

流化冰结合臭氧在水产品保鲜中的应用

Application of slurry ice combined with ozone in preservation of aquatic products

刘 锋^{1,2,3,4} 谢 晶^{1,2,3,4}

LIU Feng^{1,2,3,4} XIE Jing^{1,2,3,4}

(1. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306; 2. 上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台, 上海 201306; 3. 食品科学与工程国家级实验教学示范中心〔上海海洋大学〕, 上海 201306; 4. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

(1. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation, Shanghai 201306, China; 3. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering [Shanghai Ocean University], Shanghai 201306, China; 4. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要:文章主要介绍近年来国内外流化冰应用于水产品保鲜的研究现状,并提出将臭氧与流化冰相结合,利用臭氧的杀菌抑菌作用,减缓渔获物的腐败过程,延缓产品货架期,进而对流化冰结合臭氧应用于水产品保鲜的前景和发展方向进行了展望。

关键词:流化冰;臭氧;水产品;保鲜

Abstract: Ice slurry is used for the preservation of aquatic products with high cooling efficiency and good preservation effect, which could utilize the seawater directly. In recent years, the study of ice slurry has become a hot spot. In this review, the research situation of ice slurry for the preservation of aquatic products in recent years at home and abroad were introduced. The combination of ozone and ice slurry was given to use the bactericidal and bacteriostatic effect of ozone to slow down the process of corruption of catches and extend the shelf life of products. Moreover, the future and development of the combination of ozone and ice slurry for the preservation of aquatic products were also prospected.

Keywords: slurry ice; ozone; aquatic products; preservation

水产品富含水分,具有组织脆弱松软、不饱和脂肪酸含量高等特性,在贮藏、运输和销售期间易发生腐败变质^[1],必须重视和加强对水产品的保鲜。

目前,水产品保鲜方式包括低温保鲜、气调保鲜、生物保鲜、化学保鲜等,而冰保鲜是水产品保鲜中的常用方法之一^[2]。流化冰以海水为原料制取,其载冷能力是冷冻水的1.8~4.3倍^[3],与传统冰相比,流化冰冰晶粒子细小圆滑、柔顺易流动,可填充到任何孔隙,与产品紧密接触,能迅速降低水产品体温,有效地抑制产品氧化和细菌繁殖,从而延长货架期^[4]。流化冰保鲜方法在美欧国家已被成功使用,中国研究还处于初步阶段^[5]。本文回顾近年来国内外流化冰、臭氧技术应用于水产品保鲜的研究进展,并探讨流化冰结合臭氧对水产品的保鲜效果,以期找到一种成本低、效果佳的保鲜方式,延长水产品货架期,降低流通过程中的损耗,获得更高的经济效益。

1 流化冰保鲜技术

1.1 流化冰的制备

制冰的方法可分为静态制冰与动态制冰两种。流化冰制冰过程一般为动态制冰过程,利用盐溶液的物化特性,将盐水等水溶液降温至低于0℃的一定温度,此时冰从溶液中以细小冰晶的形式结晶出来,悬浮在水溶液表面,形成了具有流动性的细小颗粒流化冰,这与传统上将水冷却至冰点以下使其相变而结晶的静态制冰方式不同^[6]。

1.2 流化冰的特点

流化冰是一种双相体系,由分散在海水中的微观和球形

基金项目:现代农业产业技术体系建设专硕(编号:CARS-47);2016年上海市科技兴农重点攻关项目[编号:沪农科攻字(2016)第1-1号];上海市科委平台能力建设项目(编号:16DZ2280300);上海市科委公共服务平台建设项目(编号:17DZ2293400)

作者简介:刘锋,男,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:谢晶(1968—),女,上海海洋大学教授,博士。

E-mail: jxie@shou.edu.cn

收稿日期:2018-01-06

冰晶组成,冰晶粒子柔顺圆滑,直径为0.2~0.8 mm。流化冰具有以下特点^[7-10]:① 流化冰由数量众多的冰粒子组成,具有较大的表面积,提高了热交换能力,使水产品快速冷却,此外流化冰可进入水产品之间的狭小缝隙,实现均匀冷却;② 流化冰生成设备可直接利用海水制取,无需额外配置专用的制冰设施,减少了设备投入,节约了成本;③ 流化冰冰晶粒子呈球形几何状,没有棱角,对贮藏期间水产品的物理损伤小;④ 流化冰作为一种可以流动的冰,具备冰的高冷含量和液体的流动性,可经由泵通过管道输送,减少了冷量的损失。

1.3 流化冰在水产品保鲜中的应用

目前,流化冰技术已成功应用在水产品加工、贮藏、运输以及销售等环节,可以较好地保持水产品的鲜度、风味和营养。采用流化冰保鲜水产品,不仅可以使水产品快速冷却,还能有效隔绝空气、防止氧化,抑制细菌繁殖,从而延长水产品的货架期。Zakhariya等^[11]研究了流化冰贮藏对尖吻鲈微生物和理化性质的影响,分析结果得出,与贮藏成片冰中的相比,尖吻鲈在流化冰中的感官和生化品质得到了更好的保持,菌落总数、总需氧量、厌氧菌和大肠菌群数较低,pH值和TVB-N以及TMA-N含量较低,核苷酸降解速率减慢,从而使质量得到更好的保持,延长了货架期。Bin等^[12]对流化冰冷藏金枪鱼进行了研究,并用传统片冰作对比,结果表明:流化冰贮藏显著抑制了鱼肉中的微生物生长和肌原纤维蛋白降解,感官分析也清楚地显示冷藏在流化冰中金枪鱼的外观和风味都得到了更好的保持。Murthy等^[13]做了用流化冰保藏鱿鱼的试验,与传统片冰作对比,分析结果可得:使用流化冰贮藏鱿鱼减少了含氮物质的形成,延缓了pH值的升高,其TVB-N值、游离脂肪酸含量、硫代巴比妥酸指数相比于传统片冰都显著降低,并具有更好的抑制脂质水解和氧化的作用。高萌等^[14]把鲮鱼作为研究对象,以空白和传统碎冰处理作对照,研究流化冰处理对鲮鱼的微生物特性及理化性质的影响,结果表明:在-4℃冷藏18 d后,与传统碎冰相比,流化冰保鲜使鱼肉的pH值、TBA、TVB-N和菌落总数等指标都显著低于空白和传统碎冰处理组,可见流化冰保鲜可有效减缓鱼体的腐败进程,更好地保持其感官品质和鲜度,延长货架期。王强等^[15]用流化冰贮藏生鲜南美白对虾,以空白和碎冰保鲜作对照,结果表明:在0~16 d冷藏期内,流化冰组虾的感官品质、肌肉质构特性保持最佳,并且相比于空白和传统碎冰保鲜组,流化冰处理的虾pH值、TBA、TVB-N含量均显著降低,延长了产品的货架期。

综上所述,流化冰技术在冷藏保鲜方面具有独特优势,可显著减缓鱼体的腐败进程,延长产品货架期。随着流化冰制冰技术的逐步完善以及对其特性研究的逐步深入,流化冰应用领域正在不断拓展。另外,相比于化学保鲜剂会产生残留和生物保鲜剂的昂贵,流化冰作为新型的绿色保鲜介质,对中国贯彻节能减排方针、走可持续发展道路有着重大意义^[16]。

2 臭氧保鲜技术

臭氧是一种广谱、高效、快速的杀菌剂^[17]。臭氧消毒后直接分解为氧气,具有低残留、环境友好型的特点,被广泛应

用于果蔬、肉类、乳制品和谷类等食品的防腐保鲜^[18-20]。近年来,臭氧在食品行业中的应用日益广泛,特别是关于臭氧在水产品贮藏保鲜及其加工中的应用研究不断增加^[21]。

2.1 臭氧在农产品保鲜中的应用

近年来,臭氧由于其杀菌广谱、杀菌彻底、无残留等优点,已经成功运用于果蔬保鲜、粮食贮藏保鲜等领域。王肽等^[22]用臭氧水处理鲜切茄子,10℃条件下贮藏,结果表明:臭氧水可有效降低茄子的多酚氧化酶活性,降低其呼吸强度,大量消灭其表面微生物,从而延长了鲜切茄子的保质期。罗丹等^[23]用浓度为2.07,6.20,10.34 mg/m³的臭氧处理番茄,结果发现通入浓度为10.34 mg/m³臭氧气体的番茄贮藏效果最好,有效降低了番茄的呼吸强度,并对其果实香气有抑制作用,从而显著提高了番茄的贮藏保鲜效果。白友强等^[24]用臭氧在低温环境下处理甜瓜,结果表明臭氧处理可有效抑制Vc含量的下降,降低呼吸速率和腐烂指数,延长了低温贮藏时间。另外,利用臭氧熏蒸杀灭害虫可延长粮食的保质期。

2.2 臭氧在水产品保鲜中的应用

臭氧的抑菌或灭菌作用,通常是物理、化学及生物学等方面的综合结果^[25]。相比于常规灭菌方式,臭氧杀菌很好地保存了食品原有的质地、风味和营养成分,并且臭氧杀菌后直接分解为氧气,不残留任何有害物质,是一种环境友好型技术。近年来,关于臭氧用于鲜活水产品保鲜的研究越来越多。Crowe等^[26]采用臭氧喷雾处理大西洋鲑鱼片并在4℃条件下贮藏,发现鱼片中的单增李斯特菌数量显著降低,而鱼肉的脂质氧化水平未见显著提高,从而延长了货架期。Zhao等^[27]评估了臭氧水处理对罗非鱼品质的影响,将罗非鱼用4.5 mg/L的臭氧水灭菌30 min,于-18℃保存180 d,以未处理的鱼片作对照,通过比较得出:经臭氧水处理的鱼片与对照组相比,丙二醛含量、K值和菌落总数在贮藏期间都显著低于对照组,并且感官品质得到改善。陈丽娇等^[28]研究了气调包装结合臭氧处理鲟鱼片的保鲜效果,以未经过臭氧预处理的作为对照,得出臭氧预处理能够有效减缓TVB-N值升高和细菌总数增加,更好地保持了鱼的感官品质,与对照组相比,贮藏货架期从28 d延长到32 d。袁勇军等^[29]以黄鱼为研究对象,评价了臭氧处理和低温贮藏黄鱼的保鲜效果,得出浓度为4.68 mg/L的臭氧水浸泡处理黄鱼15 min后的杀菌效果最好,可有效延缓TVB-N值升高,结合感官指标,黄鱼货架期从4 d延长到8 d。刁石强等^[30]测定了鳗在臭氧水处理后冰温条件下贮藏的保鲜效果,试验表明:采用浓度为2~3 mg/L的臭氧水处理鲜鳗,能够有效减缓其脂肪氧化和抑制细菌繁殖,保鲜4 d后仍能达到海水鱼国家二级鲜度标准,并且其TBA、TVB-N值和感官品质都明显优于对照组,延长了产品的货架期。

综上所述,臭氧作为一种安全有效的抗菌剂应用于水产品保鲜,可有效地保持产品的鲜度、风味和营养,延长产品的货架期。与其他消毒剂相比,臭氧处理样品的时间较短、浓度较低,但如果使用不当,臭氧同样会造成水产品的品质下降,如臭氧使用浓度过高会带来对水生生物有毒害作用的副

产物,甚至产生致死作用^[31-32]。因此,优化臭氧在水产品保鲜上的工艺就成为臭氧成功应用的关键。随着研究的进一步深入,臭氧在水产品保鲜中的应用将会更安全、更有效。

3 臭氧流化冰在水产品保鲜中的应用

臭氧流化冰保鲜是利用高浓度臭氧水制取流化冰来保鲜渔获物,既能起到冷却作用,又能利用冰融化释放出的臭氧的强力杀菌作用杀减微生物,具有双重保鲜功效^[33]。Campos 等^[34]评价了臭氧流化冰贮藏沙丁鱼的保鲜效果,以传统片冰和流化冰贮藏作对照,根据感官分析得出,贮藏在片冰和流化冰中沙丁鱼的货架期分别为 8,15 d,而贮藏在臭氧流化冰中的货架期则为 19 d,其嗜冷菌、厌氧菌、大肠菌群数量相比于片冰和流化冰都显著降低。另外,流化冰结合臭氧有效控制了 pH 变化和 TMA-N 的形成。陈伟等^[35]研究了臭氧流化冰对南美白对虾的保鲜效果,分别用浓度为 3,5,10 mg/L 的臭氧流化冰处理南美白对虾,0℃下贮藏,结果表明臭氧流化冰能有效抑制蛋白质的分解、TVB-N 的产生以及明显抑制虾的 pH 值回升,从而控制南美白对虾的黑变;经过 10 mg/L 臭氧流化冰处理过的南美白对虾,其货架期从 4 d 延长到 10 d。黄玉婷等^[36]用臭氧流化冰处理梅鱼,结果表明臭氧流化冰处理的梅鱼 pH 值、TBA 值和过氧化值都处于较低水平,感官品质保持最佳,相比于用流化冰和碎冰处理的梅鱼,延长了货架期。

目前,国内外对于臭氧流化冰技术应用于水产品保鲜的报道还不多,大多是单一使用流化冰或者臭氧对水产品保鲜。而臭氧流化冰用于水产品的保鲜,除了保持臭氧原有的功效和性能外,其最大优点就是杀菌能力强、保鲜效果好、适用范围广。随着对该领域研究的进一步深入,臭氧流化冰将成为水产品保鲜的一种重要方法^[35]。

4 总结与展望

近年来,流化冰作为一种快速冷却水产品的新技术,已经受到了广泛的关注^[37-38]。目前,国外对流化冰保鲜技术的研究比较多,包括虎斑鱼^[39]、马鲛鱼^[40]、三文鱼^[41]等,中国在此领域的研究尚处于起步阶段。但是,基于流化冰自身快速、高效、环保的特性以及流化冰结合臭氧具有的双重保鲜作用,臭氧流化冰应用于水产品保鲜将成为一种必然趋势,这样也能更好地满足人们对优质和安全水产品保鲜技术的需求。

然而,制取流化冰的温度、盐度以及成冰后的含冰量等都会影响水产品的冷却与保鲜效果,利用动态法制取的流化冰在流动性、颗粒大小和稳定性等方面也存在差异,实际应用时需根据产品的需求来选择不同的流化冰等,这些都是今后推广流化冰应用时需要解决的关键技术。因此,今后对流化冰的特性以及制冰技术还需进一步研究。另一方面,如何有效控制臭氧在流化冰中的浓度及缓释速度,也决定了臭氧流化冰的使用效果,有效地优化臭氧在水产品加工中的应用工艺也是该领域的研究课题。随着研究的逐步深入,流化冰及臭氧流化冰用于水产品保鲜的前景会更加广阔。

参考文献

[1] 胡金鑫,李军生,徐静,等. 水产品鲜度表征与评价方法的研究

进展[J]. 食品工业, 2014(3): 225-228.

[2] 谢品. 食品冷冻冷藏原理与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 279-285.

[3] 林雪. 鲈鱼流化冰保鲜技术研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2014: 5-6.

[4] KAUFFELD M, WANG M J, GOLDSTEIN V, et al. Ice slurry applications[J]. *Revue Internationale Du Froid*, 2010, 33(8): 1 491.

[5] 袁鹏翔,邓尚贵,张宾,等. 静态流化冰对鲈鱼保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(8): 242-247.

[6] 刘圣春,王飞波,孙志利. 流化冰技术及其在食品保鲜等领域的应用[C]// 中国制冷学会 2009 年学术年会论文集. 天津: [出版地不详], 2009: 10.

[7] 高萌,张宾,王强,等. 流化冰保鲜对鲈鱼蛋白质功能特性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 304-309.

[8] SAMPELS S. The effects of storage and preservation technologies on the quality of fish products: a review[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2014, 39(6): 1 206-1 215.

[9] LIN Hui-min, DENG Shang-gui, HUANG Sai-bo, et al. Effects of precooling with slurry ice on the quality and microstructure of anglerfish (*Lophius americanus*) liver [J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2016, 39(1): 3-10.

[10] PINEIRO C, BARROSVELAZQUEZ J, AUBOURG S P. Effects of newer slurry ice systems on the quality of aquatic food products: a comparative review versus flake-ice chilling methods[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2004, 15(12): 575-582.

[11] ZAKHARIYA S Y, FOTEDAR R, PRANGNELL D. Effects of refreezing on microbiological and physiochemical properties of barramundi (*Lates calcarifer*, Bloch) fillets[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2013, 39(6): 2 183-2 191.

[12] ZHANG Bin, DENG Shang-gui, GAO Meng, et al. Effect of slurry ice on the functional properties of proteins related to quality loss during skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) chilled storage[J]. *Journal of Food Science*, 2015, 80(4): 695-702.

[13] MURTHY L N, PHADKE G G, JEYAKUMARI A, et al. Biochemical, Textural and Microbiological Quality of Squid Stored Under Conventional and Slurry Ice During Onboard Fishing[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences India*, 2017(7): 1-7.

[14] 高萌,张宾,邓尚贵,等. 流化冰对于鲈鱼的保鲜效果研究[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(5): 1 023-1 029.

[15] 王强,张宾,马路凯,等. 流化冰保鲜对冰鲜南美白对虾品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014(10): 134-140.

[16] 张皖君,蓝蔚青,肖蕾,等. 流化冰在水产品保鲜中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 214-218.

[17] 袁勇军,陈伟,蒋海霞. 臭氧水处理与低温保藏对花蛤保鲜效果研究[J]. 食品科技, 2010(6): 70-73.

[18] 朱庆庆,孙金才,倪穗. 臭氧在果蔬保鲜及降解农药方面的研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2017, 36(1): 54-57.

[19] PANDISELVAM R, SUNOJ S, MANIKANTAN M R, et al. Application and kinetics of ozone in food preservation[J]. *Ozone Science & Engineering*, 2017, 39(2): 115-126.

[20] 姜雪,于鹏. 臭氧在食品行业中的发展和应用[J]. 食品科技,

- 2014(4): 110-113.
- [21] 方敏, 沈月新. 臭氧及其在水产品保鲜中的应用[J]. 水产科学, 2003, 22(4): 35-37.
- [22] 王肽, 谢晶. 臭氧水处理对鲜切茄子保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(15): 324-328.
- [23] 罗丹, 梁芸志, 陈存坤, 等. 臭氧处理对番茄果实贮藏品质和芳香物质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(7): 2 749-2 755.
- [24] 白友强, 廖亮, 许建, 等. 不同臭氧处理对甜瓜采后生理影响[J]. 食品工业科技, 2017(23): 257-260.
- [25] 闫师杰, 梁丽雅, 宋振梅, 等. 臭氧水对鲢鱼肉保鲜效果的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 465-468.
- [26] CROWE K M, SKONBERG D, BUSHWAY A, et al. Application of ozone sprays as a strategy to improve the microbial safety and quality of salmon fillets[J]. Food Control, 2012, 25(2): 464-468.
- [27] ZHAO Yong-qiang, YANG Xian-qing, LI Lai-hao, et al. Chemical, microbiological, color and textural changes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets sterilized by ozonated water pretreatment during frozen storage[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2016, 41(1): 45-48.
- [28] 陈丽娇, 刘杨, 程艳, 等. 气调包装结合臭氧预处理保鲜鲟鱼片[J]. 渔业研究, 2012, 34(1): 26-30.
- [29] 袁勇军, 方圆, 陈伟, 等. 臭氧处理和低温保藏对黄鱼保鲜效果[J]. 核农学报, 2010, 24(5): 987-990.
- [30] 刁石强, 李来好, 岑剑伟, 等. 冰温臭氧水对鲢保鲜效果的研究[J]. 南方水产科学, 2011, 7(3): 8-13.
- [31] 梁传辉, 薛淑霞, 王德兴. 臭氧在渔业中的应用研究进展[J]. 天津水产, 2008(2): 8-9.
- [32] 赵永强, 李来好, 杨贤庆, 等. 臭氧在水产品加工中应用综述[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 149-154.
- [33] 黎柳, 谢晶. 水产品冰鲜技术的研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 259-262.
- [34] CAMPOS C A, ÓSCAR RODRÍGUEZ, LOSADA V, et al. Effects of storage in ozonised slurry ice on the sensory and microbial quality of sardine (*Sardina pilchardus*) [J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 103(2): 121-30.
- [35] 陈伟, 任彦娇, 曹少谦, 等. 臭氧流冰对南美白对虾保鲜效果的研究[J]. 浙江万里学院学报, 2012, 25(3): 84-88.
- [36] 黄玉婷. 臭氧-流化冰对梅鱼保鲜效果的研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2014: 24-37.
- [37] KEYS D R, LOWDER A C, DEWITT C A M. Conditions for the effective chilling of fish using nano-sized ice slurry[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2017(2): e13 564.
- [38] ASAKA T, TAJIMA A, KUMANO H. Experimental investigation on inhomogeneity of ice packing factor in ice slurry flow[J]. International Journal of Refrigeration, 2016, 70: 33-41.
- [39] KARIM NU, NASIR N, ARIFIN B, et al. Effect of salt and ozonized-slurry ice on the quality indices of tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) [J]. Journal of Sustainability Science and Management, 2015, 10(2): 97-102.
- [40] AGUSTINELLI S P, YEANNES M I. Effect of frozen storage on biochemical changes and fatty acid composition of mackerel (*Scomber japonicus*) muscle[J]. Journal of Food Research, 2014, 4(1): 135.
- [41] CALANCHE J, SAMAYOA S, ALONSO V, et al. Assessing the effectiveness of a cold chain for fresh fish salmon (*Salmo salar*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in a food processing plant[J]. Food Control, 2013, 33(1): 126-135.
- (上接第90页)
- [13] 曲佳欢, 马骥, 孙大文, 等. 高光谱成像在食品质量评估方面的研究进展与应用: 一[J]. 肉类研究, 2012, 26(4): 40-45.
- [14] WU Di, SUN Da-wen. Advanced applications of hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis and assessment: a review-part II: applications[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 19: 15-28.
- [15] WU Di, SUN Da-wen. Advanced applications of hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis and assessment: a review-part I: fundamentals[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 19: 1-14.
- [16] 张初, 刘飞, 孔汶汶, 等. 利用近红外高光谱图像技术快速鉴别西瓜种子品种[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 270-277.
- [17] 董高, 郭建, 王成, 等. 基于近红外高光谱成像及信息融合的小麦品种分类研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(12): 3 369-3 374.
- [18] XIE Chuan-qi, LI Xiao-li, SHAO Yong-ni, et al. Color measurement of tea leaves at different drying periods using hyperspectral imaging technique[J]. Plos One, 2014, 9(12): 1-15.
- [19] 蔡建荣, 韩智义. 碧螺春茶叶的真伪鉴别-基于漫反射式高光谱成像技术[J]. 农机化研究, 2014, 35(22): 159-163.
- [20] XIONG Zhen-jie, SUN Da-wen, PU Hong-bin, et al. Non-destructive prediction of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value for freshness evaluation of chicken meat using hyperspectral imaging [J]. Food Chemistry, 2016, 179: 175-181.
- [21] DONG Jin-lei, GUO Wen-chuan. Nondestructive determination of apple internal qualities using near-infrared hyperspectral reflectance imaging[J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(10): 2 635-2 646.
- [22] GUO Wen-chuan, ZHAO Fan, DONG Jin-lei. Nondestructive measurement of soluble solids content of kiwifruits using near-infrared hyperspectral imaging[J]. Food Analytical Methods, 2016, 9(1): 38-47.
- [23] 蔡健荣, 王建黑, 陈全胜, 等. 波段比算法结合高光谱图像技术检测柑橘果锈[J]. 农业工程学报, 2009, 29(1): 127-131.
- [24] 张浩, 胡昊, 陈义, 等. 水稻叶片氮素及籽粒蛋白质含量的高光谱估测模型[J]. 核农学报, 2012, 26(1): 135-140.
- [25] 许思, 赵光武, 邓飞, 等. 基于高光谱的水稻种子活力无损分级检测[J]. 种子, 2016, 35(4): 34-40.
- [26] 许思. 种子高光谱图像分割与特征光谱提取研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015: 8-20.
- [27] 邓建猛, 王红军, 黎邹邹, 等. 基于高光谱技术的马铃薯外部品质检测[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 122-125.