

酶学技术在食品加工与食品质量检测中的应用

游清徽^{1,2}, 王曼莹^{1,2*}

(1. 江西师范大学生命科学学院, 南昌 330022; 2. 江西省食品与生物技术产学研合作示范基地, 南昌 330022)

摘要: 本文从谷物加工、果蔬加工、肉类加工、乳制品加工四个研究领域对酶学技术在食品加工中的应用及其进展, 从酶联免疫分析法(ELISA)与酶生物传感器法两个研究领域对酶学技术在食品质量检测中的应用及其进展进行了归纳和评述。糖苷酶类可应用于生产以抗性糊精、低聚果糖为代表的新型谷物营养食品, 果胶酶及其复合酶制剂可以提高果汁的产量和质量, 纤维素酶辅助提取技术提取果蔬中功能性成分, 蛋白酶、脂肪酶应用于改良传统的肉制品、乳制品, 以及制造更加营养均衡, 符合保健需求的功能性肉制品、乳制品。酶联免疫分析法可以用于果蔬中农药残留以及食品中毒素的检测, 可靠性更好、灵敏度更高的酶联免疫试剂盒是今后研究的重点。以酶电极为代表的酶生物传感器在食品中的有毒物、致癌物检测中也已经初步取得成功。同时, 针对酶学技术在食品加工与食品质量检测中的应用存在的不足, 本文也提出了相应的建议, 比如通过固定化酶来降低酶制剂的使用成本, 保证酶联免疫分析法的准确性, 提高酶生物传感器的稳定性。

关键词: 酶学技术; 食品加工; 食品质量检测; 应用; 进展

Application of the enzymologic methods in food processing and food quality inspection

YOU Qing-Hui^{1,2}, WANG Man-Ying^{1,2*}

(1. College of Life Science, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2. Food and Biotechnology Production-Education-Research Cooperation and Demonstration Base in Jiangxi Province, Nanchang 330022, China)

ABSTRACT: The application and advance of enzyme technology in food processing were summarized and evaluated from four research fields of grain processing, fruit and vegetable processing, meat processing, and dairy processing. The application and advance of enzyme technology in food quality inspection were summarized and evaluated from two research fields of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) and enzyme biosensor method. Glycosidase and other enzymes were used in the production of resistance dextrin or oligo-fructose, which were representatives of new nutrition food from grain. Pectinase and composite enzyme preparation improved the yield and quality of fruit juice. Cellulose-assisted extraction technology was studied for the extraction of functional compositions in fruits and vegetables. Protease or lipase were applied to improve the traditional meat products or dairy products, and to produce more balanced functional meat products, dairy products, which meet the needs of health care. ELISA was used in the detection of pesticide residues in fruits and vegetables, or toxins in food. ELISA kitore with more reliability and higher sensitivity would be the focus of future study. Enzyme electrodes were the representative of the enzyme biosensors, which were used in the

基金项目: 江西省科技支撑计划项目(20123BBF60171)

Fund: Supported by the Jiangxi Science and Technology Support Project (20123BBF60171)

*通讯作者: 王曼莹, 教授, 主要研究方向为食品工业用酶制剂研究与应用。E-mail: wangmy8888@sina.com

*Corresponding author: WANG Man-Ying, Professor, College of Life Science, Jiangxi Normal University, No.99, Ziyang Road, Nanchang 330022, China. E-mail: wangmy8888@sina.com

detection of toxins and carcinogens in food. The corresponding suggestion to solve the problem existing in the application of enzyme technology in food processing and food quality inspection were also put forward accordingly, such as the use of immobilized enzyme to reduce the cost of enzyme preparation, the improvement of the accuracy of ELISA, the improvement of the stability of the enzyme biosensors.

KEY WORDS: methods in enzymology; food processing; food quality inspection; application; development

1 引言

在人类社会发展的历史中, 食品加工工艺的不断改进, 对于人类体力和智力的发展起到了重要的作用。从面包、奶酪、酒类、酱类等古老的食物可以看出, 人类对酶的应用几乎同人类文明史一样古老。当然, 在 19 世纪后期微生物学、生物化学, 尤其是酶学诞生之前, 人类所利用的酶学技术在很大程度上依赖于实践经验及朴素总结。人们将主要来源于动物或植物食品原料进行加工的过程, 常常不自觉地利用各种酶的催化作用, 实现食品成分的转化。法国科学家巴斯德(Louis Pasteur)认为发酵与活细胞有关, 但却认为发酵是活细胞而不是细胞中的某些物质在发挥作用。1878 年, 德国科学家库尼(W.Kuhne)首先提出“酶”(Enzyme)的概念, 这个词原本的含义就是“在酵母中”。1897 年, 毕希纳兄弟成功地从酵母细胞分离出能使糖发酵的物质, 从此酶学得以建立和发展。

酶的本质是具有催化活性的生物大分子, 基本上都是以蛋白质的形式存在。与其他形式的催化剂相比, 酶具有底物专一性强, 反应条件温和, 反应效率高, 副产物少等优点。近年来, 酶学技术不仅在食品加工中的应用有了许多新的成果, 而且在食品质量检测中也发挥了越来越重要的作用。本文从谷物加工、果蔬加工、肉类加工、乳制品加工四个研究领域对酶学技术在食品加工中的应用及其进展, 从酶联免疫分析法(ELISA)与酶生物传感器法两个研究领域对酶学技术在食品质量检测中的应用及其进展进行了归纳和评述。针对酶学技术在食品加工与食品质量检测中的应用存在的不足, 本文也提出了相应的建议。

2 酶学技术在食品加工中的应用

目前国内外食品酶学技术的研究重点包括谷物加工、果蔬加工、肉类加工、乳制品加工这四个领域。

2.1 谷物加工研究领域

谷物是最重要的农产品, 也是食品加工最重要的原料。作为食品工业的一个传统领域, 谷物加工业普遍存在产品附加值不高的问题。因此, 通过酶学技术对谷物进行深加工和综合开发利用, 能够在最大程度上提升谷物加工业的经济效益。谷物中的主要营养物质是淀粉。以小麦为例, 新型酶制剂在其深加工过程中得到了广泛的应用, 包

括淀粉分离、淀粉制糖、淀粉生产酒精的调浆、液化、糖化以及生料转化等过程。基于现代医学与营养学的研究成果, 许多研究者从谷物原料的特性出发, 利用酶学技术开发各种适合人类营养需求的新型谷物食品, 其中包括膳食纤维等一些新类型的营养保健产品^[1]。

膳食纤维是一种极其重要的食品成分, 包括各种水溶性和水不溶性的纤维物质, 具有很多重要的生理功能。许多研究者从不同来源的食物中提取加工膳食纤维, 而以抗性糊精为代表的大多数膳食纤维均来源于谷物。抗性糊精由谷物淀粉加工而成, 其本质是一种低热量葡聚糖, 属于低分子水溶性膳食纤维^[2,3]。2012 年中国卫生部将其列为普通食品。谷物淀粉为大分子, 而抗性糊精为低分子, 所以抗性糊精的加工过程可以采用各种酶制剂进行酶解, 譬如 α -淀粉酶、糖化酶、普鲁兰酶、转苷酶等^[4]。这些酶制剂的使用, 在不同水平上提高了抗性糊精的产量和质量。

目前国际市场上已有多种商品化的低聚糖出售, 如低聚果糖^[5]、低聚半乳糖^[6]、壳低聚糖(壳寡糖)^[7,8]等。低聚果糖、低聚半乳糖具有显著促双歧杆菌增殖等作用, 已被广泛应用于婴幼儿乳粉及食品中, 而壳低聚糖(壳寡糖)则是一种具有明显激活机体内源性免疫系统的保健食品。2014 年 5 月 16 日我国卫生计生委已公告, 壳寡糖列入新食品原料目录。目前生产这些功能性低聚糖的主要途径是利用微生物所产的菊粉酶、 β -半乳糖苷酶、壳聚糖酶等酶制剂的作用, 以菊粉、乳糖和高分子壳聚糖等作为底物进行生物转化。近年来, 利用糖基转移酶来生产功能性低聚糖的研究也取得了进展, 例如, 将固定化 α -葡萄糖基转移酶用于低聚异麦芽糖的生产获得了较好的效果^[9]。

可以看出, 酶学技术在谷物加工研究领域的应用, 既包括淀粉糖、酒精等传统淀粉转化食品, 也包括抗性糊精、低聚果糖等一些新型营养食品。

2.2 果蔬加工研究领域

果汁生产是果蔬加工的一个主要产业。在果汁的加工过程中, 由于植物细胞间隙存在粘稠度很高的果胶类物质, 给榨汁、过滤和澄清等环节带来了困难。短时间的果胶酶处理就能使果肉中的果胶降解、粘度下降, 不仅有利于提高榨汁收率, 同时也提高了果汁澄清的效果^[10,11]。

在果汁生产中, 未成熟果实淀粉含量过高同样会使果浆粘稠, 果汁浑浊。淀粉酶是专一性的淀粉水解酶, 将淀粉酶和果胶酶复合用于果汁生产中, 可降低果汁粘度、缩

短过滤时间、澄清果汁并提高果汁的稳定性。例如,在苹果汁加工中有时会出现一些并非变质的浑浊现象,采用含淀粉酶的复合酶来处理,就能够保持果汁的澄清^[12]。

我国是柑橘汁的生产大国,但以往在其加工过程中采用的方法比较原始,例如,桔子囊衣的脱除以往都是采用酸碱处理,造成了大量废水和固态废弃物的排放。而利用聚半乳糖醛酸酶、果胶酶与半纤维素酶组成的复合酶处理,对桔子囊衣脱除效果明确,可以很好地解决这个问题^[13]。

果蔬中功能性成分的提取是目前果蔬深加工的一个方向。酶制剂的使用可以在温和条件下进行,减少这些功能性成分的损失。纤维素酶辅助提取技术就是其中较为常用的一种方法。例如,在芦笋黄酮提取中就可以采用纤维素酶辅助提取技术^[14]。有研究者采用纤维素酶辅助提取技术从大蒜中制备了大蒜多糖。结果表明,大蒜多糖具有很强的抗氧化活性,包括清除自由基的活性,可以作为潜在的抗氧化剂^[15]。

因此,酶学技术在果蔬加工研究领域的应用,一方面是果胶酶及其复合酶制剂在果汁生产中的应用,另一方面是纤维素酶辅助提取技术等果蔬中功能性成分提取中的应用。

2.3 肉类加工研究领域

关注肉类食品中营养素的均衡,生产符合现代人对于低盐低脂需求的功能性肉制品已成为未来肉类加工产业发展的一种趋势。此外,对于肉类加工副产物的综合利用可以实现肉类食品资源的充分利用,提升该产业的经济效益。利用酶学技术的手段,可以对肉类加工的过程进行监测,有利于某些肉类制品独特风味的产生和保持、减少或者消除加工过程中产生的有害副产物。

除了肉类中固有的内源酶外,外源酶在肉类加工过程中也发挥着重要作用。目前商品化外源酶包括动物、植物和微生物来源的水解酶、转移酶、氧化还原酶等,用于蛋白质的水解或交联。蛋白质水解过程可以使肉质嫩化、提高活性肽含量,形成独特的风味物质。蛋白质的交联可以改善肉制品的保水性、提高其凝胶强度^[16]。

肉类风干工艺是一种传统的风味食品加工方法。采用蛋白酶处理可以促进蛋白质水解,优化肉类风干成熟工艺。例如,碱性蛋白酶能显著促进肉类原料的蛋白质水解,在风干鸡的制作中,就可以采用碱性蛋白酶解与高温风干成熟工艺相结合,提高风味品质。普通中式香肠因其胶黏特性较差,脂肪颗粒大,影响其食用品质^[17]。谷氨酰胺转氨酶可以在蛋白质分子间形成共价交联,提高产品的弹性、硬度等特性,从而改进产品的品质和口感。脂肪酶能催化脂肪颗粒的水解过程,去除其中多余的脂肪,增加香肠的硬度、胶黏性^[18]。

我国是渔业大国,但鱼产品加工中还存在着利用率低,附加值不高,深加工产品少等问题。鱼类蛋白质经酶解

后得到的水解物,其溶解性、乳化性、起泡性和流变性等物理特性得到明显改善,且水解液中氨基酸种类齐全。例如,采用碱性蛋白酶水解草鱼蛋白,可以获得氨基酸种类齐全的水解液。某些海鲜中含有过敏原,因此采用酶法消除致敏性具有很强的实际意义^[19]。例如,采用超高压法和高压结合酶法消减,可以在很大程度上降低南美白对虾中过敏原的致敏性^[20]。

可以看出,酶学技术在肉类加工研究领域的应用,不仅有利于传统肉类食品风味的改良,而且可以制造出更加营养均衡,符合保健需求的功能性肉制品。

2.4 乳制品加工研究领域

乳制品加工业是畜牧业与现代食品工业交叉的一个重要领域。近年来,国内乳制品市场有了很大的扩展,酶学技术在乳制品加工,尤其是各种发酵乳制品加工中的应用得到了更深入的研究。

乳酸菌(lactic acid bacteria, LAB)是乳制品加工中应用较多的一大类细菌的总称,它们是人体必不可少的益生菌,因此具有很好的安全性。利用乳酸菌中丰富的蛋白水解酶系,可以在乳制品发酵中促进酪蛋白水解,产生丰富的多肽类风味物质^[21]。

婴儿配方奶粉中添加的牛乳脂肪在脂肪酸组成及分布上与人乳脂肪差异较大,不能很好地满足成长中婴儿的营养需求。因此,近年来许多研究者采用酶法生产脂肪酸组成和结构与人乳脂相似的人乳脂替代品,主要目标就是通过 Sn-1,3 位专一性脂肪酶来催化酯交换或者酸解反应,使产物的物理和化学特性均与人乳脂相似。^[22,23]目前比较成熟的商业化脂肪酶制剂是丹麦诺维信的 Lipozyme 系列^[24]。

制造干酪过程中,发挥凝乳作用的关键性酶是凝乳酶。凝乳酶的传统来源是吃奶的小牛皱胃(第四胃),可用来制作各种类型的干酪。但是,来源于小牛皱胃的凝乳酶制剂毕竟有限,难以满足干酪制造产业的需求,有必要开发新来源的凝乳酶。植物性凝乳酶、微生物凝乳酶、基因工程重组凝乳酶都属于新来源凝乳酶,其中基因工程重组小牛凝乳酶被认为是最具有潜力的产品,有望成为解决市场需求的新途径^[25]。

因此,酶学技术在乳制品加工研究领域的应用,不仅包括酸奶、干酪等传统发酵乳制品,也包括婴儿配方奶粉等新型功能性营养食品。

3 酶学技术在食品安全检测中的应用

酶学技术在食品安全检测领域的应用越来越广泛,其中主要包括:酶联免疫分析法,酶生物传感器法。

3.1 酶联免疫分析法(ELISA)

酶联免疫分析法是属于标记免疫学技术的一种,1971

年由荷兰和瑞典的学者提出。由于其操作过程简单易行并可以定量, 从而使其在食品安全和卫生检测中得到广泛的应用。例如, 可以用于果蔬中农药残留的检测。有研究者采用包被抗体、酶标半抗原直接竞争酶联免疫吸附分析法(ELISA)测定氰戊菊酯在桃中的残留量^[26]。

目前市场上有多种基于 ELISA 方法开发的用于食品中毒素检测的试剂盒产品。但是, 不同厂家的试剂盒质量和使用范围上存在差异。例如, 有研究者比较了 4 个厂家的黄曲霉毒素 B1 酶联免疫试剂盒, 并将试剂盒所测得结果与液相色谱法结果进行比对。结果表明, 酶联免疫法对不同基质的检测差异性较大, 因此针对不同的样品基质, 需要合理选择酶联免疫试剂盒。当检测过程中出现阳性样品时, 需要用液相色谱法进行确认^[27]。

为了提高 ELISA 法对于食品中毒素检测的灵敏度, 有研究者引入了超顺磁微粒。比较常规的酶标板, 磁微粒能够提供更高的比表面积, 更好的流动性, 同时避免了空间位阻, 使抗原抗体在液相中更易于接近和反应, 从而提高了检测的灵敏度^[28]。

因此, 如何设计、制造可靠性更好、灵敏度更高的酶联免疫试剂盒, 是今后研究者重点关注的领域。

3.2 酶生物传感器法

1962 年克拉克等人提出可以利用酶与电极相结合来测定特定底物的含量, 这一酶生物传感器的设想得到了许多领域科学家的高度重视。酶对特定底物具有专一性催化特性, 而现代电化学分析具有迅速性和简便性, 如果能够将两者相结合, 人们就可以从复杂的成分中, 选择性地迅速测定特定的物质。1967 年, 世界上第一支葡萄糖氧化酶电极诞生, 可用于定量检测血清中的葡萄糖含量。此后, 具有检测迅速、选择性好、灵敏度高优点的酶生物传感器得到了迅速发展, 并且在食品安全检测中展露锋芒。例如, 食品中的亚硝酸盐污染对人体健康有很大的危害, 因此经常需要对亚硝酸盐含量进行检测。基于亚硝酸还原酶的生物传感器可以快速精确地检测亚硝酸盐的含量^[29]。

在食品发酵工业中运用的酶生物传感器一般被制备成酶电极。酶电极是将很薄的一层含酶凝胶覆盖在电极敏感膜表面组成的离子选择电极。在对待测样品检验时, 其中的成分向膜面扩散, 特异性底物可以在酶的催化作用下发生反应, 其酶催化产物可以被离子选择电极转化为相应的电位值, 从而反映样品中特异性底物的浓度。例如, 酒中含有的致癌物氨基甲酸乙酯, 是在酒的发酵过程中由尿素和乙醇经化学反应形成的, 利用固定化脲酶膜的酶电极可以实现酒的发酵过程中尿素含量的快速、准确检测。又如, 采用微生物发酵法生产肌苷时, 需要快速测定发酵液中肌苷含量以控制各种生产参数和工艺条件^[30]。将核苷磷酸化酶(EC 2.4.2.1)与黄嘌呤氧化酶(EC 1.2.3.2)双酶共固定的单电极, 与固定化黄嘌呤氧化酶电极构成双电极系统, 可实

现肌苷的快速分析^[31]。

可以看出, 以酶电极为代表的酶生物传感器, 在食品安全检测领域正在发挥着越来越重要的作用。

4 总结与展望

酶学技术已在食品加工中与食品安全检测中已得到了广泛应用。可以预期, 随着生物技术本身的迅速发展, 尤其是基因工程技术的应用, 可用于食品中的酶制剂种类将大大增加。一方面, 人们对于食品品种与质量的要求不断提高, 酶制剂的应用将取得长足的发展, 其中利用酶制剂来生产具有保健效用的功能性食品将是一个重要的研究领域。另一方面, 人们对食品安全的期望也越来越高, 这使得酶学技术在食品检测中应用带来了新的机遇, 今后有望取得新的发展。

不过, 目前在食品加工领域使用的高活性酶制剂普遍价格不菲, 其普遍使用受到一定程度的制约。因此, 如何生产高活性、低价格的酶制剂成为今后研究的一个方向; 而以固定化酶为代表的酶制剂长期使用或者回收再利用, 也是降低酶制剂使用成本的一个方向。

就食品安全检测而言, 当酶联免疫分析法可能存在假阳性时, 需要结合液相色谱法等其他手段进行校正, 以保证检测结果的准确性。酶生物传感器的研究虽然已经进行了四十多年, 但由于生物信号到电信号的传递过程所具有的不稳定性, 真正商品化的酶生物传感器种类还很少, 因此需要相关研究者付出更多的努力来提高酶生物传感器的稳定性, 从而使其能够得到广泛应用。

参考文献

- [1] 许宏贤, 段钢. 小麦工业加工过程中新型酶制剂的应用[J]. 粮食与食品工业, 2012, 19(1): 33-37.
Xu HX, Duan G. The applications of new enzymes in industrial processes of wheat[J]. Cereal Food Ind, 2012, 19(1): 33-37.
- [2] 付晓, 徐曼旭, 孙安敏, 等. 纤维素酶提取黑木耳残渣中膳食纤维的条件优化[J]. 食品工业, 2014, 35(1): 41-44.
Fu R, Xu MX, Sun AM, et al. The optimal conditions for extraction of dietary fibre from auriculariaauriculariaresidues with cellulase [J]. Food Ind, 2014, 35(1): 41-44.
- [3] 戴余军, 石会军, 李长春, 等. 菠萝皮可溶性膳食纤维酶法提取工艺的研究[J]. 食品工业, 2014, 35(2): 58-61.
Dai YJ, Shi HJ, Li CC, et al. Study on the enzymatic extraction of soluble dietary fiber from pineapple peel [J]. Food Ind, 2014, 35(2): 58-61.
- [4] 苏会波, 林海龙. 难消化糊精的研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(1): 1-7.
Su HB, Lin HL. Research progress and market status of health food-indigestible dextrin [J]. JFood Sci Biotechnol, 2014, 33(1): 1-7.
- [5] 顾夕梅, 陈晓佩, 奚晓桐, 等. 菊粉酶及其制备低聚果糖研究进展[J]. 广东化工, 2014, 41(7): 95-96.
Gu XM, Chen XP, Xi XT, et al. Research advances of inulinase and its preparation of fructooligosaccharides [J]. Guangdong Chem Ind, 2014,

- 41(7): 95-96.
- [6] 侯晓慧, 张金泽, 林静, 等. 植物源 α -低聚半乳糖制备工艺条件优化[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(1): 119-123.
Hou XH, Zhang JZ, Lin J, *et al.* Response surface methodology for preparation α -galactooligosaccharide from plants by fermentation [J]. Food Ferment Ind, 2014, 40(1): 119-123.
- [7] 张姣, 戴雪伶, 姜招峰. 生物活性物质壳寡糖对阿尔茨海默病防治作用研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 316-320.
Zhang J, Dai XL, Jiang ZF. Research progress in functions of bioactive chitooligosaccharides in prevention and treatment of alzheimer's disease[J]. Food Sci, 2013, 34(11): 316-320.
- [8] 徐文华, 韩宝芹, 孔晓颖, 等. 壳寡糖的抑瘤作用及其作用机制研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(9): 54-59.
Xu WH, Han BQ, Kong XY *et al.* Study on anti-tumor effect of chitooligosaccharides and its mechanism[J]. Periodical Ocean Univ China, 2013, 43(9): 54-59.
- [9] Zhang L, Jiang Y, Jiang Z, *et al.* Immobilized transglucosidase in biomimetic polymer-inorganic hybrid capsules for efficient conversion of maltose to isomaltooligosaccharides[J]. Biochem Eng J, 2009, 46: 186-192.
- [10] 张东亚, 王静, 刘凤兰, 等. 果胶酶澄清高酸海棠果汁工艺研究[J]. 食品工业, 2014, 35(1): 62-65.
Zhang DY, Wang J, Liu FL, *et al.* The research of optimized processon producing crabapples juice with pectinase [J]. Food Ind, 2014, 35(1): 62-65.
- [11] 朱新鹏, 孙敏, 何涛, 等. 果胶酶在拐枣果汁提取应用中的工艺优化[J]. 中国食品添加剂, 2014, 25(1): 163-166.
Zhu XP, Sun M, He T, *et al.* Optimization of pectinase treatment of hove-niadicisthumb juice [J]. China Food Addit, 2014, 25(1): 163-166.
- [12] Schnürer M, Vogl K, Gössinger M. Prevention of conglomerate formation in not-from-concentrate single-cultivar cloudy apple juice by using different treatment methods [J]. Food Sci Technol Int, 2013, 19(1): 89-96 .
- [13] 龙君, 乔勇进, 王海宏, 等. 复合生物酶对宫川蜜橘囊衣脱除效果的研究[J]. 农产品加工(学刊), 2013, 10(11): 1-3, 8.
Long J, Qiao YJ, Wang HH, *et al.* Research of complex enzyme selection on citrous segment membrane peeling [J]. Acad Periodical Farm Pro Process, 2013, 10(11): 1-3, 8.
- [14] 董孝元, 方冬芬, 杨梅, 等. 纤维素酶辅助提取芦笋黄酮及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 17-23.
Dong XY, Fang DF, Yang M, *et al.* Extraction and antioxidant activity of asparagus flavonoids [J]. Food Sci, 2014, 35(6): 17-23.
- [15] Pan S, Wu S. Cellulase-assisted extraction and antioxidant activity of the polysaccharides from garlic[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 111(0): 606-609.
- [16] 王稳航, 刘婷, 赵可, 等. 外源酶在肉品加工中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2013, 14(15): 318-323.
Wang WH, Liu T, Zhao K, *et al.* Research progress of exogenous enzymes in meat processing [J]. Food Sci, 2013, 14(15): 318-323.
- [17] 赵见营, 唐静, 吴海舟, 等. Alcalase 协同强化高温风干成熟工艺对狼山鸡蛋白质水解的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 30-35.
Zhao JY, Tang J, Wu HZ, *et al.* Proteolysis in dry-cured langshan chicken as influenced by alcalase combined with intensifying high-temperature air-drying [J]. Food Sci, 2014, 35(2): 30-35.
- [18] 刘婷, 胡冠蓝, 何翔晓, 等. 谷氨酰胺转氨酶和脂肪酶的使用量对中式香肠品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 43-47.
Liu T, Hu GL, He XX, *et al.* Effects of transglutaminase and lipase on the characteristics of Chinese sausage [J]. Food Sci, 2014, 35(5): 43-47.
- [19] 石岭, 赵利, 袁美兰, 等. 响应面法优化碱性蛋白酶解草鱼蛋白质[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 26-29.
Shi L, Zhao L, Yuan ML, *et al.* Optimizing conditions for alcalase-catalyzed hydrolysis of grass carp protein by response surface methodology [J]. Food Sci, 2014, 35(4): 26-29.
- [20] 张悦, 胡志和, 谢丹丹, 等. 高压结合酶法消减南美白对虾虾仁致敏性[J]. 食品科学, 2014, 4: 6-10.
Zhang Y, Hu ZH, Xie DD, *et al.* Reducing allergenicity of penaeusvannamei shelled fresh shrimp by high static pressure in combination with enzyme treatment [J]. Food Sci, 2014, 35(4): 6-10.
- [21] 张咚咚, 安家彦, 姜铁民, 等. 利用德氏乳杆菌全酶液水解牛乳酪蛋白[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 107-112.
Zhang DD, An JY, Jiang TM, *et al.* Hydrolysis of milk casein with Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus holoenzyme[J]. Food Sci, 2014, 35(7): 107-112.
- [22] Alev Y, Neşe ŞY. Enzymatic production of human milk fat analogues containing stearidonic acid and optimization of reactions by response surface methodology [J]. LWT Food Sci Technol, 2012, 46(1): 210-216.
- [23] Huri I. Production of human fat milk analogue containing α -linolenic acid by solvent-free enzymatic interesterification [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 54(1): p. 179-185.
- [24] 张超越, 辛嘉英, 陈林林, 等. 酶法制备人乳脂替代品的研究进展[J]. 食品科学, 2013, 35(3): 298-302.
Zhang CY, Xin JY, Chen LL, *et al.* Advances in enzymatic preparation of human milk fat substitutes [J]. Food Sci, 2013, 35(3): 298-302.
- [25] 普燕, 李铁杰, 张富春. 原核表达重组牛凝乳酶原及重组牛凝乳酶酶学特性[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(8): 13-19.
Pu Y, Li YJ, Zhang FC. Prokaryotic expression of the recombinant bovine prochymosin and analysis on enzymatic properties of the recombinant chymosin[J]. Food Ferment Ind, 2013, 39(8): 13-19.
- [26] 曾俊源, 崔巧利, 刘曙照. 直接竞争酶联免疫吸附分析法测定桃中氰戊菊酯的残留量[J]. 农药学报, 2014, 16(1): 61-65.
Zeng JY, Cui QL, Liu SZ. Determination of fenvalerate residue in peach by direct competitive enzyme-linked immunosorbent assay [J]. Chin J Pesticide Sci, 2014, 16(1): 61-65.
- [27] 胡玲玲, 项瑜芝, 蔡增轩, 等. 4种黄曲霉毒素B1酶联免疫试剂盒与液相法检测结果比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(3): 813-818.
Hu LL, Xiang YZ, Cai ZX, *et al.* A comparative study on 4 kinds of aflatoxin B1 assay kits and liquid chromatography [J]. J Food Safe Qual, 2014, 5(3): 813-818.
- [28] 管笛, 潘灿平, 王文, 等. 磁微粒酶联免疫吸附法测定玉米中的伏马毒素B₁[J]. 食品科学, 2014, 35(8): 208-211.
Guan D, Pan CP, Wang W, *et al.* Development of a magnetic particle-based enzyme-linked immunosorbent assay for determining fumonisin B₁ in corn [J]. Food Sci, 2014, 35(8): 208-211.
- [29] 丁少南, 龚钢明. 亚硝酸盐酶传感器的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(8): 378-380, 385.
Ding SN, Gong GM. Research progress in enzyme biosensors for nitrite determination[J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(8): 378-380, 385.
- [30] 马力辉, 孙辉, 齐明君, 等. 酶电极法测定发酵液中尿素的含量[J]. 现

代食品科技, 2013, 29(9): 2258–2261, 2316.

Ma LH, Sun H, Qi MJ, *et al.* Detection of urea content in fermented wine by the enzyme electrode [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2013, 29(9): 2258–2261, 2316.

- [31] 刘金玉, 史建国, 马耀宏, 等. 酶电极法测定肌苷发酵液中肌苷含量[J]. *实用医药杂志*, 2013, 30(9): 822–824.

Liu JY, Shi JG, Ma YH, *et al.* Enzyme electrode for the determination of inosine in inosine fermentation [J]. *Practical J Med Pharm*, 2013, 30(9): 822–824.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



游清徽, 讲师, 主要研究方向为天然资源开发利用研究。

E-mail: qinghuiyou@163.com

王曼莹, 教授, 主要研究方向为食品工业用酶制剂研究与应用。

E-mail: wangmy8888@sina.com