鱼糜凝胶性能的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(19): 178-181.

[12] 孙高军,马飞,聂兴龙,等. 结冷胶和谷氨酰胺转氨酶对牛肉凝胶持水性与人度的影响[J]. 肉类研究, 2011, 25(8): 6-11.

[13] 陈海华,薛长湖. 谷氨酰胺转氨酶对竹荚鱼鱼糜蛋白凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 35-40.

[14] KOBAYASHI K, YAMANAKA S, TANTA Y, et al. Microbial process for producing trans-glutaminase: US, 6821763[P]. 2004-11-23.

[15] 龙潭,夏延斌,于丽,等. 转谷氨酰胺酶对牛肉丸质构特性的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 29-33.

[16] SOFOS N J. Use of phosphates in low-sodium meat products[J]. Meat Science, 1989(26): 177-191.

[17] SUREL O, FAMELART M H. Heat induced gelation of acid milk: balance between weak and covalent bonds[J]. Journal of Dairy Research, 2003, 70(2): 253-256.

[18] 吴立根,王岸娜,翟耀坤. 谷氨酰胺转氨酶对鸡肉猪肉混合肉糜失水率影响的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2007, 28(1): 57-59.

[19] 刘兴余,金邦葵,詹巍,等. 猪肉质构的仪器测定与感官评定之间的相关分析[J]. 食品科学, 2007, 28(4): 245-248.

[20] 郝红涛. 火腿肠质构标准的建立[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010: 10-21.

[21] 余永名,马兴胜,仪淑敏,等. 豆类淀粉对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 现代食品科技, 2016(1): 129-135.

[22] 杨贤庆,丁利,马海霞,等. 几种添加物对草鱼鱼糜制品凝胶品质改良的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(3): 67-72.

[23] 孔文俊,刘鑫,薛勇,等. 不同蛋白添加剂对秘鲁鲑鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 119-122.

信息窗

科学家揭示水稻杂种优势遗传机制

中科院上海生科院植物生理生态研究所国家基因研究中心韩斌院士研究组、黄学辉研究组联合中国水稻研究所杨仕华研究组,在水稻杂种优势研究中获重要突破,相关成果近日在线发表于《自然》。专家表示,论文对高产杂交稻杂种优势的遗传基础有新发现,将有助于优化设计育种的战略以应对全球粮食安全的需求。

杂种优势的产生是双亲基因组互作的结果,然而这一现象背后的遗传机理并不清楚。长期以来,植物杂种优势遗传机制的研究又被称为植物遗传学研究的“圣杯”。

“杂交水稻技术推广和利用为我国的粮食安全作出了巨大贡献。”韩斌表示,只有从分子层面深入了解杂种优势的遗传基础,才能实现杂种优势的高效利用,推动育种技

术的变革。

研究人员通过对 1 495 份杂交稻品种材料的收集以及对 17 套代表性遗传群体进行基因组分析和田间产量性状考察,全面、系统地鉴定出了控制水稻杂种优势的主要基因位点,而水稻中杂种优势的表现正是由这些基因位点所决定。

这项研究成果阐明了水稻杂种优势的遗传机制,对推动杂交稻和常规稻的精准分子设计育种实践有重大意义。韩斌表示,利用这项研究成果,科研人员有望进一步优化水稻品种的杂交改良,实现对亲本材料的高效选育和配组,选育出更加高产、优质和多抗的水稻种质资源。

(来源:www.foodmate.net)