

氧化淀粉的研究进展及其在食品领域的应用

刘 宁, 温沐潮, 张铁鹏, 冯田田, 赵 凯

(哈尔滨商业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150076)

摘要:介绍了氧化淀粉在近年来的研究现状, 分别阐述了以双氧水、次氯酸钠以及高锰酸钾作为氧化剂制备氧化淀粉的研究工艺, 指出淀粉在选择不同氧化剂进行氧化反应所具备的优缺点, 为今后试验中制备氧化淀粉过程中氧化剂的选择提供一定的理论依据; 同时综述了氧化淀粉在食品包装、食品加工以及食品保藏中的诸多应用, 最后对氧化淀粉在食品工业领域的发展前景进行了展望。

关键词:氧化淀粉; 食品; 氧化剂; 应用; 发展前景

Research Progress of Oxidized Starch and Its Application in Food Field

LIU Ning, WEN Mu-chao, ZHANG Tie-peng, FENG Tian-tian, ZHAO Kai

(School of Food, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

Abstract: The recent research status of oxidized starch was introduced, and three types of oxidants of preparing oxidized starch were described, including hydrogen peroxide solution, sodium hypochlorite and potassium permanganate, respectively. This article pointed out the advantages and disadvantages when choosing different starch oxidants during oxidation reactions, and provided certain theoretical evidence for the selection of oxidant for future experiments of preparing oxidized starch. Meanwhile, the applications of oxidized starch in food packaging, food processing and food preservation were reviewed, and the development prospect of oxidized starch in food industry was envisioned.

Key words: oxidized starch; food; oxidant; application; development prospect

中图分类号: TS235

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6221.2021.05.021

淀粉是一种可再生、可生物降解的碳水化合物, 主要存在于植物中, 通过光合作用形成^[1]。自然界中植物种类繁多, 淀粉来源广泛, 价格低廉。但由于淀粉溶水性差、抗剪切性差等性质导致其在某些领域的应用受到一定限制。羟基是淀粉分子中十分重要的结构, 它为淀粉提供活性基团, 使其可以通过氧化反应、酯化反应、醚化反应等改性技术改善淀粉的性能^[2-4]。

淀粉通过在酸性、碱性以及中性溶液中与氧化剂反应, 使淀粉发生氧化, 从而得到一种变性淀粉——氧化淀粉^[5]。氧化作为淀粉改性的一种重要方法, 主要

发生在淀粉分子中 α -1,4、 α -1,6 糖苷键和羟基上, 其能被氧化剂氧化成为羰基、醛基或羧基, 破坏淀粉分子中部分糖苷键, 使分子发生一定的降解, 从而提高淀粉白度, 降低糊化温度及糊化黏度, 使其透明度增加、黏结力增高, 形成良好的成膜性。

1 氧化淀粉研究进展

1.1 常用淀粉氧化剂分类

淀粉的氧化是一种改性过程, 可以通过多种方法实现。无论是从物理角度、化学角度或者是微生物角

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(LH2020C062); 哈尔滨商业大学本科教学领军人才培养计划项目(201905)

作者简介: 刘 宁(1978—), 女, 汉族, 博士, 教授, 研究方向: 食品化学。

度,都能够完成其氧化过程。在淀粉氧化改性过程中,影响其改性效果的因素有很多,除去淀粉本身的化学结构之外,其他的一些辅助条件也起着十分重要的作用。为满足生产需要,通常采用不同的工艺手段来赋予产品不同的性质。常用的淀粉氧化剂包括双氧水、次氯酸钠、高锰酸钾等。

1.2 不同氧化剂制备氧化淀粉研究进展

1.2.1 双氧水

淀粉氧化剂种类繁多,双氧水(H_2O_2)作为应用更广泛的氧化剂,相比于次氯酸钠($NaClO$)及二氧化氯(ClO_2),更容易生产纯度较高的氧化淀粉^[6-7]。双氧水价格低廉,易获得,通过氧化形成的副产物是水,对环境几乎无污染,使其在制备氧化淀粉的过程中备受青睐,因而成为制备氧化淀粉的氧化剂首选^[8]。但其氧化速率较低是不可忽视的问题。

孙亚东等^[9]认为,利用单一 H_2O_2 溶液制备的氧化淀粉不具备良好的冻融稳定性,但在 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 的水浴条件下向浓度为30%的玉米淀粉中添加体积分数为30%的双氧水,并使用 $CuSO_4$ 催化反应,得到的羟基含量明显高出原氧化淀粉0.4%,透光率也较原氧化淀粉高80%,且在室温条件下放置15 d未发生凝沉现象。谢晓明等^[10]通过向木薯淀粉溶液中加入一定体积分数的双氧水后发现:当pH为7~8,且温度在 $40\sim 45\text{ }^\circ\text{C}$ 时,能够根据需要,适当控制双氧水用量及反应时间,制备不同黏度规格的氧化淀粉。但仅采用双氧水作为氧化剂制备氧化淀粉时,将消耗较长的反应时间,需通过添加催化剂提高反应速率^[11]。该种方法的优点是对实验人员的要求不高,绿色环保,且成本相对较低。

1.2.2 次氯酸钠

次氯酸钠是现代工业生产中一种常见的氧化剂。选择次氯酸钠作为淀粉氧化剂的优势在于其拥有低廉的价格以及充足的来源,同时能够使淀粉的氧化过程更加简洁。但是,次氯酸钠作为氧化剂,需注意反应条件,无论是反应温度或者pH,还是加入次氯酸钠的速度,都应进行严格控制^[12]。

李平等^[13]通过向马铃薯淀粉中加入定量的氧化剂(次氯酸钠)发现,温度控制在 $40\text{ }^\circ\text{C}$,次氯酸钠的使用量达到7 mL,且调节pH为8.3时,反应2 h得到的羧基含量最高。使用次氯酸钠作为淀粉氧化剂,能够帮助消除人体抗性淀粉等难消化的淀粉,从而达到助消化的功效。但次氯酸钠氧化后会产生大量的氯化物,该物质会破坏食品品质,并对人体的健康造成威胁。

吴磊等^[14]将淀粉与水混合,形成40%的淀粉乳,用 $NaOH$ 溶液调节pH至碱性, $30\text{ }^\circ\text{C}$ 下水浴加热,随着温度的升高,向其中加入浓度为5%的次氯酸钠,在温度达到 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 后,恒温反应3 h后,向体系中加入与 $NaOH$ 浓度相同的盐酸溶液中和,通过过滤、洗涤、烘干等步骤制得粉碎的氧化淀粉。该方法操作简单,氧化淀粉制备容易,但由于需要严格控制反应条件,导致制备效率略低。

张高鹏^[15]选用马铃薯淀粉进行试验,通过向水浴加热的马铃薯淀粉溶液中加入次氯酸钠制备氧化淀粉,使用亚硫酸氢钠终止反应,调节pH至6.0~6.5,抽滤洗涤,冷冻干燥后制得马铃薯氧化淀粉。该方法因各部分反应条件必须严格控制,导致反应过程中羧基的产生略显缓慢。

1.2.3 高锰酸钾($KMnO_4$)

采用 $KMnO_4$ 作为催化剂制备氧化淀粉通常是在酸性条件或中性条件下进行。 $KMnO_4$ 在碱性条件下容易产生黑色沉淀 MnO_2 ,从而对产品的质量及感官产生影响。从反应机理来看,选用 $KMnO_4$ 作为氧化剂,其氧化过程复杂^[16],对于现阶段来说,还存在着许多困难。

马永强等^[17]通过采用高锰酸钾作为氧化剂,对蜡质玉米淀粉进行改性,发现经高锰酸钾改性后,产物的冻融稳定性、抗凝沉性等较原来均有所提高。以 $KMnO_4$ 作为氧化剂来氧化淀粉,随着反应的进行,反应中的颜色会有所改变,反应过程极易观察。程新峰等^[18]研究表明, $KMnO_4$ 作为淀粉氧化剂时,在酸性环境下,当淀粉、 $KMnO_4$ 、 H_2SO_4 三者比值为50:2:3时,产生的羧基含量最高,从而得出羧基含量与 $KMnO_4$ 和 H_2SO_4 的消耗量成正比。吕旷等^[19]介绍了高锰酸钾氧化淀粉的反应机理及该氧化淀粉在工业领域的应用,如:食品、包装、纺织、造纸等。

2 氧化淀粉在食品中的应用

氧化淀粉价格低廉,性能优良,其与原淀粉相比,具有较低的糊化温度,较高的稳定性、胶黏性、持水性以及成膜性。氧化淀粉在食品中主要应用在食品包装、食品加工及食品保藏。

将氧化淀粉制备成膜用于食品包装,可以有效延长食品的保鲜期,减缓食品的腐败变质。此外,选用氧化淀粉替代原淀粉制备油炸产品时,既可以增强食品的口感体验,又丰富其营养成分^[20]。氧化淀粉是原淀粉较为经济实用的替代物,具有良好的商业应用价值及发展空间^[21]。

2.1 氧化淀粉在食品包装中的应用

淀粉膜之所以未能代替传统的塑料膜大规模应用于食品包装中,其主要原因在于:淀粉虽具有较强的疏水性,但成膜后阻隔能力变差^[21]。目前,已有研究人员发现:向30%氧化度的双醛淀粉膜中添加占淀粉膜比重5%的琼脂,同时添加总体比重20%的海藻酸钠制备双醛复合氧化淀粉膜,此种淀粉膜与原双醛淀粉膜相比拉伸强度提高了90%以上,断裂伸长率也有显著降低,为改善淀粉膜的抗拉伸强度提供了可行性参考。虽然两种淀粉膜的耐水性能均下降,但隔水能力有较大程度的改善^[23]。

闫倩倩等^[24]在制备淀粉膜的过程中加入氧化淀粉,从而提高了可食用膜的拉伸强度和断裂伸长率。除此以外,氧化淀粉的加入还可赋予该膜较强的抗菌能力,拓展其在食品领域中的应用,将发挥越来越重要的作用。

2.2 氧化淀粉在食品加工及保藏中的应用

2.2.1 氧化淀粉在面食中的应用

面食是指主要以面粉为主制成的食物。世界各地均有不同种类的面食。我国的面点小吃历史悠久,品种繁多,风味各异。在我国,传统的面食主要有面条、馒头、花卷、油条、麻什、烧饼、饺子、包子、馄饨、麻花等^[25];西式面食有面包、西点、蛋糕、披萨等。

2.2.1.1 面条

面条在水煮过程中淀粉大量溶出,致使面条易断,影响其感官品质。在面条加工过程中加入适量的氧化淀粉,可以提高面条的机械性能,使面条的外形更美观,口感更劲道、有弹性,还可以提高其营养价值^[26]。张克等^[27]在制作面条时加入小麦氧化淀粉,结果发现:制成的面条深层结合水比例降低,弱结合水比例升高,在升温过程中其面条弹性和黏性均小于原淀粉面条。张馨文^[28]研究发现:适量添加马铃薯氧化淀粉可改善馒头的比容和色泽,增加硬度和弹性,提高咀嚼性和回复性,改善产品感官品质,延长其货架期。可见,氧化淀粉可以显著提高面条的感官品质。

2.2.1.2 水饺

速冻水饺在制作过程中,常常由于淀粉及蛋白质的持水力变化使饺子皮出现裂口。通过向面粉中适量添加马铃薯氧化淀粉来改变速冻水饺面皮的亲水性及保水性,从而提高速冻水饺的品质。Moin等^[29]将乙酰化大米氧化淀粉作为添加剂加入到饺子的面皮中,降低了水饺下锅后的开裂率,使水饺的风味更佳。苏晶莹^[30]在速冻水饺饺子皮中添加了乙酰马铃薯氧化淀粉,提高了饺子皮的硬度,降低了冻裂率和损坏率。

郭伟茜^[31]在饺子皮中添加一定量的氧化淀粉,并与未加氧化淀粉的饺子进行比较,-4℃下储藏15d后发现,添加氧化淀粉的水饺硬度明显低于未添加氧化淀粉的水饺,证明氧化淀粉的加入提高了水饺的口感及抗老化性能。

2.2.1.3 汤圆

以糯米粉为原料制作的汤圆是中国四大著名小吃之一,有着极为悠久的历史,其口感软糯香甜,但糯米粉的控水能力远低于面粉,加水量的细微改变将直接影响汤圆的形态,因此汤圆制作工艺复杂、耗时费力。氧化淀粉具有较高的黏性,向糯米粉中加入适量的氧化淀粉,可以有效地稳定汤圆的结构^[32]。杨世雄等^[33]认为,通过酯化-氧化改性的方法制备糯玉米复合淀粉,并将该淀粉应用于汤圆中,可以起到增稠、抗老化、提高感官品质的作用。

2.2.2 氧化淀粉在其他食品中的应用

通过向肉制品、乳制品以及果蔬制品中加入氧化淀粉,可以提高食品的弹性,改善食品的品质,有效抑制果蔬的采后黄化^[34]。

2.2.2.1 火腿

火腿通常是由动物的后腿肉经腌制或者熏制发酵而得到的一种受大众喜爱的肉制品。淀粉作为火腿中必不可少的改良剂,在不改变其风味的情况下能有效提高火腿的弹性。周凤超等^[35]在乳化肠中添加了马铃薯氧化淀粉,提高了乳化肠的口感和弹性,且使其持水力增强。

2.2.2.2 酸奶

酸奶是以牛乳为原料,在杀菌处理后通过添加有益菌,经发酵后得到的一种奶制品。氧化淀粉具有较强的抗凝结性,将其加入到酸奶中可有效抑制酸奶的凝结,提高凝固型酸奶的黏稠度,使其更均一稳定,从而改善凝固型酸奶的口感及品质^[36]。掌握氧化淀粉的添加条件及添加剂量,发挥其在凝固型酸奶中的功效,对奶制品的研究与开发有着重要的意义^[37]。

2.2.2.3 果蔬

对草莓、樱桃等保鲜期较短的水果表面进行氧化淀粉膜涂层,能够较好地保持水果的新鲜度,延长其贮藏期。其作用机理是通过抑制果实的呼吸作用及乙烯释放量,延缓果实的成熟与衰老,从而减少了果实中维生素等营养物质的消耗^[38]。

3 展望

随着时代的发展与进步,淀粉的改性技术已日渐成熟,而其中淀粉氧化技术也已进一步得以完善。将

氧化淀粉应用于食品工业中可有效促进食品行业的快速发展。在食品包装领域,氧化淀粉作为绿色环保型高分子淀粉膜,可有效减少环境污染;在食品加工领域,氧化淀粉作为食品添加剂,可提高食品的功能及品质;在食品贮藏领域,氧化淀粉的存在也能起到降低食品腐败率,延长其保鲜期。提高氧化淀粉品质,扩大其应用范围是目前存在的最主要的问题,氧化淀粉的研究将成为食品领域不可忽视的一部分。

参考文献:

- [1] PFLUG E E, BUCHMANN N, SIEGWOLF R T W, et al. Resilient leaf physiological response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to summer drought and drought release[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 187. DOI: 10.3389/fpls.2018.00187.
- [2] PIGLOWSKA M, KURC B, RYMANIAK U, et al. Kinetics and thermodynamics of thermal degradation of different starches and estimation the OH group and H₂O content on the surface by TG/DTG-DTA[J]. *Polymers*, 2020, 12(2):357. DOI: 10.3390/polym12020357.
- [3] SAGHAFINIA M, JALALI A, ESKANDARI M, et al. The effects of hydroxyethyl starch 6% and crystalloid on volume preloading changes following spinal anesthesia[J]. *Advanced Biomedical Research*, 2017, 6: 115. DOI: 10.4103/abr.abr_151_16.
- [4] PLOYPETCHARA T, GOHTANI S. Change in characteristics of film based on rice starch blended with sucrose, maltose, and trehalose after storage[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(5): 1470-1478. DOI: 0.1111/1750-3841.15021.
- [5] 王晨曦,黎庆涛,王远辉,等.木薯淀粉改性方法的研究进展[J].*轻工科技*,2017,33(2):3-6.
- [6] HAN B. Properties of oxidized starch prepared by hydrogen peroxide, chlorine dioxide and sodium hypochlorite [C]// *Proceedings of the 2016 International Conference on Biomedical and Biological Engineering*. Beijing: Atlantis Press, 2016: 447-451. DOI: 10.2991/bbe-16.2016.69.
- [7] WANG Y J, JIANG L, DUAN J K, et al. Effect of the carbonyl content on the properties of composite films based on oxidized starch and gelatin[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014, 130(5): 3809-3815. DOI: 10.1002/app.39493.
- [8] SUN F S, LIU J N, LIU X Y, et al. Effect of the phytate and hydrogen peroxide chemical modifications on the physicochemical and functional properties of wheat starch[J]. *Food Research International*, 2017, 100: 180-192. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.07.001.
- [9] 孙亚东,陈启凤,吕闪闪,等.淀粉改性的研究进展[J].*材料导报*,2016,30(21):68-74.DOI:10.11896/j.issn.1005-023X.2016.21.011.
- [10] 谢晓明,夏槐天,何飞燕,等.双氧水制备氧化淀粉粘合剂的研究[J].*化工技术与开发*,2016,45(3):4-6,25.DOI: 10.3969/j.issn.1671-9905.2016.03.002.
- [11] 贾一凡,邱增莲,汪涛,等.氧化板栗淀粉的制备及性质研究[J].*食品工业科技*,2017,38(4):242-246.DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.04.037.
- [12] 张高鹏,吴立根,屈凌波,等.马铃薯氧化淀粉制备及在食品中的应用进展[J].*粮食与油脂*,2015,28(8):8-11.DOI: 10.3969/j.issn.1008-9578.2015.08.003.
- [13] 李平,葛雪松,姜义军,等.马铃薯氧化淀粉的制备及其成膜性研究[J].*粮食与油脂*,2016,29(8):42-46.DOI: 10.3969/j.issn.1008-9578.2016.08.011.
- [14] 吴磊,张二娟,张淑芬,等.氧化玉米多孔淀粉的制备及其性质研究[J].*河南化工*,2019,36(12):22-27.DOI: 10.14173/j.cnki.hnhg.2019.12.007.
- [15] 张高鹏.辐照氧化淀粉的制备与应用[D].郑州:河南工业大学,2016.
- [16] 司红岩.玉米淀粉胶黏剂的研究[D].郑州:郑州大学,2015.
- [17] 马永强,薛鹏飞,王鑫.蜡质玉米改性淀粉物化及形态学特性比较研究[J].*中国食品添加剂*,2017(2):117-123.DOI: 10.3969/j.issn.1006-2513.2017.02.011.
- [18] 程新峰,金勇,漆锐,等.刺激响应降解型聚合物水凝胶[J].*化学进展*,2015,27(12):1784-1798.DOI: 10.7536/PC150629.
- [19] 吕旷,孔妮,邓艳,等.氧化淀粉研究进展[J].*大众科技*,2015,17(4):44-47.DOI: 10.3969/j.issn.1008-1151.2015.04.017.
- [20] 容家杨.一种甜玉米甘薯氧化淀粉饼干:201410123206.3[P].2015-09-30.
- [21] SORNDECH W, SAGNELLI D, MEIER S, et al. Structure of branching enzyme- and amyloamylase modified starch produced from well-defined amylose to amylopectin substrates [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 152: 51-61. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.06.097.
- [22] 纪趁趁.淀粉基材料复合改性及其在药用辅料方面的应用[D].贵阳:贵州大学,2017.
- [23] 陈玉净.可食性双醛淀粉膜制备及性能研究[J].天津:天津科技大学. DOI: 10.7666/d.y1676606.
- [24] 闫倩倩,孔青,续飞,等.改性淀粉基可食性膜的制备及性能研究[J].*中国粮油学报*,2021,36(2):41-46.
- [25] 任小琴.山西晋中灵石方言面食词汇与文化研究[D].太原:山西大学,2017.
- [26] 王立,曹新蕾,钱海峰,等.方便面研究现状及发展趋势[J].*食品与发酵工业*,2016,42(1):252-259.DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201601045.
- [27] 张克,陆启玉.小麦氧化淀粉的理化性质及对生鲜面条品质的影响[J].*食品科学*,2017,38(15):26-30.DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201715005.
- [28] 张馨文.马铃薯氧化淀粉对面团特性及面制品品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2014.
- [29] MOIN A, ALI T M, HASNAIN A, et al. Effect of basmati and

《保鲜与加工》杂志 2021 年征订启事

《保鲜与加工》杂志是由国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)主办的农产品采后技术研究领域的科技期刊,为中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊、中国农业核心期刊和中国北方优秀期刊,本刊已被中国学术期刊(光盘版)杂志、美国《化学文摘》(CA)、英国《食品科技文摘》(FSTA)和英国《国际农业与生物科学研究中心》(CABI)收录。另据中国知网的最新统计结果,《保鲜与加工》杂志的复合影响因子为 1.429。本刊主要报道农产品保鲜与加工相关领域基础理论、新技术、新工艺、新设备、新材料的研究成果及国内外相关行业的动态与信息,设置专家论坛、保鲜研究、加工研究、检测分析、信息与物流、专题论述、技术指南、行业资讯、科普沙龙、科技前沿、政策法规等栏目。适于科技人员、农业技术推广人员、相关企业管理和技术人员、大专院校师生及广大从事保鲜与加工技术研发领域的人士参阅。

本刊为月刊,大 16 开本,150 页,每月 20 日出版,国内外公开发行,每期定价 20 元,全年 240 元,国内统一连续出版物号:CN12-1330/S,国际标准连续出版物号:ISSN1009-6221,邮发代号:6-146。

欢迎在全国各地邮局(所)或本编辑部订阅,欢迎广大读者踊跃投稿,并诚邀刊登各类公益性广告。

通讯地址:天津市西青区津静公路 17 公里处,国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)《保鲜与加工》编辑部。邮编:300384

电话(传真):022-27948711,联系邮箱:bxyjg@163.com,投稿平台:www.bxyjg.com

- irri acetylated rice starches on textural and sensorial characteristics of dumpling wrappers[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2019, 13(2): 2594-2602. DOI: 10.1007/s11694-019-00179-4.
- [30] 苏晶莹. 乙酰化马铃薯粉在速冻水饺中的应用[J]. 轻工科技, 2014, 30(8): 15-17.
- [31] 郭伟茜. 纳米银-氧化淀粉复合膜的研制及其保鲜性能的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2019. DOI: 10.26949/d.cnki.gblyu.2019.001259.
- [32] 刘慧芳, 杨旺生. 苏州糕团民俗的价值及其保护利用探析[J]. 农业考古, 2017(1): 190-195.
- [33] 杨世雄, 张玲, 张雪梅, 等. 糯玉米改性淀粉的制备及其在速冻食品中的应用研究进展[J]. 农产品加工, 2021(2): 75-78. DOI: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2021.01.054.
- [34] 于广伟. 氧化淀粉涂膜对草莓、甜樱桃和巴黎的保鲜效果影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2016.
- [35] 周凤超, 李禹儒, 赵俊梅, 等. 不同添加量氧化马铃薯淀粉对乳化肠品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 170-176. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.016258.
- [36] 付丽, 刘旖旎, 陈丹雅, 等. 乳清蛋白粉对凝固型酸奶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 39-45. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.13.007.
- [37] 钟佳佳, 彭阳, 温汝萍, 等. 氧化淀粉的制备工艺研究及在食品加工中的应用探讨[J]. 现代食品, 2016, 5(9): 71-73. DOI: 10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2016.09.031.
- [38] 于广伟. 氧化淀粉涂膜对草莓、甜樱桃和巴黎的保鲜效果影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2016.

收稿日期:2021-02-04