

甲酸降解淀粉和蛋白质对烟叶品质的提升

Study on the hydrolysis of starch and protein in tobacco leaves by formic acid for improving the quality of tobacco

林云¹ 罗思维¹ 欧阳璐斯¹ 陈森林¹

LIN Yun¹ LUO Si-wei¹ OU-YANG Lu-si¹ CHEN Sen-lin¹

赖燕华¹ 陶红¹ 林宝敏¹ 贾立山²

LAI Yan-hua¹ TAO Hong¹ LIN Bao-min¹ JIA Li-shan²

(1. 广东中烟工业有限责任公司技术中心, 广东 广州 510385; 2. 厦门大学, 福建 厦门 361005)

(1. China Tobacco Guangdong Industrial Corporation Limited, Guangzhou, Guangdong 510385, China;

2. Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

摘要:通过喷洒适量的甲酸溶液对烟叶进行处理,使叶片中的淀粉和蛋白质发生水解反应,从而起到有效降低淀粉和蛋白质含量的作用。50℃下,利用5%~10%的甲酸—水溶液以0.2 mL/g的喷淋量处理样品,烟叶的外观质量和微观结构无明显变化,仍具有良好的加工性能。FTIR红外光谱分析显示,甲酸处理后烟叶中的淀粉和蛋白质的特征官能团峰强度明显减弱,说明烟叶中的淀粉和蛋白质能被甲酸有效降解,且降解率与甲酸浓度呈正相关。淀粉和蛋白质的水解产物多糖、单糖和多肽、氨基酸等可转化为致香成分。感官评吸结果表明,经适宜浓度的甲酸溶液处理的烟叶杂气减少,香气增加,烟叶的品质有明显改善。

关键词:甲酸;淀粉;蛋白质;降解;烟叶品质

Abstract: In order to solve the problem of poor sensory quality caused by the high content of starch and protein in tobacco leaves, a method for degrading starch and protein without affecting the workability of tobacco leaves was investigated. In this study, formic acid was used as catalyst to spray proper amount on tobacco leaves. The hydrolysis of starch and protein in tobacco leaves catalyzed by formic acid, which played an effective role in regulating and reducing the starch and protein content. When the concentration of formic acid ranged from 5% to 10% at 50℃, with the sprinkling rate of 0.2 mL/g formic acid solution to the

tobacco leaves, the appearance quality and microstructure of tobacco leaves were unchanged significantly, and the workability was still fine. The results of FTIR spectrum presented that the peak intensity of characteristic functional groups of starch and protein in tobacco leaves decreased obviously after formic acid treatment. The starch and protein of tobacco leaves could be effectively degraded by formic acid, and the degradation rate was positively correlated with the concentration of formic acid. The hydrolysate of protein is polypeptide and amino acid, and the hydrolysate of starch is polysaccharide and monosaccharide, which can transform into aroma components by Maillard reaction. The results of sensory evaluation showed that the tobacco treated by appropriate concentration of formic acid had less taste impurity, more aroma and better quality.

Keywords: formic acid; starch; protein; hydrolysis; tobacco quality

烟叶在生长过程中会累积淀粉和蛋白质作为其重要的生物质来源^[1],若烟叶中的淀粉和蛋白质含量过高则会导致卷烟感官品质下降。目前,中国烟叶普遍存在经烤制加工后淀粉和蛋白质残留量仍然过高的问题^[2-5],使得烟叶在吸食过程中有难闻的焦油气味和辛辣、苦涩感,燃烧性能不好^[6]。杂气与烟叶淀粉含量呈极显著正相关,烟叶淀粉含量越大,杂气越重^[7]。现有降解淀粉和蛋白质的主要方法为发酵法、臭氧法和紫外光法,这些方法虽可降低淀粉和蛋白质含量,但有一定的缺陷^[8-11]。发酵法引入的其他成分与烟叶分离工艺复杂,残存的一些成分会影响卷烟的食味^[12]。臭氧法和紫外光法容易使烟叶宏观结构产生变化,降低其可加工性。实际生产中,

基金项目:广东中烟工业有限责任公司资助项目(编号:粤烟工[2019]科字第4号)

作者简介:林云,女,广东中烟工业有限责任公司工程师,硕士。

通信作者:陶红(1974—),女,广东中烟工业有限责任公司高级工程师,博士。E-mail: taoh@gdzygy.com

收稿日期:2020-05-06

烟叶中的淀粉和蛋白质的降解不但要考虑结果的有效性^[13-15],同时更要注重处理过程对烟叶品质整体性的改善。

甲酸是烟气中本身就存在的关键酸味物质之一,与烟叶的相容性好,在烟叶燃烧过程中不会产生新的有害气体成分^[16]。GB 2760—2014 中,甲酸为允许使用的食品用合成香料,其对食品中的细菌性病原体有抑制或降低作用。研究拟利用甲酸有效降解烟叶中的淀粉和蛋白质,观察烟叶的外观质量和微观结构变化,并对降解后烟叶的感官品质进行评价,旨在为提升烟叶品质提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与原料

甲酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

复烤烟:2 个浓香型(2015 湖南 B2F,2015 湖南 C3F)、2 个中间香型[2015 贵州 B2F(B2),2014 贵州 C3F]和 2 个清香型(2015 云南普洱 B2F,2015 云南普洱 C3F),广东中烟工业有限责任公司。

1.2 仪器与设备

电子天平:BS-124-S 型,北京赛多利斯股份公司;

空气压缩机:ACO-003 型,广东日生集团有限公司;

双制式生化培养箱:SPX-150A-JBS 型,上海天恒医疗器械有限公司;

扫描电镜:Hitachi S-4800 型,日本日立公司;

压片机:GS15011 SPECAC LTD 型,英国能谱公司;

傅里叶变换红外光谱仪:Nicolet Avatar 330 型,赛默飞世尔科技有限公司;

双光束紫外可见分光光度计:TU-1901 型,北京普析通用仪器有限公司;

酶标仪:Spectra Max M5 SMP 500-1725 型,美谷分子仪器有限公司;

实验室烟叶切丝机:QS-2A 型,郑州嘉德机电科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 烟叶的甲酸处理 烟叶样品置于湿度为(60±2)%,温度为(22±2)℃的恒温恒湿环境中平衡 48 h,取出,50℃下分别将 5%,10%,20%的甲酸—水溶液通过压缩空气输送均匀喷淋在烟叶上,相对于烟叶的甲酸溶液喷淋量为 0.2 mL/g,处理时间 5 min,处理后将烟叶转移至上述恒温恒湿环境中平衡 48 h。以喷淋等量纯水的烟叶作为对照组。

1.3.2 烟叶品质分析

(1) 烟叶外观质量与微观结构:按 GB 2635—1992 的方法对烟叶的叶片结构、身份、油分和色度进行评估。采用 SEM 法进行微观结构扫描。

(2) FTIR:将烟叶样品与溴化钾以质量比 1:50 混合后研磨成粉末,经压片机压片后,采用傅里叶变换红外光谱仪进行 FTIR 检测分析。光谱采集范围 400~4 000 cm⁻¹,分辨率 4 cm⁻¹,扫描次数 64。

(3) 淀粉和蛋白质含量:分别采用碘显色法^[17]和三氯乙酸沉淀法^[18]。

(4) 感官评吸:用切丝机将烟叶切成(0.9±0.1) mm 的烟丝后制备卷烟样品,参照 YCT 138—1998 进行感官评吸。评吸人数不少于 7 人,依照劲头、浓度、细腻柔和程度、成团性、香气、香气量、杂气、刺激性、余味及回甜等指标进行评分,记录抽吸过程中的感官感受。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 16.0 软件进行数据统计和分析。

2 结果与讨论

2.1 烟叶外观质量与微观结构

2.1.1 外观质量 试验表明,经 5%,10%,20%甲酸—水溶液喷洒处理后烟叶的叶片结构、身份、油分与对照样品几乎没有差别,仅色度略微变深,但不影响烟叶的宏观结构,甲酸处理后的叶片没有出现传统紫外或臭氧处理常见的叶片变脆的问题,仍维持了良好的加工性能。烟叶颜色变深可能是甲酸作用于烟叶生成的中间产物糖类与氨基酸发生美拉德反应,产生了棕色色素。实际生产中,美拉德反应是卷烟香味激发的一个重要方式;而现有工艺中,美拉德反应通常依赖于糖料的添加,但有研究^[19]指出,随着烟叶外加糖的增加,焦油量会逐渐增大,双糖和多糖还易使卷烟出现易吸湿、燃烧不完全的问题。甲酸的添加则不同于直接添加糖料,后续的感官评吸过程中并没有发现上述问题,可能是因为甲酸所引发的美拉德反应是一个相对间接且动态性较强的过程,中间产物糖类生成时便可与氨基酸逐步反应生成致香成分,能较好地避免糖料量及种类添加不当所导致的各种问题。

2.1.2 微观结构 由图 1 可知,经 5%,10%甲酸—水溶液喷洒处理后的烟叶与对照组无明显区别,但当甲酸浓度增加至 20%时,烟叶表面组织平滑度下降,细胞轮廓变模糊,析出一些小颗粒物质,并出现胶溶聚集现象。说明瞬时酸浓度过大会对叶片细胞的微观结构产生一定影响,但对烟叶的宏观结构和加工性能无影响。为排除潜在的不良影响,甲酸溶液的喷洒浓度原则上以 5%~10%为宜。

2.2 FTIR 分析

由图 2 可知,以经 10%甲酸处理的烟叶样品为例,1 627 cm⁻¹处峰强度明显减弱,该峰应归属于多肽的酰胺基团的伸缩振动峰,峰强度减弱表明蛋白质可能发生分解转化^[13-15]。1 407,1 393 cm⁻¹处应是 C—OH 的弯

曲振动峰,1 318 cm^{-1} 处是 C—O 的伸缩振动峰,778, 600 cm^{-1} 处是 C—H 的弯曲振动峰,1 724 cm^{-1} 处是 C=O 的伸缩振动峰。C—OH、C—H、C—O 等基团的弱

化表明烟叶的淀粉可能发生分解转化^[10]。由此可初步推测,经甲酸溶液处理后,烟叶中的淀粉和蛋白质很可能被降解,但还需利用其他方法对二者进行精确定量。

2.3 淀粉和蛋白质含量

由表 1 可知,选用的 6 种烟叶经甲酸处理后,淀粉和

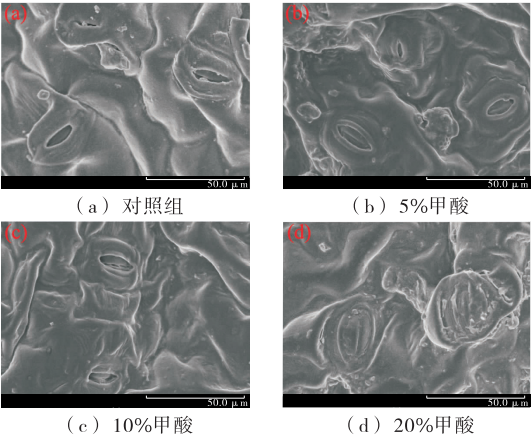
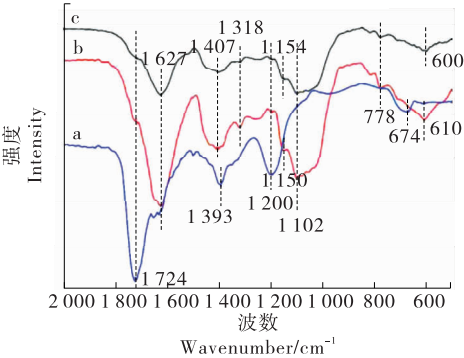


图 1 烟叶经甲酸处理前后的 SEM(2015 湖南 B2F)
Figure 1 SEM photos of tobacco before and after formic acid catalytic treatment (2015 Hunan B2F)



a. 甲酸 b. 对照组烟叶 c. 经 10%甲酸处理后的烟叶
图 2 红外光谱图(2015 湖南 B2F)
Figure 2 FTIR spectrum of tobacco (2015 Hunan B2F)

表 1 不同甲酸浓度下降解烟叶的淀粉和蛋白质含量

Table 1 Effect of formic acid concentration on regulating and reducing the content of starch and protein in tobacco leaves %

烟叶	甲酸浓度	淀粉		蛋白质	
		含量	降解率	含量	降解率
2015 湖南 B2F	0	4.88±0.05		7.34±0.07	
	5	4.67±0.02	4.30	5.82±0.08	20.71
	10	4.12±0.05	15.57	4.80±0.09	34.60
	20	3.22±0.07	34.02	3.64±0.02	50.41
2015 湖南 C3F	0	5.91±0.08		9.26±0.03	
	5	5.39±0.02	8.80	6.37±0.06	31.21
	10	4.82±0.03	18.44	5.38±0.02	41.90
	20	3.79±0.03	35.87	4.21±0.08	54.54
2015 贵州 B2F(B2)	0	4.62±0.02		11.36±0.10	
	5	4.15±0.04	10.17	9.53±0.04	16.11
	10	2.68±0.03	41.99	6.79±0.05	40.23
	20	1.96±0.05	57.58	4.86±0.02	57.22
2014 贵州 C3F	0	4.48±0.03		8.84±0.11	
	5	3.87±0.04	13.62	5.76±0.05	34.84
	10	3.06±0.05	31.70	3.26±0.05	63.12
	20	2.32±0.02	48.21	3.05±0.04	65.50
2015 云南普洱 B2F	0	2.68±0.02		8.13±0.02	
	5	1.89±0.03	29.48	6.39±0.02	21.40
	10	1.58±0.02	41.04	4.75±0.04	41.57
	20	1.33±0.08	50.37	3.77±0.06	53.63
2015 云南普洱 C3F	0	3.44±0.04		11.59±0.10	
	5	3.24±0.03	5.81	8.28±0.07	28.56
	10	2.84±0.03	17.44	5.69±0.07	50.91
	20	2.02±0.02	41.28	4.18±0.07	63.93

蛋白质含量都有一定程度的下降,且其降解率与甲酸溶液浓度呈正相关。经 5%甲酸处理后烟叶的淀粉和蛋白质含量显著低于($P<0.05$)对照组。随着甲酸浓度的增加,烟叶中的淀粉和蛋白质的降解幅度更大。相同浓度的甲酸溶液对 6 种烟叶样品的淀粉和蛋白质的降解效果不一,以经 5%甲酸溶液处理的烟叶为例,6 种烟叶中淀粉降解率为 4.30%~29.48%,蛋白质降解率为 16.11%~34.84%。从香型而言,浓香型烟叶本身的淀粉含量较高,在相同的甲酸浓度下,其降解率略低于中间香型和清香型。从烟叶部位而言,上部烟的蛋白质降解率普遍低于中部烟,可能是由于不同部位烟叶的表面吸附程度和内部结构差异所致。总体而言,甲酸能够有效降解烟叶中的淀粉和蛋白质,实际生产中,可通过调整甲酸溶液的浓度来调整醇化强度。

2.4 感官评吸

由表 2 可知,与对照组相比,经 10%甲酸处理的烟叶的香气质、香气量、杂气和烟气细腻程度显著提升。主要原因有:① 由于淀粉和蛋白质原本就会给烟气带来不良的吸食感觉,二者含量的降低能直接减少烟叶杂气,降低刺激性;② 淀粉和蛋白质分解后,降解产物为糖类和氨基酸,这些产物在一定的温度下能发生美拉德反应,使烟叶香气质和香气量有所提升。从香型而言,各烟叶感官质量改善的幅度有所区别,清香型的总体提质效果不如浓香型和中间香型,仅为 0.5 分的提升,而浓香型和中间香型可达 1.2~2.7 分的提升。这可能是因为清香型的烟叶淀粉含量基础值低于浓香型和中间香型,且云南的烟叶普遍含糖量较高,品质佳,可改善的空间相对较小。

3 结论

研究利用不同浓度的甲酸处理烟叶,并分析其外观质量、微观结构、化学成分和感官评价,得出以下结论:

(1) 甲酸的添加能有效降解烟叶中的淀粉和蛋白质,二者的降解率与甲酸溶液浓度呈正相关。实际应用中,建议以 5%~10%的甲酸为宜,过高的浓度会对烟叶微观结构和吸食感受产生不良影响。相同甲酸处理浓度下,不同烟叶的降解率差别较大,其确切机理和变化规律还需进一步研究。

(2) 对于不同香型的烟叶,该方法的提质效果有所区别,后续可对烟叶致香成分进行分析,摸索不同香型烟叶香味的变化规律。

(3) 甲酸能与烟叶中的烟碱发生不同程度的中和反应,当酸浓度较低时,烟碱值的下降幅度对烟叶的感官风格特征没有明显影响,加大酸浓度则会使得浓度和劲头逐步下降。因此,可根据实际需求来控制甲酸浓度,对于烟碱适中的中部烟和上部烟,宜使用较低浓度的甲酸溶液,而对于个别烟碱过高,杂气和刺激性强的上部烟而言,可适当加大酸浓度。若加大酸浓度,则需要解决烟气有酸味的问题,可在反应一段时间后尝试采用鼓风或烘烤等方法去除部分甲酸。此外,由于下部烟的淀粉和蛋白质含量普遍较低,不建议使用该方法对其进行醇化处理。

(4) 适度的甲酸处理不会改变烟叶的加工性能,相较于以往研究中常用的加工方式,甲酸喷淋法能更好地兼顾加工过程的效率和结果的完整性。若应用于实际生产中,其可操作性强,易于流程化、标准化,后续可优化温度、醇化时间等工艺参数,使该方法能更好地与实际生产相结合。

表 2 经 10%甲酸—水溶液处理的烟叶感官评吸值[†]

Table 2 Sensory evaluation value of f tobacco leaves treated by 10% formic acid

烟叶	组别	劲头	浓度	细腻柔和程度	成团性	香气质	香气量	杂气	刺激性	余味	回甜	总分
2015 湖南 B2F	对照组	6.5	6.5	5.0	6.0	6.0	6.5	5.5	6.5	6.0	5.5	47.0
	10%甲酸	6.3	6.5	5.2	6.2	6.0	7.3	6.0	6.5	6.3	6.0	49.5
2015 湖南 C3F	对照组	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.0	6.5	6.5	6.0	50.0
	10%甲酸	6.0	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5	6.0	52.5
2015 贵州 B2F (B2)	对照组	6.8	6.8	5.5	6.0	6.0	6.4	6.0	6.3	6.1	6.0	48.3
	10%甲酸	6.3	6.8	5.8	6.2	6.3	6.4	6.0	6.5	6.3	6.0	49.5
2014 贵州 C3F	对照组	6.0	6.0	6.5	6.0	6.5	6.5	6.5	6.0	6.5	6.0	50.5
	10%甲酸	6.0	6.0	6.7	6.0	7.0	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5	53.2
2015 云 南 普 洱 B2F	对照组	7.0	7.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	49.0
	10%甲酸	7.0	7.0	6.0	6.0	6.5	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	49.5
2015 云 南 普 洱 C3F	对照组	6.5	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	6.5	6.5	6.5	6.5	53.0
	10%甲酸	6.5	6.5	6.5	6.5	7.0	7.5	6.5	6.5	6.5	6.5	53.5

[†] 单项指标满分均为 10 分,浓度和劲头越大,得分越高,其他指标则质量特征越好,得分越高;浓度和劲头属于风格特征,不纳入总分的计算。

参考文献

- [1] PETRA Matt, ULI Schurr, DIANA Klein, et al. Growth of tobacco in short-day conditions leads to high starch, low sugars, altered diurnal changes in the Nia transcript and low nitrate reductase activity, and inhibition of amino acid synthesis[J]. *Planta*, 1998, 207(1): 27-41.
- [2] 姚光明. 降低烟叶中蛋白质含量的研究[J]. *烟草科技*, 2000(9): 6-8.
- [3] 王万能, 项钢燎, 翟羽晨, 等. 烤烟烟叶烘烤中蛋白质的降解动态变化规律研究[J]. *浙江农业学报*, 2017, 29(12): 2120-2127.
- [4] 蔡兵, 孙俊举, 余世科. 酶法降解白肋烟中蛋白质含量研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(6): 2570-2571.
- [5] 罗凯玉, 付凯睿, 田斌强. 烟叶淀粉研究进展[J]. *粮食科技与经济*, 2019, 44(10): 92-96.
- [6] 杨宗灿, 刘向真, 叶建斌, 等. 复合蛋白酶对烟叶中蛋白质的降解研究[J]. *河南农业大学学报*, 2016, 50(5): 683-687, 695.
- [7] 许春平, 杨琛琛, 方金辉. 低次烟叶发酵制备烟草香料的研究[J]. *郑州轻工业学院学报(自然科学版)*, 2013, 28(1): 34-37.
- [8] SHI Wen-ying, LI Hong-bin, ZENG Xian-hua, et al. The extraction of tobacco protein from discarded tobacco leaf by hollow fiber membrane integrated process[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2019, 58: 102245.
- [9] WANG Jian-an, YANG Gai-he, LI Chun-xia. Zonal distribution of neutral aroma components in flue-cured tobacco leaves[J]. *Phytochemistry Letters*, 2018, 24: 125-130.
- [10] RICHARD R Baker, STEVEN Coburn, CHUAN Liu, et al. Pyrolysis of saccharide tobacco ingredients: A TGA-FTIR investigation[J]. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2005, 74: 171-180.
- [11] NAOTO Yamaguchi, SHOICHI Suzuki, AMANE Makino. Starch degradation by alpha-amylase in tobacco leaves during the curing process[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2013, 59(6): 904-911.
- [12] ZHU W K, WANG Y, CHEN L Y, et al. Effect of two-stage dehydration on retention of characteristic flavor components of flue-cured tobacco in rotary dryer[J]. *Drying Technology*, 2016, 34(13): 1621-1629.
- [13] TENG Zi, WANG Qin. Extraction, identification and characterization of the water-insoluble proteins from tobacco biomass[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, 92(7): 1368-1374.
- [14] LING Jun, LI Yi-xiao, ZHOU Bo, et al. The amphoteric ion exchange membrane based on CS/CMC for tobacco-protein adsorption and separation from tobacco extract[J]. *International Journal of Polymer Science*, 2019, 2019: 1-9.
- [15] ALI H, PÄTZOLD R, BRÜCKNER H. Determination of L- and D-amino acids in smokeless tobacco products and tobacco[J]. *Food Chemistry*, 2006, 99: 803-812.
- [16] WANG Rui-qi, WANG Na-ni, ZHANG Jia-jie, et al. Response surface methodology to optimize gradient ion chromatographic separation of inorganic anions and organic acids in tobacco leaves[J]. *Chinese Chemical Letters*, 2011, 22: 1465-1468.
- [17] 张峻松, 贾春晓, 毛多斌, 等. 碘显色法测定烟草中的淀粉含量[J]. *烟草科技*, 2004, 202(5): 24-26.
- [18] 翟羽晨, 王万能, 项钢燎, 等. BCA-TCA 法快速测定烟草蛋白质的研究[J]. *河南农业科学*, 2017, 46(9): 156-160.
- [19] 陈庆林. 关于在烟叶配方中使用糖料对焦油影响的想法[J]. *烟草科技*, 1988(5): 19-21.
- [12] 刘宗博, 李大婧, 李德海, 等. 3 种预处理方式对双孢菇干制品品质的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(19): 72-76.
- [13] 严小辉, 余小林, 胡卓炎, 等. 超声预处理对半干型荔枝干干燥时间的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(3): 351-356.
- [14] 任仙娥, 何仁, 黄永春, 等. 超声强化菠萝渗透脱水工艺[J]. *食品科学*, 2010, 31(22): 279-282.
- [15] JAMBRAK S R, MASON T J, PANIWNKY L, et al. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 81(1): 88-97.
- [16] KADAM S U, TIWARI B K, O'DONNELL C P. Effect of ultrasound pre-treatment on the drying kinetics of brown Seaweed *Ascophyllum nodosum*[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2015, 23(23): 302-307.
- [17] DEHGHANNYA J, RASOUL G, GHANBARZADEH B. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on drying kinetics and effective moisture diffusivity of *Mirabelle Plum*[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015, 39(6): 2710-2717.
- [18] WANG Lin, XU Bao-guo, WEI Ben-xi, et al. Low frequency ultrasound pretreatment of carrot slices: Effect on the moisture migration and quality attributes by intermediate-wave infrared radiation drying[J]. *Ultrasonic Sonochemistry*, 2018, 40: 619-628.
- [19] NASCIMENTO E M G C, MULET A, ASCHERI J L R, et al. Effects of high-intensity ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of passion fruit peel[J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 170: 108-118.
- [20] NOWACKA M, WITROWA-RAJCHERT D, WIKTOR A, et al. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 113(3): 427-433.
- [21] RICCE C, ROJAS M L, MIANO A C, et al. Ultrasound pretreatment enhances the carrot drying and rehydration[J]. *Food Res Int*, 2016, 89(1): 701-708.

(上接第 210 页)