

发酵乳霉菌酵母污染和控制的研究进展

张 祁, 裴晓燕, 黄小平*

(内蒙古乳业技术研究院有限责任公司, 呼和浩特 010110)

摘 要: 霉菌和酵母在自然环境中普遍存在, 对食品原辅料及生产环境的污染也时有发生, 是造成发酵乳腐败变质的主要原因。发酵乳作为保质期较短且需冷链储运销售的产品, 低水平的霉菌和酵母污染不会引起食品安全问题, 但是会因为酵母污染产气变味、霉菌生长呈现明显霉斑, 给食品质量带来一定的影响。本文概述了发酵乳中常见的霉菌、酵母种类, 主要污染来源和途径及国内外标准, 从原辅料、加工过程及环境因素等方面展开预防控制措施的解析, 以期更好地控制发酵乳中霉菌、酵母的污染水平, 为发酵乳中霉菌、酵母的控制提供参考。

关键词: 发酵乳; 霉菌; 酵母; 控制; 食品安全

Research progress of contamination and control of moulds and yeasts in fermented milk

ZHANG Qi, PEI Xiao-Yan, HUANG Xiao-Ping*

(Inner Mongolia Dairy Technology Research Institute Co., Ltd., Hohhot 010110, China)

ABSTRACT: Moulds and yeasts are ubiquitous in natural environment. Raw materials and production environment are frequently contaminated, which is the main cause of fermented milk spoilage. Fermented milk is a kind of product with short shelf life and needed to be stored, transported and sold with cold chain. Low level contamination of moulds and yeasts will not result in food safety accidents, but it can damage product quality because of the off-flavours or mouldy by moulds or yeasts proliferation. This paper summarized the species of moulds and yeasts commonly found in fermented milk, analyzed the contamination source and routes, domestic and foreign standards. It analyzed prevention and control measures from raw materials, processing and environment, which will provide reference and help to control the contamination of moulds and yeasts in fermented milk.

KEY WORDS: fermented milk; mould; yeast; control; food safety

1 引 言

发酵乳是一种味道鲜美、营养丰富的乳制品。与其他乳制品相比, 发酵乳 pH 值较低(3.9~4.6), 一般的细菌污染均可被抑制, 而耐酸微生物(主要是霉菌和酵母)成为其最主要的污染菌^[1,2]。随着消费者口味需求的多样化, 添加各种水果、谷物、巧克力等配料的复合口味发酵乳越来越受

到市场青睐, 但同时也使发酵乳的成分越来越复杂, 加大了霉菌酵母的污染风险^[3]。此外, 随着市场对保质期和分销链延长的需求, 如何控制发酵乳中霉菌和酵母的污染、保障产品品质, 成为发酵乳安全生产的重点研究内容^[4]。本文从发酵乳中常见霉菌和酵母的种类、污染来源及途径、风险管控等方面进行综述分析, 以期对发酵乳的食品安全研究和污染控制提供重要参考依据, 以确保消费者的食用

*通讯作者: 黄小平, 高级工程师, 研究方向为食品质量安全与风险评估。E-mail: huangxiaoping@yili.com

*Corresponding author: HUANG Xiao-Ping, Senior Engineer, Inner Mongolia Dairy Technology Research Institute Co., Ltd., No. 8, Jinshan Development Zone, Hohhot 010110, China. E-mail: huangxiaoping@yili.com

安全。

2 发酵乳中霉菌酵母种类

2.1 酵母种类

发酵乳在贮存和销售等过程中出现的胀包现象,一般是由于污染了酵母菌,产气而出现“鼓盖”^[5]。发酵乳中酵母菌的种类主要有假丝酵母(*Candida* spp.)、抱圆酵母(*Torulaspora* spp.)、季也蒙酵母(*Meyerozyma* spp.)和棒孢酵母(*Clavispora* spp.)等^[6-9]。相关文献报道^[10]原味酸奶中常分离到克鲁维酵母(*Kluyveromyces* spp.)、假丝酵母(*Candida* spp.)和毕赤酵母(*Pichia* spp.)。Petra等^[11]在胀包的有机发酵乳中分离到季也蒙毕赤酵母(*Meyerozyma guilliermondii*),数量达到 $10^6\sim 10^7$ CFU/g。

此外,添加水果的发酵乳酵母污染问题更为突出。王雯等^[12]对我国江苏地区发酵乳中酵母菌的污染状况进行了分析,风味(果粒)发酵乳的酵母菌污染率(19.15%)明显高于原味发酵乳的酵母菌污染率(1.89%)。Senses等^[13]从添加水果的发酵乳中主要分离到假丝酵母,其中香蕉发酵乳主要为近平滑假丝酵母(*Candida parapsilosis*)和*Candida glucosophila*,草莓发酵乳主要为克柔假丝酵母菌(*Candida krusei*)、郎比可假丝酵母(*Candida lambica*)和乳酒假丝酵母(*Candida kefyr*)。

2.2 霉菌种类

发酵乳在贮存和销售等过程中出现的绿色、黄色或红色霉斑^[14],主要是由于原辅料或生产过程中受到霉菌的污染,通常表现为零星坏包。曲霉属(*Aspergillus* spp.)、根霉属(*Rhizopus* spp.)、青霉属(*Penicillium* spp.)和镰刀霉属(*Fusarium* spp.)等是常见的霉菌污染种类^[15-17],若条件适宜可在短时间内大量生长,其污染程度对于货架期的影响至关重要。赵泰霞等^[18]对从室温放置变质的市售酸奶进行研究,采用平板划线方法,分离纯化得到4株霉菌,其中3株青霉(*Penicillium* spp.)和1株白地霉(*Geotrichum candidum*)。Gougouli等^[19]对发酵乳中12种霉菌的动力生长模型进行研究,其中米根霉(*Rhizopus oryzae*)、卷枝毛霉菌(*Mucor circinelloides*)和黑曲霉(*Aspergillus niger*)是生长最快的菌株。

3 污染来源和途径

3.1 原料带入污染

原料乳作为发酵乳最主要的组成部分,其种类及品质、加工处理方式都对发酵乳有明显影响^[20]。原料乳经过净化、巴氏杀菌足以杀死其中的细菌营养体和常见的霉菌、酵母,但是一些耐热霉菌能够在巴氏杀菌后幸存,如雪白丝衣霉(*Byssoschlamys nivea*)、布雷正青霉菌(*Eupenicillium*

brefeldianum)、篮状菌(*Talaromyces avellaneus*)和费希新萨托菌(*Neosartorya fischeri* var. *spinosa*)^[21]。

发酵乳的污染主要来源于添加的谷物、果酱、巧克力或香料等原料^[22]。尤其是果酱有较高的霉菌、酵母本底,杀菌条件不足以抑制某些微生物形成的耐热孢子,添加到发酵乳中可能造成产品的腐败。如草莓、蓝莓、柠檬和苹果等容易携带耐热霉菌^[23,24],Tranquillini等^[22]研究发现90.9%(80/88)的草莓样品检出耐热霉菌,孢子数在1~250 CFU/100 g,主要为丝衣霉属(*Byssoschlamys* spp.)和新萨托菌属(*Neosartorya* spp.)。Kikoku等^[25]从加拿大产冷冻蓝莓中分离到德福里斯孢属(*Devriesia* spp.)和*Hamigera striata*,其中德福里斯孢属在70、80、85和90℃的D值分别为714、114、44.4和14.1 min;*Hamigera striata*在70、80、85和90℃的D值分别为909、286、42.6和10.3 min。

3.2 生产加工过程及环境污染

加工设备及环境也是发酵乳污染霉菌、酵母的主要原因之一^[26-28]。在湿度较大的发酵乳生产车间,地板、天花板、墙壁和地漏等容易分离到霉菌和酵母。梁雅洁等^[29]对酸奶车间霉菌菌群进行了研究,霉菌的主要污染来自外管道和各个工序之间的交叉污染。Snyder等^[30]对发酵乳中污染的卷枝毛霉菌D值和Z值进行了研究,发现该菌不耐热,巴氏杀菌的条件(72℃,15 s)即可轻易杀死,推测可能是生产加工设备污染了卷枝毛霉菌菌丝,随着产品包装后环境的变化使其转换为类酵母,产生大量CO₂。柴艳兵等^[31]研究了发酵乳生产车间环境中主要存在的酵母菌为热带假丝酵母(*Candida tropicalis*)、阿氏丝孢酵母(*Trichosporon asahii*)、中间假丝酵母(*Candida intermedia*)、葡萄牙棒孢酵母(*Clavispora lusitaniae*)和产脲假丝酵母(*Candida utilis*),胀包产品中污染的酵母菌主要为中间假丝酵母、葡萄牙棒孢酵母、产脲假丝酵母、热带假丝酵母。

4 国内外相关标准

发酵乳作为保质期较短且需冷链储运销售的产品,低水平的霉菌和酵母污染不会引起食品安全问题。如果零售阶段发酵乳非冷藏放置,可因酵母污染产气变味、霉菌生长呈现明显霉斑,目测即可判断为不宜食用,主要危害是产品腐败变质导致经济损失^[32],其引起的食源性事件鲜有报道。我国和美国相关标准中允许存在低水平的霉菌和酵母,GB 19302—2010食品安全国家标准《发酵乳》规定霉菌 ≤ 100 CFU/g(mL),酵母 ≤ 30 CFU/g(mL)^[33];美国农业部非强制性标准中规定霉菌和酵母的限量为 ≤ 50 CFU/g^[34];食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)^[35]、欧盟^[36]和澳新^[37]都未规定发酵乳中霉菌和酵母限量指标。

5 预防控制措施

5.1 原辅料

首先要选择已知可靠的供应商, 以保证原辅料的食品安全, 使其微生物的污染在可控水平。原料乳是发酵乳最关键的配料, 一般选择营养成分较高、微生物初始污染水平低的优质乳进行生产。可通过控制原料乳菌落总数和体细胞数以获得微生物控制较好的原料乳、降低后续杀菌压力, 保证巴氏杀菌后获得理想的巴杀乳进行发酵。

因巴氏杀菌后添加的某些配料, 如浓缩果汁、果酱、坚果、巧克力等造成霉菌和酵母的二次污染问题较为突出。果酱和坚果作为植物性原料, 在田间地头生长时容易受到霉菌的污染, 如果果酱和坚果的工艺条件杀菌不彻底, 极易导致产品的批量污染^[1]。此外, 菌种和内包装也可能成为霉菌和酵母污染的来源, 其卫生质量也应引起足够重视。应与菌种、关键配料和内包装的供应商建立良好的协作关系, 以控制其霉菌和酵母污染水平。

5.2 加工过程和设备

危害分析与关键控制点(hazard analysis critical control point, HACCP)的杀菌环节是有效杀灭主要原辅料霉菌、酵母污染的关键步骤^[38,39], 若杀菌时间或温度不足将造成原辅料中霉菌、酵母的残留, 在随后的发酵阶段快速繁殖, 造成产品腐败变质。研究发现, 在发酵乳生产中板式杀菌机的板式热交换片内部出现沙眼渗漏, 可能造成杀菌后的物料被杀菌前的物料污染; 杀菌后的物料生产设备, 如待装罐、灌装机、物料运送管线等, 如果出现清洗不彻底, 发酵罐内壁出现沙眼、物料管线的易损件(密封垫、单向阀)等未及时更换、气动阀失灵等, 都极有可能产生清洗死角而造成霉菌、酵母残留^[40]。此外, 缩短生产时间(即增加清洗频率)可有效控制原辅料中本底污染的增殖, 提高杀菌效率。

霉菌和酵母污染控制措施的重点应基于良好卫生规范(good hygienic practices, GHP)的实施, 以及生产线的卫生设计和维护、包装材料处理过程中的卫生控制和对暴露产品的适当防护, 避免环境中的霉菌、酵母进入产品。良好的食品生产系统和卫生设计是保障食品安全的先决条件, 欧洲卫生工程设计组织(European Hygienic Engineering & Design Group, EHEDG)制定的“EHEDG 指南文件”^[41], 为食品行业生产、加工、包装过程卫生型(包括无菌)要求的设备、管件设计和控制提供参考。

5.3 加工环境

发酵乳灌装间的湿度较高, 有利于霉菌和酵母的长期存活并定植^[42]。如果不同洁净区的分割不合理、人流物流控制不当、人员和环境卫生清洁措施不及时, 就有可能污染罐装环境、并大量繁殖形成孢子, 通过人流、物流和

空气传播, 最终导致产品污染。空气也是重要的环境因素, 空气中的霉菌酵母可随空气流通直接与发酵乳接触, 因此定期对生产车间进行消毒也是非常重要的。

5.4 冷链运输和销售

如果严格按照产品标签标示的冷藏条件储藏和运输, 低水平的霉菌和酵母含量不会造成产品腐败变质, 也不会对人体健康造成危害。但是由于国内部分地区零售阶段冷链控制设施不足和消费者认知不到位等因素, 即便是出厂时符合相关食品安全国家标准的产品也有可能在零售阶段出现霉菌和酵母的异常^[43]。鉴于加工工艺的限制, 发酵乳不可能做到绝对无菌, 因此保证良好的冷链储运和销售环境、加强对零售人员和消费者的健康宣教尤为重要。

相关研究表明^[44], 发酵乳在 37 °C 贮藏时, 乳酸菌在 4 d 内全部死亡, 杂菌大量增殖, 发酵乳迅速变质; 在 20 °C 贮藏时, 乳酸菌数下降虽然比 37 °C 条件下缓慢, 但贮藏到第 18 d 后杂菌数会超过乳酸菌数导致发酵乳腐败; 在 0~5 °C 贮藏时, 乳酸菌在第 30 d 后其数量仍能保持较高的水平, pH 值和酸度变化也比较平缓。杂菌在 17 d 后才有明显增殖趋势, 并且在 3 周后还未出现酸化现象。因此, 冷链运输和销售是保障发酵乳质量的重要措施。

6 结论与展望

随着发酵乳产品口味的多样化及加工过程的复杂化, 随之而来的霉菌、酵母污染风险不断增加, 对发酵乳产品的风险控制形成了巨大的挑战。不同于细菌的控制, 霉菌可形成孢子, 随空气扩散, 特别是一些耐热霉菌, 杀菌条件不足以将其完全抑制, 最终造成产品污染和腐败。因此, 必须对原辅料、加工过程、生产环境、设备和冷链等进行重点管控, 实时监测、风险评估、主动预警, 以保障消费者的食用安全。

此外, 应充分利用加速货架期测试和微生物挑战实验, 作为评估产品整体卫生水平和腐败发生率的监测工具^[45]。为缩短传统货架期测试的时间, 通过建立数学模型预测发酵乳在货架期内霉菌、酵母的污染情况和潜在风险, 以更有说服力的科学研究和数据信息支持发酵乳储藏、运输、配送、销售等环节的质量控制已经成为新的研究趋势^[46-49]。

参考文献

- [1] International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). Microorganisms in foods 6: Microbial ecology of food commodities (1st ed.) [M]. New York: Springer, 2005.
- [2] Beletsiotis E, Ghikas D, Kalantzi K. Incorporation of microbiological and molecular methods in HACCP monitoring scheme of molds and yeasts in a Greek dairy plant: A case study [J]. *Procedia Food Sci*, 2011, (1): 1051-1059.

- [3] Fuquay JW, Fox PF, McSweeney PLH. Encyclopedia of dairy sciences [M]. London: Academic Press, Elsevier Ltd, 2011.
- [4] 艾连中. 发酵乳制品质量安全问题及控制技术[J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(1): 16–20.
Ai LZ. Quality and safety issues and control technique of fermented milk [J]. J Food Sci Technol, 2016, 34(1): 16–20.
- [5] 张雪, 赵玉娟, 张莉, 等. 胀包酸奶有害酵母菌的分离鉴定[J]. 中国乳品工业, 2014, 42(1): 27–30.
Zhang X, Zhao YJ, Zhang L, *et al.* Isolation and identification of harmful yeasts from bulging package yogurt [J]. China Dair Ind, 2014, 42(1): 27–30.
- [6] Buehler AJ, Evanowski RL, Martin NH, *et al.* Internal transcribed spacer (ITS) sequencing reveals considerable fungal diversity in dairy products [J]. J Dairy Sci, 2017, 100(11): 8814–8825.
- [7] Garnier L, Valencebert F, Pawtowski A, *et al.* Diversity of spoilage fungi associated with various French dairy products [J]. Int J Food Microbiol, 2017, (241): 191–197.
- [8] Deak T. Handbook of food spoilage yeasts, second edition [J]. Crc Press, 2007.
- [9] Hernández A, Pérez-Nevado F, Ruiz-Moyano S, *et al.* Spoilage yeasts: What are the sources of contamination of foods and beverages? [J]. Int J Food Microbiol, 2018, (286): 98–110.
- [10] Buzzini P, Margesin R. Cold-adapted yeasts [M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- [11] Petra W, Rivas EM, Elena DP, *et al.* Assessment of the factors contributing to the growth or spoilage of *Meyerozyma guilliermondii* in organic yogurt: comparison of methods for strain differentiation [J]. Microorganisms, 2015, 3(3): 428–440.
- [12] 王雯, 陈晓蔚, 张蕾. 江苏地区酸奶中酵母菌的污染状况及货架期内污染状态变化分析[J]. 检验检疫学刊, 2013, (3): 35–37.
Wang W, Chen XW, Zhang L. Yeasts in the spoilage yogurts in jiangsu province and the spoilage status during the shelf-life [J]. J Inspect Quar, 2013, (3): 35–37.
- [13] Senses-Ergul S, Karasu-Yalcin S, Ozbas ZY. Molecular identification of some yeast strains isolated from various sugary foods [J]. Annal Microbiol, 2012, 62(4): 1501–1516.
- [14] Lemos JG, Garcia MV, De-Oliveira MR, *et al.* Consumers complaints about moldy foods in a Brazilian website [J]. Food Control, 2018, (92): 380–385.
- [15] Sulaiman I, Jacobs E, Simpson S, *et al.* Molecular identification of isolated fungi from unopened containers of greek yogurt by DNA sequencing of internal transcribed spacer region [J]. Pathogens, 2014, 3(3): 499–509.
- [16] Büchl NR, Seiler H. Yeasts and molds: Yeasts in milk and dairy products [J]. Encycloped Dair Sci, 2011, (1): 744–753.
- [17] Gougouli M, Koutsoumanis KP. Risk assessment of fungal spoilage: A case study of, *Aspergillus niger* on yogurt [J]. Food Microbiol, 2017, 65(Complete): 264–273.
- [18] 赵泰霞, 孟祥晨, 张巧云. 酸奶中污染酵母菌和霉菌的分离及鉴定[J]. 食品工业科技, 2012, 33(2): 189–192.
Zhang TX, Meng XC, Zhang QY. The isolation and identification of yeast and molds from the spoilage yogurts [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(2): 189–192.
- [19] Gougouli M, Kalantzi K, Beletsiotis E, *et al.* Development and application of predictive models for fungal growth as tools to improve quality control in yogurt production [J]. Food Microbiol, 2011, 28(8): 1453–1462.
- [20] 罗璠, 杨丽雪, 魏婕, 等. 不同原料乳对发酵酸奶品质的影响[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2018, 44(1): 14–18.
Luo F, Yang LX, Wei J, *et al.* Effect of different raw milks on the quality of fermented yogurt [J]. J Southwest Minzu Univ (Nat Sci Ed), 2018, 44(1): 14–18.
- [21] Sperber WH, Doyle MP. Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages [M]. New York: Springer, 2009.
- [22] Tranquillini R, Scaramuzza N, Berni E. Occurrence and ecological distribution of heat resistant moulds spores (HRMS) in raw materials used by food industry and thermal characterization of two *Talaromyces* isolates [J]. Int J Food Microbiol, 2016, (242): 116–123.
- [23] Dos SJLP, Simbarashe S, Ayse B, *et al.* Occurrence, distribution and contamination levels of heat-resistant moulds throughout the processing of pasteurized high-acid fruit products [J]. Int J Food Microbiol, 2018, (281): 72–81.
- [24] Rico-Munoz E. Heat resistant molds in foods and beverages: Recent advances on assessment and prevention [J]. Curr Opin Food Sci, 2017, (17): 75–83.
- [25] Kikoku Y, Tagashira N, Nakano H. Heat resistance of fungi isolated from frozen blueberries [J]. J Food Protect, 2008, 71(10): 2030–2035.
- [26] Ndagijimana MC, Chaves L, Corsetti A, *et al.* Growth and metabolites production by *Penicillium brevicompactum* in yoghurt [J]. Int J Food Microbiol, 2008, 127(3): 276–283.
- [27] Beletsiotis E, Ghikas D, Kalantzi K. Incorporation of microbiological and molecular methods in HACCP monitoring scheme of molds and yeasts in a Greek dairy plant: A case study [J]. Proceed Food Sci, 2011, (1): 1051–1059.
- [28] Moubasher AAH, Abdel-Sater MA, Soliman ZSM. Yeasts and filamentous fungi associated with some dairy products in Egypt [J]. J Mycologie Médicale, 2018, 28(1): 76–86.
- [29] 梁雅洁. 酸奶车间中霉菌分布与溯源分析的研究[C]. 中国食品科学技术学会, 2014.
Liang YJ. Research on mould traceability system of yoghurt production [C]. Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014.
- [30] Snyder AB, Churey JJ, Worobo RW. Characterization and control of *Mucor circinelloides* spoilage in yogurt [J]. Int J Food Microb, 2016, (228): 14–21.
- [31] 柴艳兵, 李兴佳, 张耀广, 等. 酸奶生产中酵母菌分布及产品污染研究[J]. 中国乳品工业, 2018, 46(5): 61–64.
Chai YB, Li XJ, Zhang YG, *et al.* Yeast distribution in yogurt producing process and spoilage products [J]. Dair Ind, 2018, 46(5): 61–64.
- [32] Rico-Munoz E, Samson RA, Houbbraken J. Mould spoilage of foods and beverages: Using the right methodology [J]. Food Microbiol, 2018, (1): 1–12.
- [33] GB 19302-2010 食品安全国家标准 发酵乳[S].
GB 19302-2010 National food safety standard-Fermented milk [S].
- [34] USDA Specifications for yogurt, nonfat yogurt and lowfat yogurt [S].
- [35] CAC Standard for fermented milks CXS 243-2003 [S].
- [36] EU European Commission Regulation (EC) No 1441/2007 of 5 December 2007 amending Regulation (EC) No 2073/2005 on microbiological criteria

- for foodstuffs [S].
- [37] FSANZ Compendium of microbiological criteria for food [S].
- [38] Tamime AY, Robinson RK. Tamime and robinson's yoghurt (third edition) [M]. London: Woodhead Publishing, 2007.
- [39] 刘秀梅. 希腊式酸奶加工中 HACCP 体系的建立[J]. 中国乳业, 2014, (7): 59–61.
Liu XM. The establishment of HACCP in Greek yogurt processing [J]. Chin Dairy, 2014, (7): 59–61.
- [40] 张玉香, 滕球, 王琳林, 等. 对夏季酸乳胀包变质的因素分析及控制措施的研究[J]. 中国乳业, 2017, (8): 82–89.
Zhang YX, Teng Y, Wang LL, *et al.* Research on analysis and control measures of yoghurt bulging and metamorphic in summer [J]. China Dairy, 2017, (8): 82–89.
- [41] EHEDG. EHEDG Guideline [DB/OL]. [2019-1-28]. <https://www.ehedg.org/guidelines/>.
- [42] Pitt JI, Hocking AD. Fungi and food spoilage (third edition) [M]. New York: Springer, 2009.
- [43] 张玉香. 冷藏乳制品冷链物流 HACCP 体系的研究[J]. 中国乳业, 2016, (11): 53–59.
Zhang YX. Research on HACCP system of cold chain logistics for cold storage dairy products [J]. China Dairy, 2016, (11): 53–59.
- [44] 白凤翎. 凝固型酸奶在贮藏过程中的微生物菌相演变研究[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(4): 8–10.
Bai FL. Study on the micro-flora of yoghurt in the storage process [J]. Food Res Dev, 2005, 26(4): 8–10.
- [45] Maurice O. Handbook for sensory and consumer-driven new product develop [M]. London: Woodhead Publishing, 2017.
- [46] Mataragas M, Dimitriou V, Skandamis PN, *et al.* Quantifying the spoilage and shelf-life of yoghurt with fruits [J]. Food Microbiol, 2011, 28(3): 611–616.
- [47] Buehler AJ, Martin NH, Boor KJ, *et al.* Evaluation of biopreservatives in Greek yogurt to inhibit yeast and mold spoilage and development of a yogurt spoilage predictive model [J]. J Dairy Sci, 2018, 101(12): 10759–10774.
- [48] Kilcast D, Subramaniam P. Food and beverage stability and shelf life [M]. London: Woodhead Publishing, 2011.
- [49] Membré JM, Valdramidis V. Modeling in food microbiology [M]. Oxford: Elsevier, 2016.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



张 祁, 研究专员, 主要研究方向为食品微生物风险评估。
E-mail: lyzhangqi1@yili.com



黄小平, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全与风险评估。
E-mail: huangxiaoping@yili.com