

渗透脱水在渗透剂方面的最新研究

夏明珠, 施宇娇, 曹 晖*

扬州大学旅游烹饪学院·食品科学与工程学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2022年4月24日; 录用日期: 2022年5月21日; 发布日期: 2022年5月30日

摘 要

渗透脱水是一种利用浓度差达到脱水目的的方法。近年来, 渗透剂种类不再局限于传统的糖、盐及两者混合物, 向更多样的新型渗透剂发展, 如低聚果糖、多元醇等。本篇以渗透剂种类为分类依据, 对其使用目的和结果进行了综述, 并提出未来发展新思路。

关键词

渗透脱水, 渗透剂, 作用, 综述

The Latest Research of Osmotic Dehydration on Osmotic Agents

Mingzhu Xia, Yujiao Shi, Hui Cao*

School of Tourism and Cuisine·School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Received: Apr. 24th, 2022; accepted: May 21st, 2022; published: May 30th, 2022

Abstract

Osmotic dehydration is a method to achieve the purpose of removing the water contained by using concentration difference. In recent years, the types of osmotic agents are no longer limited to traditional penetrants like sugar, salt or their mixtures, but have developed to more diverse new osmotic agents, such as oligofructose, polyols and so on. According to the classification of penetrant types, this paper reviewed the application purposes and results of osmotic agents, and put forward new ideas for future development.

Keywords

Osmotic Dehydration, Osmotic Agent, Effect, Review

*通讯作者。



1. 引言

许多食品原料和半成品都含有大量的水分，为满足加工需要通常尽可能减少其水分含量。渗透脱水 (Osmotic Dehydration, OD) 是指在一定条件下，将水果、蔬菜、鱼类或肉类组织浸入高渗透溶液中，在不发生相变的情况下部分去除水；这一过程中主要的传质现象为水从产品内部流向溶液[1]。

与其他渗透工艺相比，渗透脱水可以在从去除食品中水分的同时不破坏其组织，使它们仍能保持原有的风味、色泽、营养和品质，因此脱水后的产品与原样新鲜状态接近；由于渗透脱水是物质组织部分脱水的非热过程，所以过程中的能耗较低；渗透脱水对操作设备要求较低[1] [2]。然而，渗透脱水也存在一些问题，例如在水分从食品组织中渗出的同时，渗透溶液中的溶质也会部分迁移到食品中，引起食品的糖、盐或其他成分含量升高，导致食品风味的改变；由于渗透脱水是凭借细胞内溶液与渗透液之间存在的一定浓度差造成水分转移，脱水过程耗时较长，从而降低了渗透脱水的整体效率。

为改善甚至解决现有问题，有些研究人员将其他技术与渗透脱水相结合，现有的较为常见的有超声波辅助、电脉冲辅助、真空辅助、可食用复合膜/涂层辅助以及组合型辅助渗透脱水；有些研究人员通过改变渗透剂成分或者研制新型渗透剂，来加速传质、缩短渗透脱水时间、提高渗透脱水效率。本篇文章就是从渗透剂方面来对近年来渗透脱水的最新研究进行综述。

2. 传统渗透剂

常见的渗透剂有：蔗糖、麦芽糖、葡萄糖、果糖、乳糖、氯化钠、氯化钙。因此传统渗透剂可大致分为三类：糖类、盐类、糖盐混合类。

2.1. 糖类

蔗糖是最常用于脱水水果和蔬菜的渗透物质[3]。Ruiz-Lopez 等[4]研究后得出结论：在蔗糖、果糖和葡萄糖中，蔗糖被认为是最好的高渗溶液。Ana 等[5]对果糖和蔗糖渗透溶液进行了测试，得出结论：用两种渗透溶液对椴栲的渗透脱水，仅在总多酚和抗坏血酸含量等成分特性以及渗透脱水的椴栲的增重有轻微影响。在相同浓度的溶液中，果糖渗透样品的重量减少比蔗糖渗透样品高。

2.2. 盐类

盐类渗透剂也是科研人员常使用的渗透剂。段振华等[6]围绕食盐质量分数、渗透温度和样品厚度，对罗非鱼片的渗透脱水量和盐吸收量的变化进行研究。其中，食盐的质量分数的决定鱼片是否脱水的关键因素，鱼片在 10% 的食盐溶液中表现为吸水，而在质量分数超过 20% 的食盐溶液中表现为脱水；质量分数越高，鱼片失水量越多，同时溶质获得量也越高。

2.3. 糖盐混合类

很多研究人员已经讨论了糖和盐溶液在不同水果和蔬菜中的协同效应。在浸泡过程中，糖溶液在水果表面形成不渗透的稀溶液膜，从而导致水分扩散率降低，少量添加到糖溶液中的盐会阻碍不渗透膜的形成[7] [8]，有利于渗透脱水传质过程的进行，提高脱水效率。盐的加入还可有效维持脱水物料的质构和色泽，提高干制产品脆度[9]。

曹雪慧等[10]选取了海藻糖与海藻糖-氯化钙溶液为渗透液,蒸馏水为对照,对蓝莓进行渗透预处理,待其脱水后进行冻结,研究不同渗透液对蓝莓冻结特性的影响。结果表明,海藻糖-氯化钙处理组蓝莓花色苷含量、可溶性固形物质量分数、硬度均显著高于另外两个处理组的样品($P < 0.05$)。Katarzyna 等[3]将洋葱放在含有不用量蔗糖和氯化钙的溶液中储存,测定并比较其茶多酚和干物质的含量后可知:使用两种渗透剂(蔗糖、氯化钠)的混合物比仅使用蔗糖更有效地增加干物质含量;使用 40%的蔗糖溶液加 10%的盐,可以保留近 80%的单糖苷。徐鑫等[9]比较了以下三组不同的渗透复合液,并得到固体增加率的排序:葡萄糖钙盐复合液组 > 蔗糖钙盐复合液组 > 麦芽糊精钙盐复合液组。Kshirod 等[11]采用盐和糖二元溶液对杨桃果实片渗透脱水过程中的传质过程进行了研究,表明采用二元溶液对杨桃果实进行渗透脱水更为有效。

3. 非传统渗透剂

渗透剂是渗透脱水工艺中必不可少的一部分,其成分、浓度等因素对渗透脱水传质过程有很大的影响。目前,科研人员对于渗透剂的选择已经不再局限于常见的渗透剂,而是将渗透剂成分进行扩充,选取新的成分进行配制,得到与传统渗透剂有所区别、甚至是极少数人选用过的新型渗透剂,包括浓缩果汁、多元醇、低聚果糖、过滤酸奶乳清(SY 乳清)等等。

3.1. 浓缩果汁

近年来,越来越多的研究人员对浓缩果汁感兴趣,并将其选为渗透剂或渗透剂的成分之一。浓缩果汁的成分、浓度、水分活度[12]等会对传质造成影响。Krzysztof 等[13]研究了南瓜片在北美沙果、贴梗海棠和树莓这三种浓缩果汁中的渗透脱水作用。研究发现,贴梗海棠浓缩汁在脱水过程中的失重(WL)值最高,树莓浓缩果汁的 WL 值最低。经测定,贴梗海棠溶液的水分活度值为 0.9381,而树莓溶液的水分活度为 0.9449。由此可见,水分活度越低,渗透压力对物质交换强度的影响越大[12]。

Krzysztof 等[13]还发现,在浓缩果汁中的渗透脱水可以通过掩盖水果和蔬菜不吸引人的自然变色来增提升干果的外观品质。Kinga 等[14]在糖溶液中添加浆果浓缩果汁和副产品提取物,研究对苹果渗透脱水和感官特性的影响,得到了与之相符合的结论。结果表明,高浓度的渗透溶液和大量的添加物,特别是浓缩的山莓汁,显著影响脱水苹果的颜色变化;OD 时间越长,添加浆果果汁或提取物的量越大,总颜色变化越大。

浓缩果汁的添加不仅会对渗透脱水产品的颜色(参数)产生影响,还会改变口感、柔软度、风味等其他感官特性。Kinga 等[14]研究表明,在蔗糖溶液中加入越桔提取物可以改善渗透脱水苹果 2 小时和 24 小时的口感和柔软度。与蔗糖溶液相比,添加浆果果汁及提取物能提高苹果在渗透脱水 24 小时后的感官品质。

此外,使用浓缩果汁和果渣提取物可以生产富含生物活性成分的产品[15],使产品具有更高的营养价值。Jolanta 等[15]使用蔗糖溶液以及蔗糖-浓缩果汁混合物对草莓进行渗透脱水,发现草莓的维生素 C 含量受渗透溶液类型的显著影响。在蔗糖-浓缩果汁溶液中脱水的草莓比在蔗糖中脱水的草莓多 17%~19%的维生素 C。添加了浓缩果汁的蔗糖溶液中脱水的样品中,多酚含量也较高。

3.2. 多元醇

山梨糖醇、麦芽糖醇、果糖、低聚果糖和低聚半乳糖是 Alice 等[16]使用的渗透剂原料,用来替代传统渗透脱水糖蔗糖和葡萄糖,从而获得高品质的蜜饯。最终,用山梨醇和麦芽糖醇制成的蜜饯的能量值平均为 140 kcal/100g,是蔗糖处理样品能量值的 56%。而低能量的蜜饯可以很好地服务于有减少总能量摄入这一任务的人群。

Joanna 等[17]选用多元醇组的物质(赤藓糖醇、木糖醇和麦芽糖醇)配制浓度为 30%的溶液作为渗透剂进行渗透脱水。研究表明, 由于渗透脱水中可溶性固形物渗透, 苹果在多元醇溶液中渗透脱水期间干物质含量增加; 在渗透脱水结束时苹果组织中赤藓糖醇、木糖醇和麦芽糖醇的含量大概是 30 分钟后的 2 倍, 改变了苹果样品的糖谱。

Yang 等[18]根据溶液的粘度和温度制备以多元醇、氯化钙、水为组成成分的低糖、低盐、低粘度的新型三元渗透脱水溶液。在评估测量的多组溶液中, 新鲜蓝莓的水分含量在 50%木糖醇/10%氯化钙复合渗透液中渗透脱水 26 小时后达到了最大减少量, 为初始含水量的 8%。越低的含水量, 越有利于后续的干燥处理。

3.3. 糖蜜/糖浆

为优化苹果在甜菜糖蜜中渗透脱水的工艺条件, Gordana 等[19]研究了不同浓度的甜菜糖蜜和浸泡时间对苹果块渗透脱水过程中传质的影响。经研究可得: 苹果动力学参数(失水率和固体增益)、糖含量和矿物质含量(Na、K、Ca、Mg)随甜菜糖蜜浓度和渗透时间的增加而增加。

Assana 等[20]在试验中探究了不同渗透溶液(蔗糖、葡萄糖、果糖、玉米糖浆固体和龙舌兰糖浆, 加入或不加入黄原胶或菊粉)对芒果切片得糖率的影响。试验表明: 在保证足够失水率, 即不影响渗透脱水效率的情况下, 增加渗透溶液的黏度有助于降低得糖率; 玉米糖浆固体溶液和添加了黄原胶的龙舌兰糖浆溶液处理所得的成品得糖率最低。

Leandro 等[21]用雪莲果和蔗糖制成混合糖浆对香蕉进行渗透脱水, 在对香蕉干的部分特性进行测定后得到结果: 渗透溶液浓度与失水率、固体增益值、成品硬度成正相关, 与样品水分活度呈负相关; 由糖浆渗透脱水的样品含糖量较高, 易发生褐变反应。

3.4. 低聚果糖

低聚果糖是益生元的一种, 具有降低血糖、促进矿物质吸收、改善脂质代谢等功效。低聚果糖可作为功能性低聚糖和甜味剂, 现已广泛运用于乳制品、饮料、焙烤等多个领域[22]。

Maria 等[23]测试了五种不同类型的渗透溶液, 除了常见的蔗糖以外, 还包含了一些替代碳水化合物, 如低聚果糖、棕榈糖(异麦芽糖)、甜菊糖甙。经过试验, 番茄样品在较短的时间内用含低聚果糖溶液处理后, 固体含量较高, 质量属性保留较好, 感官特性也得到了积极的评价, 且甜度是几组样品中最低的。

此外, 与多元醇溶液(木糖醇、赤藓糖醇、麦芽糖醇)相比, 在低聚果糖和菊粉溶液中渗透脱水更加节省时间[17]; 与蔗糖相比, 用低聚果糖和低聚半乳糖制成的蜜饯可使能量值降低 51% [16]。

3.5. 过滤酸奶乳清(SY 乳清)

Efimia 等[24]研究探讨了过滤酸奶乳清(SY 乳清)作为一种新型渗透溶剂的潜在用途。经研究, 水渗透剂和乳清渗透剂处理的样品(与 55℃环境中, 120 分钟)具有相等品质(仪器测量的颜色和质地, 感官感知的颜色, 质地和风味, 维生素 C 含量)并且微生物稳定, 在 5℃~15℃的温度下, 两种样品的保质期都超过了 90 天。这些结论证明了 SY 乳清用作新型渗透剂的可能性。除此之外, 研究还发现: 与水相比, 使用 SY 乳清作为渗透剂时固体吸收扩散系数增加 20%, 强化了传质现象, 促进了 OD 溶液中的固体吸收, 并可用于固体富集目的。

3.6. 新型组合

抗褐变剂 + 葡萄糖 + 氯化钙: Tashooq 等[25]在糖盐二元渗透溶液基础上有添加了抗褐变剂这一组分, 随着抗褐变剂种类及浓度的改变, 猕猴桃渗透脱水样品的色泽、总酚含量、抗氧化能力等会受到影

响。结果表明：采用抗褐变剂的渗透脱水可减少猕猴桃切片的褐变，从而降低由褐变引起的变色；抗褐变剂的加入可进一步保留与正常渗透脱水处理更高水平的酚类含量、抗坏血酸和抗氧化活性。

碳酸钾 + 橄榄油：张群等[26]以不同配比浓度的 K_2CO_3 与橄榄油(主要为 K_2CO_3)作为渗透剂，与对照组(蒸馏水)在相同环境中对蓝莓进行渗透脱水，比较分析了不同预处理联合热风干燥后蓝莓干果物理品质的变化。最后得出结论：热风干燥至相同含水量时，各渗透预处理样品的脱水率不同，5.0% K_2CO_3 组用时最短(10 小时)，为对照组用时的 1/2，因此可有效加快渗透脱水速度；同时 5% K_2CO_3 化学溶液渗透预处理能较好维持蓝莓果干内部超微结构的完整性。

塔格糖 + 甜叶菊 + 低聚果糖：Susana 等[27]将不同的健康渗透剂(塔格糖、低聚果糖、异麦芽糖、甜叶菊)组合后研究其对柠檬片的动力学行为影响。综合研究测评后可得：使用由塔格糖、甜叶菊、低聚果糖混合而成的渗透溶剂处理柠檬片，其有效扩散系数最高，渗透效率高，且所得样品具有较低的水分活度。

4. 结论

渗透剂的主要作用为脱去果蔬中的部分水分。传统型渗透剂的作用较为经典也都大致相同，除脱水作用外，主要为较好地保留原有的细胞结构、色泽、风味和营养成分，延长货架保质期。而新型渗透剂在保留传统型渗透剂的作用的同时，还具有与渗透剂本身性质相关联的特色作用，例如：浓缩果汁在改变产品色泽方面可发挥显著作用，且能改变产品风味、口感和柔软度，还可凭借其自身成分减少产品多酚和维生素 C 的损失，使之更具营养价值；多元醇对于产品所含生物活性成分如酚类物质有积极的保护作用，能够提高产品的抗氧化性。

近年来非传统型渗透剂的队伍逐渐壮大，浓缩果汁、多元醇等渗透剂获得了人们越来越多的关注。浓缩果汁是基于其操作对象“果蔬”的创新，多元醇则是基于蔗糖这一最经典渗透剂的创新。最为新颖的是将过滤酸奶乳清(SY 乳清)作为渗透剂，这是很大的一种创新，但研究基数过小，信服度有待提升。

总体来看，新型渗透剂的种类仍然有限。新型渗透剂部分的 SY 乳清、糖蜜/糖浆等复杂成分组合而成的混合物，增加了科研人员分析其详细成分的难度，无法判断发挥了理想作用的是何种成分。若未来科研人员投入更多精力研究这些混合物的具体成分与功效，或许可通过寻找具有相同成分的其他物质，或将该生效成分与其他已用作渗透剂的物质混合而制成新的渗透剂。这样一来，既可以知道渗透剂的具体成分，又便于使其效用最大化。

期待科研人员在未来能突破局限，尝试更多种类的新型渗透剂，使得果蔬干制品具有更佳的口感、新的滋味以及更高的营养价值。甚至可以有效的干预或控制渗透脱水的成果，达到研究人员所预期的目的。

基金项目

扬州大学大学生科技创新基金项目(X20210925)。

参考文献

- [1] 董全, 陈宗道. 国内外果蔬渗透脱水的研究进展[J]. 广州食品工业科技, 2004, 20(2): 129-132.
- [2] Nowacka, M., Dadan, M. and Tylewicz, U. (2021) Current Applications of Ultrasound in Fruit and Vegetables Osmotic Dehydration Processes. *Applied Sciences*, **11**, 1269. <https://doi.org/10.3390/app11031269>
- [3] Grzelak-Błaszczyk, K., Czarnecki, A. and Klewicki, R. (2020) The Effect of Osmotic Dehydration on the Polyphenols Content in Onion. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, **19**, 37-45. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0766>

- [4] Ruiz-Lopez, I.I., Huerta-Mora, I.R., Vivar-Vera, M.A., Martinez-Sanchez, C.E. and Herman-Lara, E. (2010) Effect of Osmotic Dehydration on Air-Drying Characteristics of Chayote. *Drying Technology*, **28**, 1201-1212. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.482716>
- [5] Leahu, A., Ghinea, C. and Ropciuc, S. (2021) Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Quince Using Different Osmosis Solutions. *Ukrainian Food Journal*, **10**, 100-111. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-1-9>
- [6] 段振华, 刘磊, 汪菊兰. 罗非鱼片在食盐溶液中的渗透脱水规律研究[J]. 水产科学, 2012, 31(1): 18-21. <https://doi.org/10.16378/j.cnki.1003-1111.2012.01.002>
- [7] İspir, A. and Toğrul, İ.T. (2009) The Influence of Application of Pretreatment on the Osmotic Dehydration of Apricots. *Journal of Food Processing and Preservation*, **33**, 58-74. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00251.x>
- [8] Lerici, C.L., Pinnavaia, G., Dalla-Rosa, M. and Bartolucci, L. (1985) Osmotic Dehydration of Fruits: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. *Journal of Food Science*, **50**, 1217-1219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10445.x>
- [9] 徐鑫, 王广峰, 陆保国, 王方芳. 真空渗透对猕猴桃预脱水的影响[J]. 通化师范学院学报, 2020, 41(10): 49-56. <https://doi.org/10.13877/j.cnki.cn22-1284.2020.10.009>
- [10] 曹雪慧, 赵东宇, 朱丹实, 张方方, 李鑫芮, 励建荣. 渗透预处理对蓝莓冻结特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(7): 192-197.
- [11] Dash, K.K., Sen, D. and Seth, D. (2021) Optimization of Osmotic Dehydration Process of Carambola (*Averrhoa carambola* L.) Fruit in Binary Solution of Salt and Sucrose. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, **10**, e3307. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.3307>
- [12] Lenart, A. and Lewicki, P. (2006) Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. In: Mujumdar, A.S., Ed., *Handbook of Industrial Drying*, CRC Press, Boca Raton, 3rd Edition, 665-687.
- [13] Lech, K., Figiel, A., Michalska, A., Wojdylo, A. and Nowicka, P. (2018) The Effect of Selected Fruit Juice Concentrates Used as Osmotic Agents on the Drying Kinetics and Chemical Properties of Vacuum-Microwave Drying of Pumpkin. *Journal of Food Quality*, **2018**, Article ID: 7293932. <https://doi.org/10.1155/2018/7293932>
- [14] Samborska, K., Eliasson, L., Marzec, A., Kowalska, J., Piotrowski, D., Lenart, A., et al. (2019) The Effect of Adding Berry Fruit Juice Concentrates and By-Product Extract to Sugar Solution on Osmotic Dehydration and Sensory Properties of Apples. *Journal of Food Science and Technology*, **56**, 1927-1938. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03658-0>
- [15] Kowalska, J., Kowalska, H., Marzec, A., Brzezinski, T., Samborska, K. and Lenart, A. (2018) Dried Strawberries as a High Nutritional Value Fruit Snack. *Food Science and Biotechnology*, **27**, 799-807. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0304-6>
- [16] Vilela, A., Sobreira, C., Abraao, A.S., Lemos, A.M. and Nunes, F.M. (2016) Texture Quality of Candied Fruits as Influenced by Osmotic Dehydration Agents. *Journal of Texture Studies*, **47**, 239-252. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12177>
- [17] Cichowska, J., Woniak, L., Figiel, A. and Witrowa-Rajchert, D. (2020) The Influence of Osmotic Dehydration in Polyols Solutions on Sugar Profiles and Color Changes of Apple Tissue. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, **64**, 530-538. <https://doi.org/10.3311/PPch.14096>
- [18] Yang, D.H., Li, X.Y., Zhao, Y.F., Hou, Q.M., Meng, Q.Y. and Li, L. (2021) Osmotic Dehydration Kinetics of Fresh and Frozen Blueberries Considering Volume Shrinkage in a Novel Ternary Solution. *Food Science and Technology*, **41**, 790-798. <https://doi.org/10.1590/fst.21621>
- [19] Koprivica, G.B., Pezo, L.L., Curcic, B.L., Levic, L.B. and Suput, D.Z. (2014) Optimization of Osmotic Dehydration of Apples in Sugar Beet Molasses. *Journal of Food Processing and Preservation*, **38**, 1705-1715. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12133>
- [20] Zongo, A.P., Khalloufi, S. and Ratti, C. (2021) Effect of Viscosity and Rheological Behavior on selective Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Mango Slices in Natural Syrups. *Journal of Food Process Engineering*, **44**, e13745. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13745>
- [21] Macedo, L.L., Araujo, C.D., Vimercati, W.C., Saraiva, S.H. and Teixeira, L.J.Q. (2021) Influence of Yacon Syrup Concentration and Drying Air Temperature on Properties of Osmotically Pre-Dehydrated Dried Banana. *Heat and Mass Transfer*, **57**, 441-451. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02966-y>
- [22] 陈又铭, 李宁, 袁卫涛, 郭浩, 高学秀, 张文升, 曹建帮, 曹永兴. 低聚果糖的功能性质及其在食品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(1): 11-15.
- [23] Giannakourou, M.C., Lazou, A.E. and Dermesonlouoglou, E.K. (2020) Optimization of Osmotic Dehydration of Tomatoes in Solutions of Non-Conventional Sweeteners by Response Surface Methodology and Desirability Approach. *Foods*, **9**, 1393. <https://doi.org/10.3390/foods9101393>
- [24] Dermesonlouoglou, E., Paraskevopoulou, E. and Taoukis, P. (2020) Osmotic Dehydration for the Produc-

-
- tion of Novel Pumpkin Cut Products of Enhanced Nutritional Value and Sustainability. *Applied Sciences*, **10**, 6225. <https://doi.org/10.3390/app10186225>
- [25] Bhat, T.A., Rather, A.H., Hussain, S., Naseer, B., Qadri, T. and Nazir, N. (2021) Efficacy of Ascorbic Acid, Citric Acid, Ethylenediaminetetraacetic Acid, and 4-hexylresorcinol as Inhibitors of Enzymatic Browning in Osmo-Dehydrated Fresh Cut Kiwis. *Journal of Food Measurement and Characterization*, **15**, 4354-4370. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01017-2>
- [26] 张群, 刘伟, 李绮丽, 丁胜华. 化学渗透预处理对蓝莓热风干燥特性及品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2019(4): 89-96. <https://doi.org/10.16498/j.cnki.hnnykx.2019.004.023>
- [27] Rubio-Arreaez, S., Capella, J.V., Ortola, M.D. and Castello, M.L. (2015) Modelling Osmotic Dehydration of Lemon Slices Using New Sweeteners. *International Journal of Food Science and Technology*, **50**, 2046-2051. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12859>