

预处理及干燥方法对果蔬干制品 V_C 含量影响的研究进展

Advances in vitamin C content in dried fruits and vegetables
by using pretreatment and drying methods

欧阳梦云¹ 王燕¹ 罗凤莲¹ 孙子钦¹ 曹胜²

OU-YANG Meng-yun¹ WANG Yan¹ LUO Feng-lian¹ SUN Zi-qin¹ CAO Sheng²

(1. 湖南农业大学食品科技学院, 湖南长沙 410128; 2. 湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128)

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;

2. College of Natural Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:文章从干燥预处理和干燥技术 2 个果蔬干制的重要环节出发,对国内外关于预处理和干燥方法对果蔬干制品 V_C 含量影响的研究现状进行了较全面的综述。

关键词:果蔬;干燥预处理;真空微波干燥;真空冷冻干燥; V_C
Abstract: Starting from two important processes of fruit and vegetable drying, namely drying pretreatment and drying technologies, a comprehensive review of the research status of the effect of different pretreatment and drying methods on the Vitamin C content of dried fruit and vegetable products was reviewed.

Keywords: fruits and vegetables; drying pretreatment; vacuum microwave drying; vacuum freeze drying; vitamin C

目前,用于果蔬干制品加工的方法主要有预处理、真空、对流、微波、红外、真空冷冻和变温压差膨化等干燥技术。这些技术各有特点,如对流干燥一般温度高,干燥时间长,干制品褐变严重^[1];变温压差膨化作为一种新型非油炸膨化干燥技术,干燥速率快,干制品品质较好^[2];真空冷冻技术可以最大限度地保持果蔬原有的风味和营养成分,产品品质极佳,但干燥成本相对较高^[3];微波干燥属于介电干燥,能够提高生产效率,节省能耗,但物料干燥均匀性差^[4]。如果果蔬原料在预处理和干燥过程中 V_C 能得到很好保留,那么其他营养成分也将能得到较好保留。因此, V_C 的保留情况常被作为评价果蔬干制品品质优劣的重要营养指标之一。本文主要就不同预处理和干制技术对果蔬干制品 V_C 含量影响的研

究进行综述。

1 预处理对果蔬干制品 V_C 含量的影响

果蔬干制一般在较高温度下进行,高温促使 V_C 氧化作用加剧,且时间越长,温度越高, V_C 降解越严重^[5]。在干燥前对果蔬原料进行适当的预处理,脱除部分水分,可减少物料在高温下的时间,在加快干燥速率的同时,也可有效提高 V_C 保留率。渗透脱水^[6]、热烫^[7]和冷冻^[8]是目前常用的干燥预处理方法,CO₂ 浸渍技术^[9]是 20 世纪兴起的新型干燥预处理工艺。

1.1 渗透脱水

渗透脱水(Osmotic dehydration, OD)是指将果蔬浸渍到一定温度的糖或盐的高渗透压溶液中,利用细胞膜具有半透性的特点,使细胞中的水分进入到渗透液中,达到脱水目的^[10]。许多学者^[11]发现在渗透过程中产品 V_C 含量显著降低。利用蔗糖和玉米糖浆在不同温度下对腰果梨进行渗透处理,发现较高的温度会造成较高的 V_C 含量损失^[12]。利用高压脉冲电场(High pulses electric field, HPEF)脉冲真空、高静水压和超声波等方式辅助渗透脱水在加快渗透传质速率的同时,有助于减少 V_C 的损失。研究^[13]发现 2.0 kV/cm 的 HPEF 预处理,可使苹果中的 V_C 含量比 0.5~1.0 kV/cm 场强处理的样品低 50%~60%,场强低于 1.0 kV/cm 的 HPEF 对 V_C 含量有较好的保留。与 OD 相比,脉冲真空渗透脱水(Pulsed vacuum osmotic dehydration, PVOD)在短时间内可明显加快番茄脱水速率。但是,随着失水率的提高,产品中 V_C 含量也有所下降。在 40 °Brix 的蔗糖糖浆渗透液中, PVOD 脱水番茄产品的 V_C 含量高于 OD 脱水的^[14]。这主要是由于脉冲真空能够使物料微观孔道不断地被挤压与扩张,阻碍氧气的融入,防止 V_C 氧化降解^[15]。在高静水压下

基金项目:湖南省科技重大专项(编号:2015NK1003)

作者简介:欧阳梦云,女,湖南农业大学在读博士研究生。

通信作者:王燕(1968—),湖南农业大学教授,博士。

E-mail: 693675748@qq.com

收稿日期:2018-02-08

对草莓进行渗透处理, V_c 的保留率最高可达 98%; 而在 100, 300 MPa 的压力下处理相同的时间, 试样中 V_c 含量相比新鲜草莓显著降低^[16]。这与压力使细胞内的色素氧化酶、抗坏血酸氧化酶以及参与非酶厌氧反应的过氧化物酶激活有关^[17]。采用超声辅助渗透脱水甘薯时, 随着处理时间的延长, V_c 保留率逐渐降低, 但超声辅助渗透脱水样品最终 V_c 保留率也可达 70%^[18], 与超声空穴作用促使氧气溢出, 避免 V_c 氧化降解有关^[19]。

1.2 热烫

热烫是一种常用的果蔬预处理方法。研究^[20]表明在干燥之前对物料进行热烫处理更有利于 V_c 含量的保留。甘蓝经热烫后再进行热风 and 真空冷冻干燥, 产品中 V_c 含量显著高于未经热烫的^[21]。叶菜类蔬菜因较大的比表面积, 对干燥环境非常敏感, 大量研究^[22]也发现叶菜类蔬菜经热烫处理后, 制品 V_c 含量显著减少。芸苔属蔬菜经热烫处理后, 制品 V_c 含量损失 20%~30%, 并且产品抗氧化性随之下降^[23]。热烫降低果蔬 V_c 含量的程度取决于其暴露在高温下的时间和物料对温度的敏感程度。马铃薯片在干燥前进行热烫处理, 制品 V_c 仅有少量损失, 马铃薯中的 V_c 似乎更稳定, 可能是由于淀粉凝胶的保护作用^[24]。利用红外辐射对物料进行热烫处理, 可以在降低酶活的同时不浸出固形物和营养成分。红外热辐射后的胡萝卜片相比于普通水热烫的 V_c 含量保留更高^[25]。

1.3 冷冻和二氧化碳浸渍

冷冻在降低果蔬含水量的同时, 也不可避免地会对果蔬细胞壁结构、胞间层和原生质体造成不可逆损伤。在解冻期间, 由于细胞结构的破坏, 抗坏血酸氧化酶(AAO)被激活, 与抗坏血酸接触发生反应, 从而损失 V_c 。对于草莓果实快速解冻有助于保持干制品 V_c 含量^[26]。 CO_2 浸渍技术早期被用来酿葡萄酒、制葡萄汁和制糖。研究^[27]发现 CO_2 浸渍可以改变物料细胞内部结构, 提高细胞通透性, 增加孔隙率, 加快干燥速率。采用 CO_2 浸渍预处理可使葡萄干 V_c 含量提高 12.81%^[28]。樱桃番茄经 1 MPa 的低于超临界状态的高密度 CO_2 (DPCD) 预处理可提高 V_c 保存率, 而随着压力的提高却会显著加快果实中 V_c 的降低^[29]。这可能与高压加剧了细胞的破坏有关。

2 干燥方法对果蔬干制品 V_c 含量的影响

2.1 对流干燥及其联合干燥技术

最常见的对流干燥方式是以空气为传热介质的热风对流干燥。而这种方式由于温度较高会导致果蔬中 V_c 含量显著降低, 并且温度越高, 干燥时间越长, 产品 V_c 损失越严重。这一点在草莓^[30]和红辣椒^[31]研究中均得到证实。Erenturk 等^[32]在玫瑰果的热风干燥研究中发现, 在干燥初始阶段, 物料水分含量相对较高, V_c 降解率随着干燥温度的升高而上升, 随着水分含量的降低, V_c 降解率逐渐平缓。说明 V_c 的稳定性和保留还受到物料水分含量的影响。而草莓采用对流干燥时, 当产品中水分含量低于 65% 时, 水分含量对产品 V_c 的降解几乎没有任何影响^[33]。猕猴桃的热风干燥也表明温

度对干制品 V_c 降解率影响显著, 高温促使物料表面硬化, 阻止内部水分向外迁移, 从而导致干燥时间延长, 且温度过高也会使内部结构出现裂缝, 使得更多氧气进入, V_c 因氧化而遭到破坏^[34]。为了加快干燥速率, 对流干燥常与其他干燥方式联合使用。鲜枣的热风微波耦合干燥结果表明, 微波功率越大, 温度越高, V_c 损失越严重, 但由于耦合干燥的干燥速率快, 高温加热时间短, 因此比传统干燥方式 V_c 保留率高^[35]。Lechtańska 等^[36]比较了微波和红外辅助对流干燥对青椒 V_c 保留率的影响, 发现微波比红外更有利于对流干燥试样 V_c 含量的保留, Karatas 等^[37]的研究也得出相似结论。

2.2 真空微波及其联合干燥技术

真空微波干燥在提高干燥效率和能源有效利用的同时, 可有效保持果蔬食品的营养和功能特性, 使用这种干燥方法可以生产高品质的果蔬干制品^[38]。双孢菇片经真空微波干燥, 产品中 V_c 含量与冷冻干燥接近, 却达到热风干燥的 4.7 倍^[39]。真空微波之所以可以提高干制品 V_c 保留率, 可能有以下三方面的原因: ① 在真空条件下, 隔绝氧气, V_c 不易被氧化; ② 真空微波加热无梯度性, 物料内外加热均匀, 加热温度低, 速度快, 时间短, 对物料中热敏性 V_c 的破坏较小; ③ 真空微波干燥可以一定程度使果蔬中抗坏血酸氧化酶失活, 防止 V_c 氧化降解^[40]。Bórquez 等^[41]研究表明, 当物料经真空渗透处理使水分含量降至 48%~49% 时再进行真空微波干燥, 并控制在 50 °C 下有利于 V_c 的保留。李丽娟等^[42]采用不同干燥技术干燥莲藕, 研究表明: 热风干燥 V_c 保留率最低, 真空微波干燥 V_c 保留率最高, 真空微波一气流膨化和热风一真空微波干燥所得产品 V_c 保留率均显著高于热风干燥制品, 热风一真空微波一气流膨化干燥产品 V_c 保留率与真空微波干燥无明显差异。

2.3 真空冷冻干燥及其联合干燥技术

Shitanda 等^[43]认为真空冷冻干燥可最大限度地保持食品营养成分、原味和生物活性。苦瓜经真空冻干后的干制品 V_c 保留率为 84.7%~99.0%, 高于烘干^[44]和微波制品^[45]。蓝莓经真空冷冻干燥的制品 V_c 含量显著高于热风干燥的^[46], 番石榴也类似^[47]。但是, 马铃薯中 V_c 经真空冷冻干燥与微波真空冷冻干燥之间没有显著性差异^[24]。而山药经冷冻干燥至一定含水量后, 融化残余冰晶再进行真空微波干燥所得制产品中 V_c 含量低于不融产品, 且冻干一真空微波联合干燥(FD-MVD)产品中 V_c 含量高于冻干试样^[48]。这可能是物料在解冻过程中发生汁液流失, 造成 V_c 损失^[49]。总之, 真空条件在一定程度上降低了干燥环境中氧气浓度, V_c 在低氧条件下发生无氧降解, 其降解速率远低于有氧降解^[50], 同时低温也有效保护了 V_c 。

2.4 其他干燥技术

马铃薯经联合热风 and 微波干燥技术干燥, 结果发现在恒定的温度和微波功率水平下, 随着加工时间的延长, 干制品 V_c 含量逐渐减少, 而在恒定的干燥时间内, 物料对微波的吸收增加, 导致物料温度升高, 干制品 V_c 损失增加^[51]。杏果经红外干燥和微波干燥后, 干制品 V_c 含量均随着水分含量

的降低而增加,且在不同水分含量下,未成熟原料制得的干制品 V_C含量高于成熟样品^[37]。对红枣泥片采用中短波红外联合气体射流干燥发现制品 V_C保留率随着辐射距离的增大先提高后降低,而采用中远红外联合冷冻干燥表明冷冻时间对红枣泥片 V_C保留率有显著影响^[52]。酸樱桃的微波—对流干燥结果表明,干制品 V_C含量随着微波功率的增大而增加,然而温度仅在 180 W 的高微波功率时才对产品 V_C产生显著影响^[53]。

3 结语

V_C极易受环境因素的影响而发生氧化降解,且温度、氧气、水分含量、pH、金属离子等因素对 V_C影响的作用效果是综合的。因此不同的干燥条件、不同的果蔬物料会使干制品 V_C保留率发生不同程度的变化。联合干燥可综合各干燥技术的优点,取长补短,在降低能耗,提高干燥效率的同时,还能有效保留果蔬产品原有品质,提高干制品 V_C保留率,具有广阔的应用前景,但目前研究中还存在很多需要进一步阐明的科学问题。其中,V_C在干燥过程中的降解机理及其在单元干燥和联合干燥过程中的降解动力学,均为今后需要进一步深入研究的重点方向。

参考文献

[1] MÉNDEZ-LAGUNAS L, RODRÍGUEZ-RAMÍREZ J, CRUZ-GRACIDA M, et al. Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 174-181.

[2] 李宝玉. 不同干燥方式对香蕉产品品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(15): 100-106.

[3] 李伟, 郜海燕, 陈杭君, 等. 不同干燥方式对杨梅果粉品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 77-82.

[4] LENAERTS S, BORGHT M V D, CALLENS A, et al. Suitability of microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying: Impact on nutritional quality and colour[J]. Food Chemistry, 2018, 254: 129-136.

[5] 高愿军, 龙娇妍, 孟楠, 等. 加工技术对苦瓜脱水过程中 V_C含量的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(5): 94-97.

[6] ZIELINSKA M, ZIELINSKA D, MARKOWSKI M. The effect of microwave-vacuum pretreatment on the drying kinetics, color and the content of bioactive compounds in osmo-microwave-vacuum dried cranberries (*Vaccinium macrocarpon*) [J]. Food & Bioprocess Technology, 2018, 11(3): 585-602.

[7] WEIL M, SHUM C S A, MÉOT J M, et al. Impact of blanching, sweating and drying operations on pungency, aroma and color of Piper borbonense [J]. Food Chemistry, 2017, 219: 274-281.

[8] PHINNEY D M, FRELKA J C, WICKRAMASINGHE A, et al. Effect of freezing rate and microwave thawing on texture and microstructural properties of potato (*Solanum tuberosum*) [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(4): 933.

[9] BROWN Z K, FRYER P J, NORTON I T, et al. Drying of

foods using supercritical carbon dioxide: Investigations with carrot [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008, 9(3): 280-289.

[10] AGNIESZKA Ciurzyńska, HANNA Kowalska, KINGA Czajkowska, et al. Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food [J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 50: 186-192.

[11] PHM M, SANTOS E M, VRN T. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(9): 1 642-1 647.

[12] AZOUBEL P M, ÂNOAR Abbas El-Aouar, TONON R V, et al. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(5): 980-986.

[13] ADE-OMOWAYE B I O, TALENS P, ANGERSBACH A, et al. Kinetics of osmotic dehydration of red bell peppers as influenced by pulsed electric field pretreatment [J]. Food Research International, 2003, 36(5): 475-483.

[14] CHOTTANOM P, PRANIN T, SHOPKA K, et al. Pulsed vacuum osmotic dehydration of cherry tomatoes: impact on physicochemical properties and probiotics entrapment [J]. Walailak Journal of Science & Technology, 2016, 13(3): 193-204.

[15] WANG Xiao-tuo, GAO Zhen-jiang, XIAO Hong-wei, et al. Enhanced mass transfer of osmotic dehydration and changes in microstructure of pickled salted egg under pulsed pressure [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(1): 141-150.

[16] NUÑEZ-MANCILLA Y, PÉREZ-WON M, URIBE E, et al. Osmotic dehydration under high hydrostatic pressure: Effects on antioxidant activity, total phenolics compounds, vitamin C and colour of strawberry (*Fragaria vesca*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 52(2): 151-156.

[17] BARBA F J, ESTEVE M J, FRIGOLA A. Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing [J]. Food Research International, 2013, 50(2): 545-549.

[18] OLADEJO A O, MA Hai-le, QU Wen-juan, et al. Effects of ultrasound on mass transfer kinetics, structure, carotenoid and vitamin C content of osmodehydrated sweet potato (*Ipomea Batatas*) [J]. Food & Bioprocess Technology, 2017, 10(6): 1 162-1 172.

[19] ZAFRA-ROJAS Q Y, CRUZCANSINO N, RAMÍREZMORENO E, et al. Effects of ultrasound treatment in purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2013, 20(5): 1 283-1 288.

[20] GUIAMBA I R F, SVANBERG U, AHRNÉ L. Effect of infrared blanching on enzyme activity and retention of β -Carotene and Vitamin C in dried mango [J]. Journal of Food Science, 2015, 80(6): 1 235-1 242.

[21] KORUS A. Effect of preliminary processing, method of drying and storage temperature on the level of antioxidants in kale

- (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(8): 1 711-1 716.
- [22] PONNE C T, BAYSAL T, YUKSEL D. Blanching leafy vegetables with electromagnetic energy[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 59(5): 1 037-1 041.
- [23] AMIN I, LEE W Y. Effect of different blanching times on antioxidant properties in selected cruciferous vegetables [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2005, 85(13): 2 314-2 320.
- [24] RUI W, MIN Z, MUJUMDAR A S. Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices [J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 101 (2): 131-139.
- [25] VISHWANATHAN K H, GIWARI G K, HEBBAR H U. Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot [J]. *Food & Bioproducts Processing*, 2013, 91(2): 89-94.
- [26] HOLZWARTH M, KORHUMMEL S, CARLE R, et al. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on color, polyphenol and ascorbic acid retention in strawberries (*Fragaria × ananassa*) [J]. *Food Research International*, 2012, 48(1): 241-248.
- [27] LIU Li-jun, WANG Yu-xin, ZHAO Dan-dan, et al. Effect of carbonic maceration pre-treatment on drying kinetics of chilli (*Capsicum annuum*, L.) flesh and quality of dried product [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2014, 7(9): 2 516-2 527.
- [28] 刘沫茵, 郭蕴涵, 赵翠萍, 等. 二氧化碳辅助发酵葡萄的干制和发酵工艺优化[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 269-272.
- [29] 龙婉蓉, 郭蕴涵, 赵翠萍, 等. 高密度 CO₂ 预处理对樱桃番茄干燥的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(4): 387-390.
- [30] WOJDYŁO A, FIGIEL A, OSZMIANSKI J. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits [J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57(4): 1 337-1 343.
- [31] SCALA K D, CRAPISTE G. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(5): 789-795.
- [32] ERENTURK S, GULABOGLU M S, GULTEKIN S. The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying [J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 68(4): 513-518.
- [33] GAMBOA-SANTOS J, MEGÍAS-PÉREZ R, SORIA A C, et al. Impact of processing conditions on the kinetic of vitamin C degradation and 2-furoylmethyl amino acid formation in dried strawberries [J]. *Food Chemistry*, 2014, 153(9): 164-170.
- [34] 周国燕, 陈唯实, 叶秀东, 等. 猕猴桃热风干燥与冷冻干燥的实验研究 [J]. *食品科学*, 2007, 28(8): 164-167.
- [35] 张琦, 宋春芳, 周韵, 等. 热风微波耦合干燥鲜枣的研究 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33(11): 123-126.
- [36] ŁECHTANSKA J M, SZADZINSKA J, KOWALSKI S J. Microwave- and infrared-assisted convective drying of green pepper: quality and energy considerations [J]. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2015, 98: 155-164.
- [37] KARATAS F, KAMIS LI F. Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(2): 662-668.
- [38] 刘璇, 赖必辉, 毕金峰, 等. 不同干燥方式芒果脆片香气成分分析 [J]. *食品科学*, 2013, 34(22): 179-184.
- [39] 朱德泉, 王继先, 钱良存, 等. 猕猴桃切片微波真空干燥工艺参数的优化 [J]. *农业工程学报*, 2009, 25(3): 248-252.
- [40] 吕英忠, 梁志宏, 刘刚, 等. 不同干燥方法对山楂干制过程中维生素 C 稳定性影响的研究 [J]. *农产品加工*, 2011(6): 70-71.
- [41] BÓRQUEZ R M, CANALES E R, REDON J P. Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying [J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 99(2): 121-127.
- [42] 李丽娟, 刘春泉, 李大婧, 等. 不同干燥方式对莲藕脆片品质的影响 [J]. *核农学报*, 2013, 27(11): 1 697-1 703.
- [43] SHITANDA D, WANJALA N V. Effect of different drying methods on the quality of Jute (*Corchorus olitorius* L.) [J]. *Drying Technology*, 2006, 24(1): 95-98.
- [44] ZHANG Min, HETTIARACHCHY N S, HORAX R, et al. Effect of maturity stages and drying methods on the retention of selected nutrients and phytochemicals in bitter melon (*Momordica charantia*) leaf [J]. *Journal of Food Science*, 2010, 74 (6): 441-448.
- [45] 高愿军, 龙娇妍, 孟楠, 等. 加工技术对苦瓜脱水过程中 Vc 含量的影响 [J]. *食品与机械*, 2010, 26(5): 94-97.
- [46] 许晴晴, 陈杭君, 邵海燕, 等. 真空冷冻和热风干燥对蓝莓品质的影响 [J]. *食品科学*, 2014, 35(5): 64-68.
- [47] 闫旭, 刘璇, 毕金峰, 等. 干燥方法对番石榴活性物质含量及抗氧化能力的影响 [J]. *食品科学*, 2016, 37(17): 57-64.
- [48] HUANG Lue-lue, QIAO Fang, FANG Chang-fa. Studies on the microstructure and quality of iron yam slices during combined freeze drying and microwave vacuum drying [J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2015, 39(6): 2 152-2 160.
- [49] HUANG Lue-lue, ZHANG Min, MUJUMDAR A S, et al. Studies on decreasing energy consumption for a freeze-drying process of apple slices [J]. *Drying Technology*, 2009, 27(9): 938-946.
- [50] VERBEYST L, BOGAERTS R, PLANCKEN I V D, et al. Modelling of vitamin C degradation during thermal and high-pressure treatments of red fruit [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2013, 6(4): 1 015-1 023.
- [51] MAM K, WAM M M, TRA M. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying [J]. *Food Research International*, 2004, 37(5): 497-503.
- [52] 郑霞. 基于不同干燥技术的红枣泥片干燥特性 [J]. *中国农业文摘: 农业工程*, 2017, 29(1): 29.
- [53] HORUZ E, BOZKURT H, KARATAŞ H, et al. Effects of hybrid (microwave-convective) and convective drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries [J]. *Food Chemistry*, 2017, 230: 295-305.