

鸭蛋清溶菌酶的分离纯化及致敏性评估

陈艳^{1,2}, 武涌^{*1,4}, 陈红兵^{1,3}, 佟平³, 高金燕²

(1. 南昌大学 中德联合研究院, 江西 南昌, 330047; 2. 南昌大学 食品学院, 江西 南昌 330031; 3. 食品科学与技术国家重点实验室, 南昌大学, 江西 南昌 330047; 4. 南昌大学 微纳米科学与技术省重点实验室, 江西 南昌 330047)

摘要: 鸭蛋中含有丰富的蛋白质和营养成分, 鸭蛋清中含有溶菌酶, 溶菌酶具有致敏性, 食用鸭蛋后有可能产生过敏的风险。采用超滤法与离子交换层析法结合的方法分离纯化鸭蛋清溶菌酶, 利用聚丙烯酰胺凝胶电泳法比对, 能得到纯度较高的溶菌酶。采用免疫印迹的方法, 分析抗溶菌酶的兔多抗血清和禽蛋过敏患者混合血清池分别与鸭蛋清溶菌酶 IgE 的结合能力, 进行鸭蛋溶菌酶的致敏性评估, 实验证明 IgE 结合能力非常显著, 溶菌酶存在交叉反应。同时证实了食用鸭蛋会引起过敏反应, 也为过敏患者能否食用鸭蛋提供了有效的信息。

关键词: 溶菌酶; 鸭蛋; 分离纯化; 致敏性; 过敏; 交叉反应

中图分类号: Q 556 文章编号: 1673-1689(2023)04-0069-06 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2023.04.008

Purification and Allergenicity of Lysozyme from Duck Egg White

CHEN Yan^{1,2}, WU Yong^{*1,4}, CHEN Hongbing^{1,3}, TONG Ping³, GAO Jinyan²

(1. Sino-German Joint Research Institute, Nanchang University, Nanchang 330047, China; 2. College of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 3. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China; 4. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Interdisciplinary Science, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: Duck egg contains rich protein and nutritional components. Duck egg white contains lysozyme. Lysozyme is the main allergenic protein in duck egg. People may have risk allergic to duck egg. The lysozyme from duck egg white was isolated and purified by ultrafiltration and ion exchange. The lysozyme with higher purity was achieved by the comparison of polyacrylamide gel electrophoresis. For the antigenicity evaluation of lysozyme from duck egg white, western blotting was used to analyze the binding ability of the specific anti-lysozyme rabbit serum and mixed serum pool of three egg allergic patients with duck egg white lysozyme IgE. The results showed that the IgE binding ability was quite significant, and there was cross-reaction between hen egg lysozyme and duck egg lysozyme. At the meanwhile, the results confirmed that eating duck eggs could cause allergenicity, and it also provided useful information for allergic patients whether they could eat duck eggs or not.

Keywords: lysozyme, duck egg, isolation and purification, antigenicity, egg hypersensitivity, cross-reaction

收稿日期: 2021-03-17

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划重点专项(2018YED0400304); 南昌大学交叉创新基金项目(9166-27060003-YB15)。

* 通信作者: 武涌(1985—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事食品生物技术研究。E-mail: ericyo918@hotmail.com

在天然食物中,禽蛋的蛋白质和蛋白质中的氨基酸是人体所需要的优质营养来源^[1-2]。通过食用鸭蛋可以摄入不饱和脂肪酸和卵磷脂,它们是衡量食物营养价值的指标之一^[3]。卵磷脂对胆固醇在身体中的代谢发挥关键作用^[4],而且还可以消除反式脂肪酸在人体中的危害^[5]。Omega-3(ω -3)和 Omega-6(ω -6)系列的多不饱和脂肪酸是人体自身无法产生的,必须从食物中吸取。食用鸭蛋还可以缓解各种慢性炎症和提高自身的免疫系统^[6]。

鸡蛋含有丰富的蛋白质^[7],是人体摄入蛋白质的重要来源^[8]。蛋清中的卵白蛋白、卵转铁蛋白、卵类黏蛋白和溶菌酶等是鸡蛋中的主要致敏蛋白质^[9]。

溶菌酶(lysozyme, Lys)又称为胞壁质酶,是一种由 129 个氨基酸组成的单链多肽,分子内部具有 4 对二硫键交联,结构非常稳定,并且耐酸耐碱^[10]。溶菌酶具有强大的抗菌功能。溶菌酶的分离纯化方法包括沉淀法、离子交换法、超滤法、膜色谱法、反相高效液相色谱法等^[11-12]。

据统计,全球受食物过敏困扰的患者人数占比多达 5%^[14]。许多鸡蛋过敏是由鸡蛋蛋白激发的免疫不良反应,包括 IgE 介导的过敏反应和非 IgE 介导的反应以及由 IgE 与细胞共同介导的一种机体免疫错乱性反应,从而引起过敏性鼻炎、呕吐、皮肤湿疹等临床症状^[15]。鸡蛋过敏属于 IgE 介导的食物过敏,被称为 I 型食物过敏^[16]。当人体细胞内有一定数量致敏原直接侵入人体时^[17],与肥大细胞表

面的 IgE 抗体互相作用结合,从而可以引发机体内部细胞处于致敏性的状态,让机体发生致敏^[18]。当机体再次接触相似致敏原分子时,致敏原分子特异性识别致敏细胞膜表面的 IgE,诱导细胞脱粒释放炎症介质而触发过敏症。

目前尚未有报道研究鸭蛋清溶菌酶的致敏性,但是鸭蛋清溶菌酶与鸡蛋清溶菌酶具有类似的氨基酸序列,很可能引起过敏反应。作者分别研究鸡蛋清、鸭蛋清溶菌酶交叉反应,建立高效简单的分离纯化鸭蛋清溶菌酶方法,探索其潜在的致敏性。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选取 3 位患者,这些患者在医院进行皮肤点刺实验,结果显示对鸡蛋致敏原发生阳性反应。致敏原特异性 IgE 抗体检测结果表明,患者血清中鸡蛋致敏原特异性 IgE 水平在 37.3~52.5 kU/L,患者信息如表 1 所示。抗鸡蛋清溶菌酶兔血清来自作者所在实验室^[19]。

新鲜鸭蛋:购于超市;标记羊抗兔 IgG 抗体、标记羊抗人 IgE 二抗、鸡蛋清溶菌酶标准品(纯度>90%):美国 Sigma 公司产品;预染蛋白 marker:北京天根生化有限公司产品;ECL 显色液:美国 Promega 公司产品;BSA:天津大茂试剂公司产品;考马斯亮蓝 R250:上海化学试剂公司产品。

表 1 不同鸡蛋过敏患者情况

Table 1 Allergic symptom of different patients

患者编号	性别	年龄	IgE 水平/(kU/L)	临床症状
1	女	29	52.5	喉咙肿胀,肺部呼吸受阻
2	女	57	37.3	皮肤有红色皮疹,充血瘙痒
3	男	32	46.2	腹部痉挛、疼痛,恶心和呕吐

1.2 仪器与设备

PB-10 型 pH 计:德国 Sartorius 公司产品;磁力搅拌器:美国 Thermo 公司产品;高速冷冻离心机:德国 Beckman 公司产品;BR680 型多功能酶标仪:美国 Beckman 公司产品;GS-800 凝胶扫描系统、PowerPac3000 迷你蛋白质电泳仪:美国伯乐公司产品;BSZ-160 自动部分收集器:青浦沪西仪器厂产品。

1.3 方法

1.3.1 鸭蛋清液预处理 把鸭蛋清液和蛋黄分离,鸭蛋清液缓慢均匀搅拌,使其胶状破坏,取 50 mL 蛋清液,体积稀释至 100 mL 后,调配 2 mol/L Tris-HCl, pH 到达 7.5。在层析柜温度达到 4 ℃时,把磁力搅拌器放入层析柜中并缓慢搅拌鸭蛋清液 4 h,此步骤可以去除并沉淀蛋清液中的杂质。沉淀结束后,在 4 000 g 的条件下,蛋清液离心 45 min 并去

除沉淀的杂质。为了更进一步去除不溶物,将蛋清液在 8 000 g 条件下离心 10 min, 取上清液保存于 -20 ℃, 用于下一步鸭蛋清溶菌酶的分离纯化。

1.3.2 超滤分离 为了提高鸭蛋清溶菌酶的分离效果, 在进行离子交换层析法分离鸭蛋清溶菌酶前, 将鸭蛋清液经 50 000 的超滤管进行超滤, 主要是去除卵类黏蛋白、卵转铁蛋白等相对分子质量为 50 000~200 000 的蛋白质^[20]。经过处理的蛋清液, 比较纯净, 可避免下一步离子交换层析中出现堵塞柱子的情况, 提高分离纯化效率。

1.3.3 离子交换层析法 参考佟平^[21]的分离鸡蛋清溶菌酶方法, 采用 DEAE-Sephrose Fast Flow 弱碱性阴离子交换层析法分离鸭蛋清溶菌酶。层析柱处理时保持柱材表面均匀。调配 pH 7.5 和 0.05 mol/L Tris-HCl 缓冲液, 平衡柱子至恒定。取 2 mL 超滤后的上清液缓慢加入柱中, 待第一个峰出现开始收集, 收集完毕后用氯化钠和氢氧化钠溶液再生, 最后用蒸馏水清洗。

1.3.4 浓缩 用相对分子质量 3 000 超滤管超滤 2 次, 在 4 000 g 离心 2 次, 再加蒸馏水, 4 000 g 离心 2 次进行除盐, 最后冷冻干燥后放于 -20 ℃ 冰箱中保存。

1.3.5 测定鸭蛋清中溶菌酶质量浓度 根据蛋白质定量试剂盒的使用方法说明书, 测定鸭蛋清中溶菌酶质量浓度, 选用 300 μg/mL BSA 溶液, 将分离得到的鸭蛋清溶菌酶进行适当稀释, 倍数为 200、400、600、800、1 000, 使质量浓度控制在标准曲线范围内, 在 595 nm 波长处测定吸光度, 绘制标准曲线, 根据吸光度计算出鸭蛋清溶菌酶的质量浓度。

1.3.6 鸭蛋清溶菌酶电泳分析 对分离纯化的鸭蛋清溶菌酶进行分析, 采用电泳法, 对出峰段内不同阶段的鸭蛋清溶菌酶提取液进行分析, 上样质量浓度设定为 2 mg/mL, 样品上样量为 16 μL, 使用 12 g/dL 分离胶。通过 SQ-GS800 光密度扫描仪, 对鸭蛋清溶菌酶电泳凝胶图进行定性、定量以及纯度分析。

1.3.7 鸭蛋清溶菌酶质谱鉴定 为进一步对鸭蛋清中溶菌酶进行验证, 采用液相质谱联用方法进行质谱鉴定。将纯化的目的蛋白质从 SDS-PAGE 电泳胶上切胶回收, 放入乙腈溶液处理过的 1.5 mL 的离心管中密封, 冷冻保存, 由北京中科新生命公司进行质谱鉴定。

1.3.8 鸭蛋清溶菌酶的 IgE 结合能力分析 采取免疫印迹(western blot)实验对鸭蛋清溶菌酶的 IgE 结合能力进行分析。对样品进行 SDS-PAGE 电泳后, 在 100 V 的条件下进行恒压电转, 将鸭蛋清溶菌酶蛋白质条带印迹到 NC 膜上。采用 TBST(质量分数 5% BSA 溶液)封闭 1 h, 分别采用抗溶菌酶的兔多抗血清和 3 位鸡蛋过敏患者的混合血清池进行孵育, 二抗分别采用羊抗兔 IgG 和羊抗人 IgE。用 ECL 显色试剂, 显色时间为 5 min。抗溶菌酶的兔多抗血清实验中, 一抗稀释比例为 1:10 000。由于血清量非常少, 所以孵育的时候一定要准确, 确保血清能覆盖在膜上。二抗 HRP 标记羊抗兔 IgG 的稀释比例为 1:5 000。在 3 位鸡蛋过敏患者血清池的实验中, 一抗稀释比例为 1:20, 二抗 HRP 标记的羊抗人 IgE 的稀释比例为 1:5 000。最后加 ECL 显色试剂反应 5 min, 放入 GS-800 凝胶扫描系统成像。

2 结果与分析

2.1 鸭蛋清溶菌酶离子交换层析分离结果

鸭蛋清溶菌酶提取液先经过 50 000 超滤处理, 然后采用 DEAE-Sephrose Fast Flow 阴离子交换层析法, 缓冲液流量为 1.5 mL/min, 鸭蛋清溶菌酶流出峰(峰 a)稳定在 50 min 左右出现, 且无其他杂峰的影响, 因此可以把蛋清中的鸭蛋清溶菌酶很好地分离, 离子交换层析曲线结果见图 1 所示。根据层析图谱分析, 鸭蛋清溶菌酶的分离效果较好。在实验过程中, 上清液在没有经过超滤直接上样时, 上清液中有杂质没有完全去除, 所以在提取溶菌酶时, 经常出现液体外渗, 给实验带来了麻烦。经过超滤处理之后的样品, 提高了层析柱的使用效率, 可以反复多次提取溶菌酶, 方便高效。

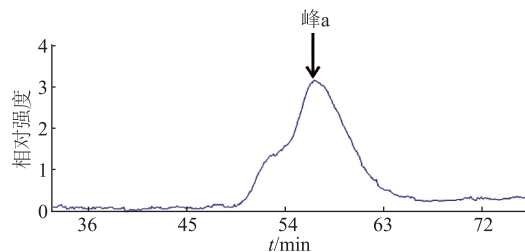


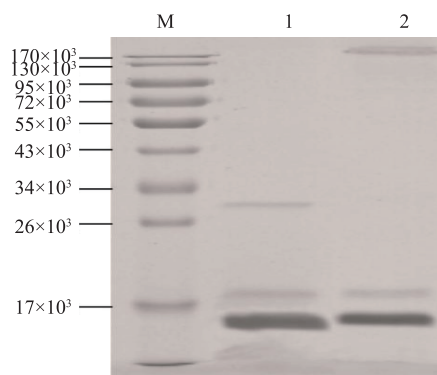
图 1 鸭蛋清溶菌酶离子交换层析图谱

Fig. 1 Ion-exchange chromatography of lysozyme from duck egg white

2.2 鸭蛋清溶菌酶电泳鉴定结果

经 DEAE-Sephrose Fast Flow 离子交换层析法

分离得到鸭蛋清溶菌酶,进行蛋白质电泳分析,电泳结果如图2所示。泳道1为商业化鸡蛋清溶菌酶标准品,泳道2为分离所得的鸭蛋清溶菌酶。根据鸭蛋清溶菌酶的蛋白质相对分子质量为14 820,用灰度扫描分析蛋白质电泳凝胶图,确定分离纯化的蛋白质为鸭蛋清溶菌酶。由于没有鸭蛋清溶菌酶标准品,所以购买Sigma公司的鸡蛋清溶菌酶标准品与提取的鸭蛋清溶菌酶SDS-PAGE电泳比较,两者的上样量均为16 μ L,从电泳图中看出,在上样量相同的情况下,鸭蛋清溶菌酶的杂带与鸡蛋清溶菌酶标准品差不多,鸡蛋清溶菌酶的标准品的纯度在98%,通过灰度扫描显示鸭蛋清溶菌酶的纯度为90.06%。



1.鸡蛋清溶菌酶标准品;2.分离纯化后鸭蛋清溶菌酶。

图2 鸭蛋清溶菌酶 SDS-PAGE 电泳结果

Fig. 2 SDS-PAGE patterns of lysozyme from duck egg white

2.3 鸭蛋清溶菌酶质谱鉴定结果

为进一步鉴定所分离纯化的鸭蛋清溶菌酶,将鸭蛋清溶菌酶进行蛋白质电泳,并将目标条带切胶,进行酶解和质谱分析。通过将质谱得到的序列结果在蛋白质数据库 (SwissProt 55.2)MSDB(www.matrixscience.com)中与已知序列的蛋白质进行序列比对,确定本实验得到的蛋白质为鸭蛋清溶菌酶,匹配度为75.51%。经质谱计算,纯化得到的溶菌酶的相对分子质量为14 820,等电点为10.8。

2.4 鸭蛋清溶菌酶提取率

为确定鸭蛋清溶菌酶的提取率,对鸭蛋清溶菌酶分离纯化所得的蛋白液进行浓度及体积的换算。经计算,鸭蛋清溶菌酶分离纯化后的质量为464.8 mg,鸭蛋清粗提液溶菌酶的质量为1 239.5 mg,将鸭蛋清溶菌酶与鸭蛋清粗提液溶菌酶的对

值定义为鸭蛋清溶菌酶的提取率,结果见表2。

表2 鸭蛋清溶菌酶提取率

Table 2 Efficiency rate of lysozyme from duck egg white

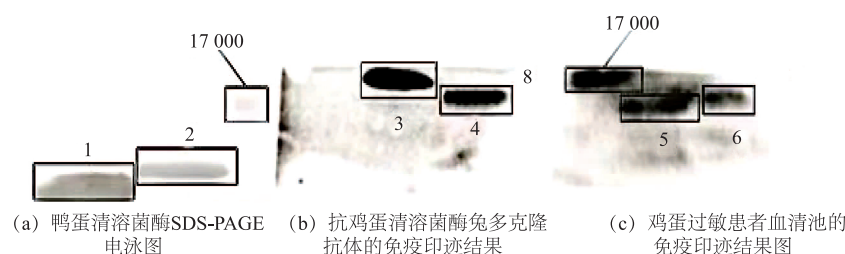
样品	鸭蛋清粗提液溶菌酶质量/mg	纯化后溶菌酶质量/mg	提取率/%
蛋清液	1 239.5	464.8	30

2.5 鸭蛋清溶菌酶的免疫交叉反应

通过检测鸭蛋清溶菌酶与鸡蛋过敏患者血清的IgE结合能力的方法,研究鸭蛋清溶菌酶与鸡蛋溶菌酶的免疫交叉反应。采用免疫印迹的方法,探索鸭蛋清溶菌酶与鸡蛋过敏患者血清池IgE结合能力的影响。首先,通过实验室之前制备的鸡蛋清溶菌酶兔多克隆抗体,对鸡蛋清及鸭蛋清溶菌酶的抗原性进行了初步的研究,图3(a)为鸡蛋清、鸭蛋清溶菌酶的蛋白质电泳结果,1泳道为鸡蛋清溶菌酶,2泳道为鸭蛋清溶菌酶。图3(b)为兔多克隆抗体的结果。实验结果表明,鸡蛋清溶菌酶抗体能够与鸭蛋清溶菌酶进行特异性的反应,泳道3为鸭蛋清溶菌酶与抗鸡蛋清溶菌酶兔血清反应条带,泳道4为鸡蛋清溶菌酶与抗鸡蛋清溶菌酶兔血清的反应条带。鸭蛋清溶菌酶经过SDS-PAGE测得其相对分子质量14 820,与鸡蛋清溶菌酶相对分子质量14 400比较相近。鸭蛋清与鸡蛋清的蛋白质序列,通过uniprot蛋白质数据库(<https://www.uniprot.com>)对比分析,检索蛋白质的氨基酸序列,鸭蛋清溶菌酶uniprot序列号是P00705,鸡蛋清溶菌酶uniprot的序列号是P00698,通过序列同源性对比分析,相似度高达80.272%^[21]。利用鸡蛋过敏患者血清制备的血清池进行IgE结合能力的测定。实验结果如图4(c)所示,鸭蛋清溶菌酶能够与鸡蛋过敏患者血清池中的IgE进行特异性结合,泳道5为鸡蛋清溶菌酶与鸡蛋过敏患者血清池反应条带,泳道6为鸭蛋清溶菌酶与鸡蛋过敏患者血清池反应条带,结果表明鸭蛋清溶菌酶与鸡蛋清溶菌酶之间存在着免疫交叉反应。

3 结 语

蛋白质致敏原分离纯化的方法主要是离子交换层析法,而且对蛋白质的发现和纯化的效果均非常显著^[23]。但目前尚未有用此方法对鸭蛋清溶菌酶的分离纯化的报道。作者采用超滤法和离子交换层析法相结合的方式分离纯化鸭蛋清溶菌酶,该方法



1 为鸡蛋清溶菌酶电泳图;2 为鸭蛋清溶菌酶电泳图;3 鸡蛋清溶菌酶与抗鸡蛋清溶菌酶兔血清反应条带;4 鸡蛋清溶菌酶与抗鸡蛋清溶菌酶兔血清的反应条带;5 鸡蛋清溶菌酶与鸡蛋过敏患者血清池反应条带;6 鸭蛋清溶菌酶与鸡蛋过敏患者血清池反应条带。

图 3 鸭蛋清溶菌酶免疫印迹结果

Fig. 3 Immunoblotting results of lysozyme from duck egg white

能够分离得到较纯的鸭蛋清溶菌酶,出峰明显清晰,分离纯化效果比较好,纯度为 90.06%,提取率为 30%,经过蛋白质电泳及质谱鉴定该蛋白质为鸭蛋清溶菌酶,匹配值为 75.51%。

食物过敏原间存在着免疫交叉反应,鸭蛋清溶菌酶与鸡蛋清溶菌酶具有高度相似的氨基酸序列,同源率为 80.272%。本实验中首先通过兔多克隆抗体对鸭蛋清溶菌酶的抗原性进行分析,实验结果发现在 10 000~17 000 发现特异性结合条带。进一步利用鸡蛋过敏患者血清池对鸭蛋清溶菌酶的 IgE 结

合能力,得到了类似的结果。因此鸭蛋清溶菌酶与鸡蛋清溶菌酶之间具有免疫交叉反应。但鸭蛋清蛋白中其他的蛋白质是否与鸡蛋蛋白中相对应的致敏原蛋白质间存在免疫交叉反应需进一步研究。

鸭蛋是非常重要的蛋白质来源,溶菌酶是鸭蛋中主要的致敏原^[23-24],无意添加或者加工过程中交叉污染,都可能危及鸭蛋过敏者的健康^[25]。作者探索了鸭蛋清溶菌酶的致敏性,发现鸡蛋过敏的患者同时也要避免鸭蛋蛋白质的摄入。

参考文献:

- [1] 邓蓉. 养鸭企业品牌建设——挖掘鸭文化与拓展时代性[J]. 现代化农业, 2021(1):2-4.
- [2] 姚俊峰, 龚绍明, 杨长锁. 不同禽蛋营养成分比较研究[J]. 海畜牧兽医通讯, 2020(6):22-25.
- [3] PADARATH S, GERRITSEN S, MACKAY S. Nutritional aspects of commercially available complementary foods in new zealand supermarkets[J]. *Nutrients*, 2020, 12(10):1-10.
- [4] NORUM K R. The function of lecithin: cholesterol acyltransferase (LCAT) [J]. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 2017, 77(4):235-236.
- [5] CHOTARD E, MOHAMMADI F, JULIEN P. Drinkable lecithin nanovesicles to study the biological effects of individual hydrophobic macronutrients and food preferences[J]. *Food Chemistry*, 2020, 322:126736.
- [6] BALIC A, VLASIC D, ZUZUL K. Omega-3 versus omega-6 polyunsaturated fatty acids in the prevention and treatment of inflammatory skin diseases[J]. *International Journal of Molecular Science*, 2020, 21(3):741.
- [7] 侯洁, 郭宏慧, 钟芸. 鸡蛋中抗菌体系综述[J]. 食品安全导刊, 2016, (27):67.
- [8] HUANG Y, ZHANG D, ZHANG Y. Role of ultrasound and L-lysine/L-arginine in improving the physical stability of myosin-soybean oil emulsion[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 111:106367.
- [9] BENEDE S, LOZANO-OJALVO D, LOPEZ-FANDINO R A. Mouse model of oral sensitization to hen's egg white[J]. *Methods in Molecular Biology*, 2021, 22(23):49-65.
- [10] 汪吴晶. 四种蛋清蛋白质的相互作用及对蛋清品质和致敏性的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- [11] SHOW P L, OOI C W, SONG C P. Purification of lysozyme from chicken egg white by high-density cation exchange adsorbents in stirred fluidized bed adsorption system[J]. *Food Chemistry*, 2021, 343:128543.

- [12] PORTILLO-CASTILLO O J, CASTRO-RIOS R, CHAVEZ-MONTES. A new RP-HPLC method as an auxiliary tool for optimization of sample preparation procedures for tracing of PPCPs of different hydrophilicities[J]. *Acta Pharmaceutica*, 2021, 71(2):305-315.
- [13] 陈红兵. 食物过敏原检测技术的新动态[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(7):1743-1744.
- [14] KAMAL-ALAHMA D, KORMA S A, ZHANG T. The progress of food allergy concept[J]. *Classifications and Diagnosis International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2016, 5(4):104-110.
- [15] NIMATA M, OKADA H, KURIHARA K, et al. A harmonized immunoassay with liquid chromatography-mass spectrometry analysis in egg allergen determination[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2018, 410(2):325-335.
- [16] 赵晨勋, 童英, 罗苑. 食物过敏与肠道屏障功能障碍的研究概况[J]. 中国民族民间医药, 2020, 29(18):81-85.
- [17] 常雪娇, 李坤, 张英. 晒干处理对花生过敏原蛋白潜在致敏性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(3):49-54.
- [18] MOGHTADERI M, NABAVIZADEH S H, TESHNIZI S H. The frequency of cross-reactivity with various avian eggs among children with hen's egg allergy using skin prick test results: fewer sensitizations with pigeon and goose egg[J]. *Allergologia et Immunopathologia*, 2020, 48(3):265-269.
- [19] 张新宝. 鸡蛋蛋清溶菌酶分离纯化及其抗原性评估[D]. 南昌: 南昌大学, 2010.
- [20] JUNGBAUER A, HAHN R. Ion-exchange chromatography[J]. *Methods Enzymol*, 2009, 463:349-371.
- [21] 佟平. 鸡蛋卵转铁蛋白线性表位定位及热加工对其结构与过敏原性的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2011.
- [22] 罗静初. UniProt 蛋白质数据库简介[J]. 生物信息学, 2019, 17(3):131-144.
- [23] 姜松松, 赵博, 韩诗雯. 不同热加工方式对核桃蛋白致敏性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(13):94-99.
- [24] ASBELL P A. Farewell message from penny A[J]. *Mount Sinai Journal of Medicine*, 2012, 79(6):782-784.
- [25] BOLLING B W, CHEN C Y O, MCKAY D L, et al. Tree nut phytochemicals: composition, antioxidant capacity, bioactivity, impact factors: a systematic review of almonds, Brazils, cashews, hazelnuts, macadamias, pecans, pine nuts, pistachios and walnuts[J]. *Nutrition Research Reviews*, 2011, 24(2):244-275.

(责任编辑: 许艳超)

科技信息

加拿大批准来自茂原链霉菌 M2020197 的转谷氨酰胺酶用于多种食品

2023 年 3 月 2 日, 加拿大卫生部发布 NOM/ADM-0196 号文件, 批准来自茂原链霉菌 M2020197 的转谷氨酰胺酶 (transglutaminase from *Streptomyces mobaraensis* M2020197) 用于多种食品, 同时修订允许使用的食品酶清单, 自 2023 年 3 月 2 日起生效。

在加拿大, 另一种来源的谷氨酰胺转氨酶已被允许用于部分食品中, 而此前茂原链霉菌 M2020197 还不是任何食品酶的允许来源。

[信息来源] 江苏省技术性贸易措施信息平台. 加拿大批准来自茂原链霉菌 M2020197 的转谷氨酰胺酶用于多种食品[EB/OL]. (2023-4-3). <http://www.tbtaguide.com/c/mypt/gwxw/522290.jhtml>