

麦芽糊精对喷雾干燥桃全粉物理性质的影响

李 聪^{1,2} 周 沫¹ 毕金峰^{1*} 常学东² 宁椿源¹

(¹中国农业科学院农产品加工研究所 农业部农产品加工重点实验室 北京 100193

²河北科技师范学院 食品科技学院 河北昌黎 066600)

摘要 本文研究了麦芽糊精添加量对喷雾干燥桃全粉水分含量、色泽、粒径分布、微观结构、玻璃化转变温度、流动行为及水分吸附特性等物理性质的影响。结果表明:麦芽糊精对喷雾干燥桃全粉物理性质具有显著影响,当麦芽糊精添加量从 4% 增至 16% 时,桃全粉的水分含量降低 35.28%,玻璃化转变温度升高 4.84 ℃,基本流动能降低 29.24%,水分吸附量降低 23.53%。此外,色泽、粒径分布、微观结构等均随之改变。综合桃全粉的物理性质,选择麦芽糊精添加量为 12%,在该比例下生产的桃全粉品质较好。本试验为桃全粉的加工提供参考数据。加工品质优良的桃全粉必须严格控制麦芽糊精的添加量。

关键词 麦芽糊精; 喷雾干燥; 桃全粉; 物理性质

文章编号 1009-7848(2019)05-0155-09 **doi:** 10.16429/j.1009-7848.2019.05.020

桃(*Amygdalus persica* L.)属于蔷薇科、李属植物,起源于我国西部^[1],其果实营养丰富,具有重要的医用和营养价值^[2],深受广大消费者喜爱。中国是世界上桃的主要生产国,据 FAO 统计显示,2014 年中国桃产量达 1 242.37 万 t,居世界首位^[3]。虽然中国桃加工业有巨大的产量优势,但桃加工量仅占产量的 13% 左右,与发达国家相比还有较大差距。此外,桃加工的产品种类也比较单一,主要以桃汁和桃罐头为主^[4-5]。开发新型桃加工制品,提高桃原料利用率,延伸桃加工产业链,具有重要的社会和经济价值。

随着果蔬加工行业的快速发展,果蔬粉逐渐成为果蔬加工的热点之一,这是因为它可以应用到食品加工的各个领域,不仅能提高产品的营养成分,还能改善产品的色泽和风味,增加产品的种类^[6]。而喷雾干燥作为目前食品工业常用的干燥方式之一,已广泛应用于果蔬粉加工领域^[7]。果汁中含有大量小分子糖,主要是葡萄糖和果糖,其易在喷雾干燥过程中造成粉体的粘壁现象,使喷雾干燥难以进行^[8]。解决这个问题的方法之一就是

在果汁中加入助干剂,降低果汁的黏度,保证干燥过程顺利完成^[9]。麦芽糊精是最常用的助干剂之一,已被应用于多种含糖物料的喷雾干燥,如甘蔗汁^[10]、石榴汁^[11]、葡萄汁^[12]、苹果汁^[13]、橙汁^[14]及西瓜汁^[15]等。然而,麦芽糊精添加量会对喷雾干燥果蔬粉的水分、色泽、流动性、吸湿性等物理性质产生显著影响。关于麦芽糊精对喷雾干燥果蔬粉物理性质的影响国内外已有相关研究,如 Osman 等^[16]报道了麦芽糊精对喷雾干燥洛神花菠萝粉的水分含量、溶解性、吸湿性等物理性质的影响。Taip 等^[17]研究了麦芽糊精对喷雾干燥番石榴粉水分含量、粒径分布、堆积密度及色泽等物理性质的影响。迄今关于麦芽糊精对喷雾干燥桃粉产品物理性质的影响尚未报道。

本文旨在研究麦芽糊精对喷雾干燥桃全粉水分含量、色泽、粒径分布、微观结构、玻璃化转变温度、流动行为及水分吸附特性等物理性质的影响,为桃粉的规模化生产提供一些基础性数据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

试验用桃品种为久保,购于北京平谷。原料购回后切片,立即用液氮速冻,于-40 ℃冷库中保存;麦芽糊精,孟州市金玉米有限责任公司。

收稿日期: 2018-05-11

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201503142)

作者简介: 李聪,男,1992 年出生,硕士生

通讯作者: 毕金峰 E-mail: bijinfeng2010@163.com

1.2 仪器与设备

MASTER- α 手持折光仪,日本 ATAGO 公司; Aqualab Pre 水活度仪,美国 Decagon 公司;CM-700D 分光测色仪色差计,日本美能达公司;SU8010 高分辨冷场发射扫描电子显微镜,日本 HITACHI 公司;S3500(BWDL)激光粒度分析仪,美国 Microtrac 有限公司;DSC-Q200 差示扫描量热仪,美国 TA 仪器公司;FT4 多功能粉质分析仪,英国 Freeman Technology 公司;动态水蒸气吸附仪,英国 SMS 公司。JYL-C51V 料理机,九阳股份有限公司;JM-80 胶体磨,廊坊市通用机械有限公司;JN-02C 高压均质机,广州聚能生物科技有限公司;Labplant SD-Basic 实验室喷雾干燥系统,英国 Labplant 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 桃全粉制备工艺流程 桃片→解冻→打浆→加水和麦芽糊精→过胶体磨→均质→干燥→成品→密封保存。

具体步骤:将存放于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷库中的桃片取出,经常温解冻后打浆(可溶性固形物含量为8%),在桃浆中按1:1(mL/g)的比例加入水(可溶性固形物含量为4%),然后分别加入浆料质量4%,8%,12%,16%的麦芽糊精(可溶性固形物含量依次为8%,11%,14%,17%),过两次胶体磨,使糊精和桃浆充分混匀,再经高压均质(30 MPa,30 $^{\circ}\text{C}$)后喷雾干燥(进风温度 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$,进料温度 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$,进料流量 0.80 L/h),最后得到桃全粉成品,密封后于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存备用。

1.3.2 指标测定方法

1) 水分含量 直接干燥法^[18]。

2) 水分活度 使用水分活度仪测定,将桃粉平铺于样品测试盒内,确保盒底被完全覆盖。

3) 样品色泽 利用手持色差仪测定,先用标准比色板校准,再将桃粉平铺于粉体测试盒内,依据 CIELAB 表色系统测量桃片的明度指数 L 、红绿指数 a 及黄蓝指数 b ,并计算色差值 ΔE 。

$$\Delta E = \sqrt{(L-L_0)^2 + (a-a_0)^2 + (b-b_0)^2}$$

式中, ΔE ——样品的色差值; L 、 a 、 b ——桃粉的色泽值; L_0 、 a_0 、 b_0 ——鲜桃浆的色泽值。

4) 粒径分布 采用激光粒度分析仪测定桃粉的粒径及其分布。

5) 微观结构 用离子溅射仪将待测桃粉表面喷金后于扫描电镜下放大 1 000 倍观测。

6) 稳定性和流动速率变化测试 (Stability and Variable Flow Rate) 利用 FT4 多功能粉质分析仪测定,所有测试采用直径 48 mm 的叶片和 50 mm 的容器,每次取样量 60 g。

7) 玻璃化转变温度 (Glass transition Temperature, T_g) 利用差示扫描量热仪 (Differential Scanning Calorimetry, DSC) 测定桃粉:采用蒸馏水(熔点 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta H_m=333.88\text{ J/g}$)和钢(熔点 $156.60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta H_m=28.44\text{ J/g}$)对仪器熔融焓 ΔH_m 和温度进行校正。扫描过程中通入高纯氮气作为载气,称取 3 至 4 mg 样品密封于坩埚中,以空坩埚作为对照。DSC 扫描程序:待测样品以 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度由 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$,平衡 10 min 后以 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。利用 DSC 自带分析软件 TA 得到热流密度曲线,最后分析得出初始点 (T_{gi})、中点 (T_{gm}) 及终点 (T_{ge}) 的玻璃化转变温度。

8) 吸湿特性及吸附动力学 利用动态水分吸附仪 (Dynamic Vapour Sorption, DVS Intrinsic) 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下测定桃粉。准确称取 25 mg 样品在连续气流下达到吸附平衡,相对湿度从 0% 增到 90%,之后以相同的方式降低。

1.4 数据分析

通过 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析 (ANOVA) 和 Duncan 多重比较分析,所有测试均重复 3 次,数据以平均值 \pm 标准差的形式表示。

2 结果与分析

2.1 桃全粉的水分含量、水分活度和粒径分布

4 种桃粉的水分含量在 2.55% 至 3.94% 之间,且随着麦芽糊精添加量的增大,桃粉的水分含量降低。在喷雾干燥系统中,料液的水分含量会对生产的粉末的水分含量有明显的影响^[19]。这是因为添加麦芽糊精增大了料液中的可溶性固形物含量,进而减小了用于蒸发的水分比例。这表明通过增大料液中麦芽糊精的添加量,可以获得较低水分含量的粉。

水分活度是喷雾干燥粉末的重要指标,因为它可以对粉末的保质期产生极大的影响^[20]。水分活度与水分含量的不同之处在于:水分含量代表

食品中的水组成,而水分活度表示用于参加生物化学反应的游离水的多少。水分活度越高,参加生化反应的游离水越多,从而降低食品的保存期。通常情况下,当食品的 $A_w < 0.6$ 时,从微生物学角度看食品是稳定的。由表 1 可知,喷雾干燥桃全粉的水分活度在 0.2 以下,这意味着桃全粉处于相对稳定的状态。此外,数据还表明,随着麦芽糊精添加量的增大,桃全粉的水分活度降低,这与 Goula 等^[21]和 Kha 等^[22]的研究结果一致。

由表 1 还可知,不同麦芽糊精添加量的桃粉的平均粒径范围为 5.01~5.27 μm ,添加量最小的桃粉平均粒径最大,而添加量最大的桃粉平均粒径最小,其中添加量为 8% 和 12% 的两种桃粉差异不显著。而这种差异的原因可由粒径分布图(图 1)看出,随着麦芽糊精添加量的减小,大于 50 μm 的颗粒体积分布逐渐增大,说明增大麦芽糊精的添加量,可改善桃粉的粒径分布,使其趋于集中,有利于得到细腻的桃粉。

表 1 不同麦芽糊精添加量桃全粉水分含量、水分活度和粒径 D_{50} 对比

Table 1 Comparison of moisture content, water activity and PSD of peach powders with different addition of maltodextrin

麦芽糊精添加量/%	水分含量/%	水分活度	粒径分布 $D_{50}/\mu\text{m}$
4	3.94 ± 0.36^c	0.199 ± 0.004^d	5.27 ± 0.07^b
8	3.64 ± 0.05^{bc}	0.171 ± 0.003^c	5.12 ± 0.02^{ab}
12	3.3 ± 0.1^b	0.150 ± 0.004^b	5.13 ± 0.13^{ab}
16	2.55 ± 0.22^a	0.136 ± 0.002^a	5.01 ± 0.06^a

注:表内数据均取 3 次测定的平均值,同一栏内标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

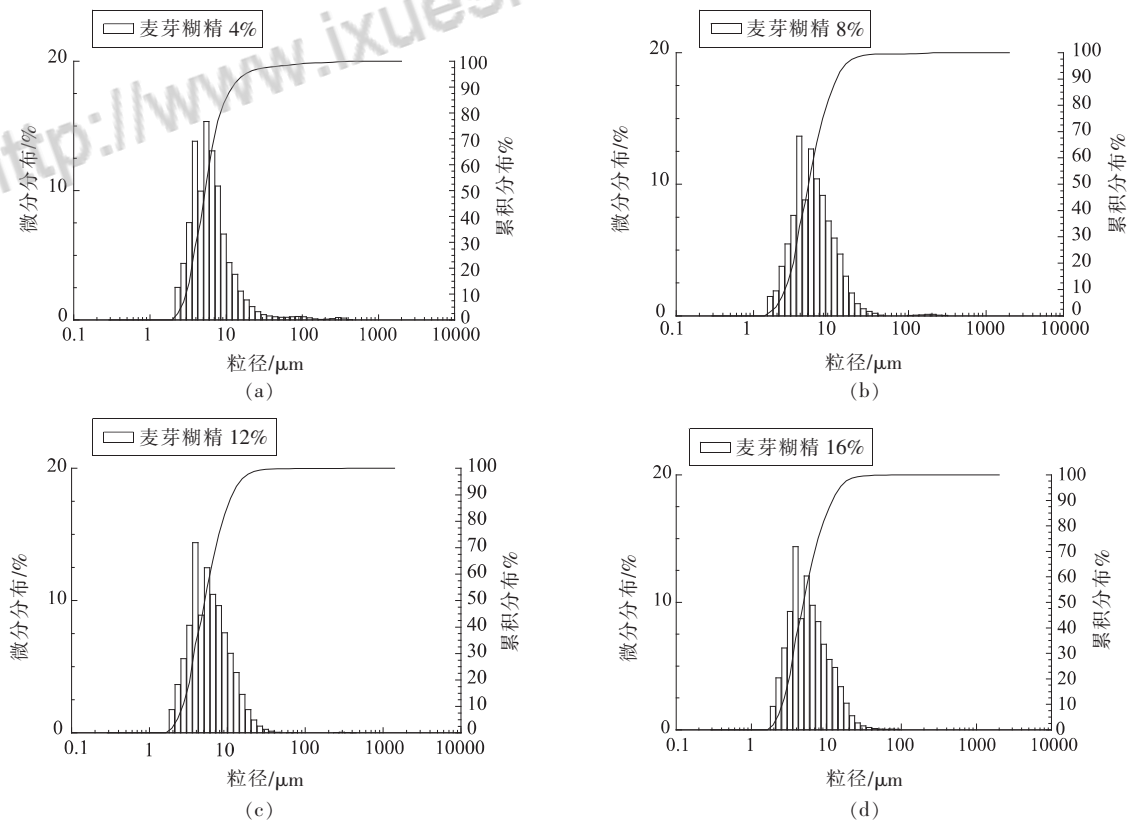


图 1 不同麦芽糊精添加量桃全粉的粒径分布图

Fig.1 Particle size distribution of peach powders with different addition of maltodextrin

2.2 桃全粉微观结构

不同麦芽糊精添加量对桃粉微观结构的影响见图2。当麦芽糊精添加量为4%时,颗粒间的粘连程度比较大,相互作用明显,粒径分布不均匀;当麦芽糊精添加量为8%时,颗粒间的粘连效果相较4%时明显变小,颗粒整体呈球状,畸形颗粒较少;当麦芽糊精添加量为12%时,颗粒的整体效果图相较前两幅更加清晰,细小颗粒增多,可以明显看到一定数量小体积的颗粒粘结在大体积颗粒的

表面,且一部分颗粒表面呈凹陷状态,这可能是由于液滴在干燥过程中水分快速蒸发,造成颗粒表面出现收缩塌陷的现象^[23,24];当麦芽糊精添加量为16%时,颗粒间逐渐趋于分散状态,颗粒粒径分布较均匀,大体积颗粒减少,而大部分颗粒表面呈塌陷状态。这说明桃粉的表现结构与麦芽糊精添加量有关,随着添加量的增大,颗粒间的粘连程度减轻,粒径分布会更加均匀。

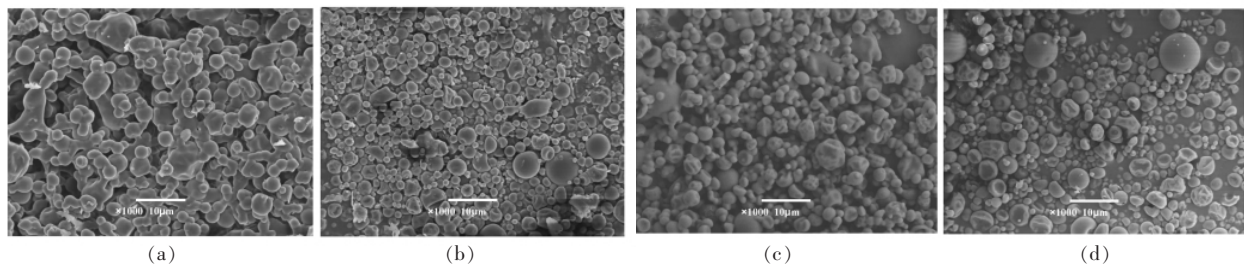


图2 不同麦芽糊精添加量桃粉的微观结构电镜扫描图(a-d:4%~16%)

Fig.2 Scanning electron microscope images of peach powders with different addition of maltodextrin(a-d:4%~16%)

2.3 桃全粉色泽

色泽是评价喷雾干燥果蔬粉体的重要指标之一,也是感官评价最直观的指标。在喷雾干燥过程中,麦芽糊精添加量对粉体的色泽有直接的影响。由图2可以看出,随着麦芽糊精添加量的增大,4种桃粉的L值增大,与鲜桃浆对比发现,喷雾干燥桃粉的亮度显著增大。这说明麦芽糊精添加量越大,粉体颜色越趋向于白色,且高温会导致粉体颜色的改变^[25]。色差值 ΔE 表示原料干燥前、后色泽的差异, ΔE 值越小,干燥后粉体的色泽保留越好。随着麦芽糊精添加量的增大, ΔE 值逐渐增大。麦芽糊精添加量越大,桃粉色泽越淡,与鲜样的差异就越大,这与陈芳等^[25]的研究结果一致。

2.4 玻璃化转变温度

在粉末产品中,塌陷、黏性、结块和重结晶现象与产品的无定形基体的橡胶态有关。 T_g 被认为是影响粉末稳定性的重要因素^[27-29]。水分含量增加会导致完全无定型和部分结晶食品的 T_g 降低。

利用TA软件分析得到升温过程中桃粉的DSC热流曲线如图4所示。样品在升温过程中仅出现玻璃化转变,说明样品中只含非冻结水,这与

毕延娣等^[30]利用DSC测定灰枣粉的 T_g 所得结论一致。

表2显示不同麦芽糊精添加量桃粉玻璃化转变的初始点、中点及终点。本文采用曲线的中点即 T_{gm} 作为玻璃化转变温度的特征值。由表2可看出,随着麦芽糊精添加量的增大,桃粉水分含量降低, T_{gm} 由47.36℃升高到52.2℃, T_g 明显升高,这与Roos等^[31]对麦芽糊精、草莓 T_g 的研究结果一致。

2.5 稳定性和流动速率

基本流动能(BFE)是指在预处理后的指定体积粉末中建立一种特定流动模式时所需的能量。在这种特定流动模式中,叶片逆时针向下运动,这是一种对粉末产生压缩的,相对高应力的流动模式。BFE数值是叶片从粉末上端移动到底部所做的总功。4种桃粉的BFE值差异显著,且随着麦芽糊精添加量的增大而减小,说明麦芽糊精加得越多,桃粉越容易流动,这与粒径分布和扫描电镜图的结论一致。当麦芽糊精添加量增大时,颗粒间的粘结程度减轻,粒径分布更加均匀,流动性更好,所需能量降低。稳定性指数(Stability Index,SI)用

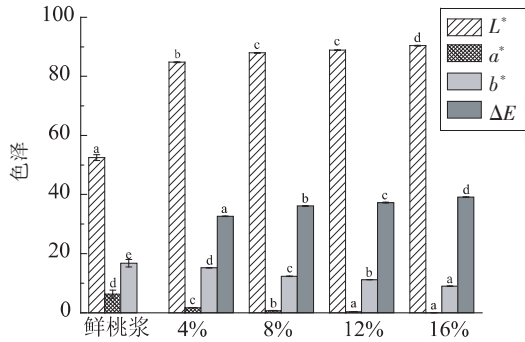


图 3 麦芽糊精添加量对桃粉色泽的影响

Fig.3 Effects of maltodextrin addition on the color of peach powers

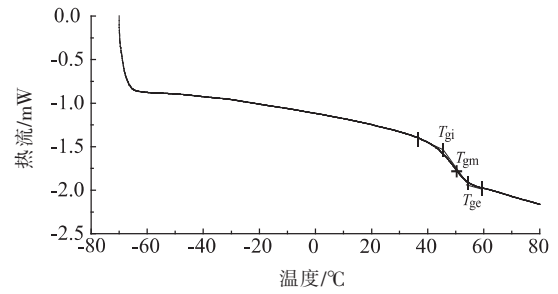


图 4 桃全粉 DSC 曲线

Fig.4 DSC curves of peach power

表 2 不同麦芽糊精添加量桃粉的玻璃化转变温度

Table 2 Glass transition temperature for peach powders with different addition of maltodextrin

麦芽糊精添加量/%	玻璃化转变初始点 $T_{gi}/^{\circ}\text{C}$	玻璃化转变中点 $T_{gm}/^{\circ}\text{C}$	玻璃化转变终点 $T_{gc}/^{\circ}\text{C}$
4	41.92	47.36	51.83
8	43.58	47.67	52.05
12	43.84	49.6	53.87
16	47.62	52.2	56.22

来描述粉末是否随着测试重复进行而发生变化。麦芽糊精添加量分别为 8%、12% 和 16% 的桃粉可视为相对稳定 ($0.9 < SI < 1.1$), 而麦芽糊精添加量 4% 的桃粉稳定性略差。流动速度指数 (Flow Rate Index, FRI) 是测量粉末对在不同速率下产生流动的敏感程度。与大多数粉末一样, 这 4 种桃粉都随流动速率的降低而增加。特别流动能 (Specific Energy, SE) 可用来描述粉末在松散堆积状态下的

流动性, SE 值越低, 意味着颗粒间的机械咬合越弱。4 种桃粉的 SE 值由低到高依次为, $4\% < 8\% < 16\% < 12\%$ 。预处理粉末的松装密度 (Conditioned Bulk Density, CBD) 只是粉末众多物理性质 (颗粒尺寸、形状和表面结构等) 中的一种。虽然它也能影响粉末流动, 但它并不是影响粉末流动性的主要因素。此次测试结果显示, 4 种粉末的松装密度差异不显著。

表 3 不同流速下测试参数对比

Table 3 Comparison of test parameters at different flow rates

添加量/ %	BFE/ mJ	SI	FRI	SE/ $\text{mJ} \cdot \text{g}^{-1}$	CBD/ $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$
4%	1062.13	1.12	1.61	9.56	0.33
8%	996.67	0.98	1.56	10.25	0.34
12%	774.21	1.02	1.52	10.61	0.35
16%	751.56	1.04	1.54	10.60	0.37

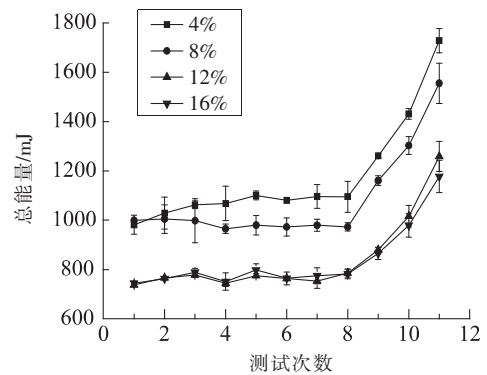


图 5 不同流速下桃粉的基本流动能

Fig.5 Basic flow energy of peach powders at different flow rates

2.6 吸湿特性和吸附动力学

食品的水分吸附被认为是决定其储存性、稳定性、加工和应用性能的关键因素^[32-33]。在许多情况下,过量的水分吸收导致结块、溶解及促进霉菌生长等现象。动态水分吸附仪(DVS)能在较宽的相对湿度(0%~98%)和温度下对食品物料的水分吸附动力学进行实时测量。

图6显示4种麦芽糊精添加量桃粉的水分吸附结果,其中实线表示所需相对湿度,虚线表示由于水分迁移到样品中或从样品中迁移出而引起的质量变化百分比。当RH小于50%时,4种桃粉的

质量变化率随RH变化幅度不大;当RH大于70%时,4种桃粉的平衡含水率随RH变化幅度明显增大,且随着麦芽糊精添加量的增大,桃粉的最终水分吸附量从55%降到42%左右。结果表明,当RH较低时,4种桃粉的水分吸附量也较小,而当RH较高时,桃粉的水分吸附量明显增多,且随着麦芽糊精添加量的增大,桃粉的最终水分吸附量减小。该结论与Osman等^[16]的研究结果一致,即增大麦芽糊精添加量会降低粉末的水分吸附量,这主要与粉末的水分含量有关。

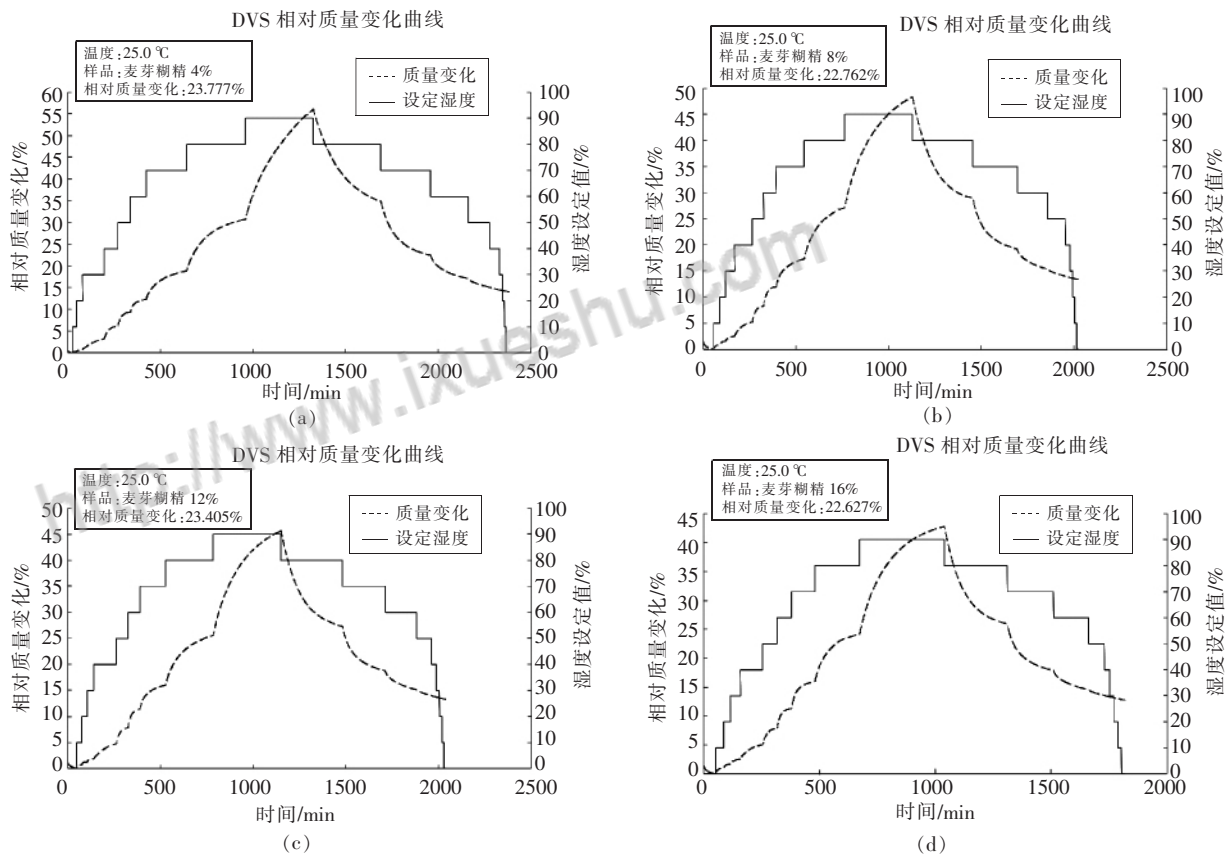


图6 25℃下桃粉的水分吸附动力学

Fig.6 Kinetics of water vapour sorption for peach powders at 25°C

图7为4种桃粉在25℃下的水分吸附等温线,实线和虚线分别表示桃粉的吸水和脱水行为。可以看出,4种桃粉的水分吸附等温线形状基本相似,随着RH的递增,水分吸附量呈递增趋势,且递增速率逐渐增大。吸附和解吸附等温线之间水分吸收的差异称为滞后效应。当RH小于50%时,4种桃粉的解吸等温线均呈直线状,说明此时被吸

收的水分已不可逆地附着在桃粉的表面,不能分离,这可能是其中形成了水合物或者结晶相的包覆所致。比较大的迟滞效应说明桃粉的吸水速率大于脱水速率。虽然增大麦芽糊精的添加量可减小水分吸附量,但并不能改善吸水与脱水所产生的迟滞现象。

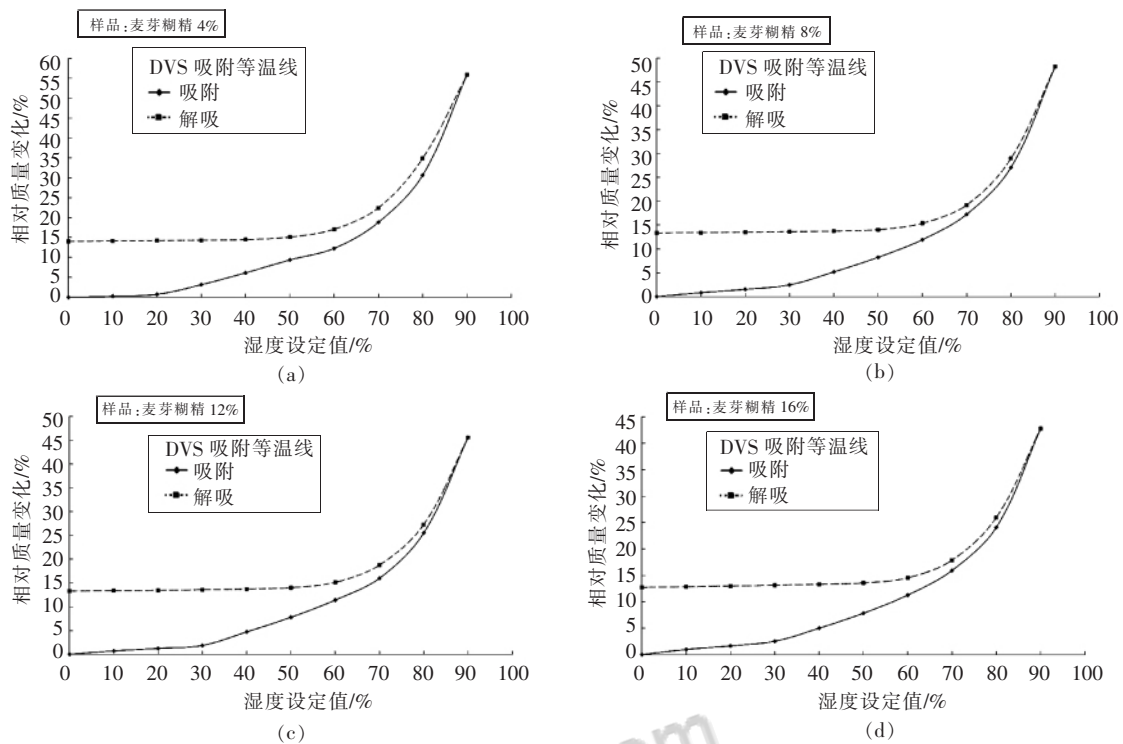


图7 25 °C下桃粉的水分吸附等温线

Fig.7 Water sorption isotherms for peach powders at 25 °C

3 结论

利用喷雾干燥技术制备桃全粉时,不同麦芽糊精添加量(4%,8%,12%,16%)对桃全粉物理性质影响显著。随着麦芽糊精添加量的增大,水分含量由3.94%降到2.55%,水分活度0.199降到0.136,粒径分布 D_{50} 由5.27 μm 降到5.01 μm ,色差 ΔE 由32.64升高到39.15,玻璃化转变温度由47.36 °C提高到52.2 °C,基本流动能由1 062.13 mJ降到751.56 mJ,水分吸附率由55.92%降到42.76%。喷雾干燥法生产桃全粉应在保证产品得率和稳定的条件下,尽量降低麦芽糊精添加量,以期获得感官特性优良的桃全粉产品。综合桃全粉的物理性质,选择麦芽糊精的最佳添加量为12%,在该种条件下生产的桃粉品质较好。

参 考 文 献

[1] 吕健, 毕金峰, 刘璇, 等. 桃变温压差膨化干燥预处理工艺研究[J]. 核农学报, 2013, 27(9): 1317-1323.
 [2] BELHADJ F, SOMRANI I, AISSAOUI N, et al.

Bioactive compounds contents, antioxidant and antimicrobial activities during ripening of *Prunus persica* L. varieties from the North West of Tunisia.[J]. Food Chemistry, 2016, 204(4): 29-36.

- [3] FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division). Production/Yield quantities of Peaches and nectarines in China [DB/OL]. (2016-01-18)[2016-11-23]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
- [4] 纪萍. 中国桃产业国际竞争力及出口影响因素研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [5] 吕健, 毕金峰, 赵晓燕, 等. 国内外桃加工技术研究进展[J]. 食品与机械, 2012(1): 268-271.
- [6] 王春燕, 赵长盛, 袁惠. 果蔬粉应用现状及存在问题研究[J]. 中国果菜, 2014(6): 37-40.
- [7] 卢义龙, 王明力, 李慧慧, 等. 喷雾干燥技术在食品工业中的应用现状[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(11): 276-278.
- [8] 刘华敏, 解新安, 丁年平. 喷雾干燥技术及在果蔬粉加工中的应用进展[J]. 食品工业科技, 2009, 30(2): 304-307, 311.
- [9] FANG Z, BHANDARI B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bay-

- berry juice[J]. Food Research International, 2012, 48(2): 478-483.
- [10] AVILA E L, RODRÍGUEZ M C. Influence of maltodextrin and spray drying process conditions on sugarcane juice powder quality[J]. Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín, 2014, 68(1): 7509-7520.
- [11] VARDIN H, YASAR M. Optimisation of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(1): 167-176.
- [12] MOSER P, SOUZA R T D, TELIS V R N. Spray drying of grape juice from hybrid CV. BRS Violeta: Microencapsulation of anthocyanins using protein/maltodextrin blends as drying aids[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2017, 41(1): 1-11.
- [13] PEREIRA A L F, ALMEIDA F D L, LIMA M A, et al. Spray-drying of probiotic cashew apple juice[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(9): 2492-2499.
- [14] NADDAF L, AVALO B, OLIVEROS M. Spray-dried natural orange juice encapsulants using maltodextrin and gum arabic[J]. Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia, 2012, 35(1): 20-27.
- [15] OBEROI D P S, SOGI D S. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 11(165): 172-178.
- [16] OSMAN A, ENDUT N. Spray Drying of roselle - pineapple juice effects of inlet temperature and maltodextrin on the physical properties[C]// International Conference on Environmental & Computer Science. Dubai, UAE: IEEE Computer Society, 2009: 267-270.
- [17] TAIP F S, SHISHIR M R I, AZIZ N A, et al. Effect of maltodextrin concentrations at different drying temperatures on the physical and drying properties of the spray-dried pink guava powder[J]. Journal of Applied Science and Agriculture, 2015, 10(5): 176-182.
- [18] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3-2010 食品中水分的测定[S]. 北京: 食品安全国家标准, 2010.
- [19] ABADIO F D B, DOMINGUES A M, BORGES S V, et al. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice—effect of malt dextrin concentration and atomization speed[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 64(3): 285-287.
- [20] FAZAELI M, EMAM-DJOMEH Z, ASHTARI A K, et al. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder[J]. Food & Bioprocess Processing, 2012, 90(C4): 667-675.
- [21] GOULA A M, ADAMOPOULOS K G. Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp [J]. LWT—Food Science and Technology, 2005, 38(5): 479-487.
- [22] KHA T C, NGUYEN M H, ROACH P D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 98(3): 385-392.
- [23] 苏东晓, 廖森泰, 张名位, 等. 喷雾干燥工艺条件对速溶龙眼粉理化特性的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(18): 3830-3839.
- [24] MAAS S G, SCHALDACH G, LITTRINGER E M, et al. The impact of spray drying outlet temperature on the particle morphology of mannitol[J]. Powder Technology, 2011, 213(1/2/3): 27-35.
- [25] 薛玉洁, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 5种苹果微粉的理化品质与行为特征[J]. 食品科学, 2017, 38(7): 117-122.
- [26] 陈芳, 彭珍, 刘嘉, 等. 麦芽糊精对喷雾干燥紫薯全粉理化性质的影响 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(11): 134-137.
- [27] COLLARES F P, FINZER J, KIECKBUSCH T G. Glass transition control of the detachment of food pastes dried over glass plates[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61(2): 261-267.
- [28] AHMED J, RAMASWAMY H S. Physico-chemical properties of commercial date pastes (*Phoenix dactylifera*) [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(3): 348-352.
- [29] WANG S, LANGRISH T. A review of process simulations and the use of additives in spray drying[J]. Food Research International, 2009, 42(1): 13-25.
- [30] 毕延娣, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 膨化干燥灰枣粉玻璃化转变及贮藏稳定性[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 265-270.
- [31] ROOS Y H. Water activity and physical state effects on amorphous food stability[J]. Journal of Food Pro-

- cessing and Preservation, 1993, 16(6): 433-447.
- [32] LABUZA T P. Effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration[J]. Food Technology, 1980, 34(4): 36-41, 59.
- [33] LOMAURO C J, BAKSHI A S, LABUZA T P. Moisture transfer properties of dry and semimoist foods[J]. Journal of Food Science, 1985, 50(2): 397-400.

Effect of Maltodextrin on the Physical Properties of Spray-Dried Peach Power

Li Cong^{1,2} Zhou Mou¹ Bi Jinfeng^{1*} Chang Xuedong² Ning Chunyuan¹

(Institute of Food Science and Technology, CAAS, Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193

College of Food Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Changli 066600, Hebei)

Abstract The effects of the addition of maltodextrin on the water content, color, particle size, microstructure, glass transition temperature, flow behavior and water adsorption characteristics of spray-dried peach powder were studied. The results indicated that the maltodextrin had significant effect on the physical properties of the spray-dried peach powder. With the addition of maltodextrin increased from 4% to 16%, the moisture content of peach powder decreased by 35.28%, the glass transition temperature increased by 4.84 °C, the basic flow energy declined by 29.24%, the water adsorption capacity decreased by 23.53%. In addition, significant changes appeared in color, particle size and microstructure. Considering the physical properties of peach powder, the optimum concentration of maltodextrin is 12%, at which the quality of peach powder produced is better. The experiment provides the reference data for processing high-grade peach powder by controlling the addition of maltodextrin.

Keywords maltodextrin; spray-dried; peach powder; physical properties

科技动态

中国科学院植物研究所揭示介导小麦开花新机制

记者日前从中国科学院植物研究所获悉,由该所研究员、中科院院士种康率领的研究团队利用蛋白质修饰组学和分子生物学策略,揭示了糖基化修饰和磷酸化修饰动态调控春化作用,介导小麦开花的机制,为冬小麦春化育种提供新的思路。该成果近日在线发表于国际学术期刊《植物生理学》。

研究人员利用抑制剂处理发现,改变氧-乙酰氨基葡萄糖(O-GlcNAc)信号能够显著影响春化关键基因的转录表达,并促进小麦开花,这在一定程度上能够部分取代春化作用。研究人员进一步分离并富集到参与春化作用的糖基化修饰和磷酸化修饰蛋白谱,发现多个同时具有糖基化修饰和磷酸化修饰的蛋白,并证明这2种修饰在春化过程中的重要作用。

据了解,春化作用是冬小麦开花需经过长时间环境低温诱导的生理过程。由于不同冬小麦品种的春化特性及其对冬、春季气温适应程度会直接影响其产量,因此对春化作用相关机制的研究对于冬小麦育种具有重要意义。O-GlcNAc糖基化修饰以及磷酸化修饰调控了植物体内许多重要的生理过程,然而因两者间的动态调控关系和化学鉴定的难度,其对于春化作用的调控机制一直不清楚。

(消息来源:中国科学报)