文章编号:1009－038X(2003)06-0103-04

国内外果蔬联合干燥技术的研究进展

张 慜[1]， 徐艳阳[1]， 孙金才[2]
(1. 江南大学 食品学院,江苏 无锡 214036;2. 海通食品集团有限公司,浙江 宁波 315300)

摘 要: 阐述了联合干燥的定义和技术特点,介绍了各种联合干燥方式在国内外的研究和应用现状,探讨了该技术在果蔬干燥加工中存在的问题和应用前景.

关键词: 联合干燥; 果蔬; 进展
中图分类号:S 375 **文献标识码**: A

Research Developments of Combination Drying Technology for Fruits and Vegetables at Home and Abroad

ZHANG Min[1], XU Yan-yang[1], SUN Jin-cai[2]
(1. School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China; 2. Haitong Food Group Ltd. Co, Zhejiang, Ningbo 315300, China)

Abstract: The definition and technological characteristics of combination drying were formulated in this work. Meanwhile, this study introduced current research and application of various combination drying methods both inland and outland. Finally, the existing problems and application prospects of the technology in the drying process of fruits and vegetables were discussed.

Key words: combination drying; fruits and vegetables; development

联合干燥是指根据物料的特性,将2种或2种以上的干燥方式优势互补,分阶段进行的一种复合干燥技术,如热风-微波联合干燥、热风-冷冻联合干燥、热风-微波真空联合干燥、热风-微波冷冻联合干燥、热风-压力膨化联合干燥、渗透-热风联合干燥等.它是热风干燥、微波干燥、真空干燥、冷冻干燥、渗透干燥、压力膨化干燥、太阳能干燥和喷雾干燥等各种干燥方式相结合而发展的产物,涉及到物理学、低温制冷、流体力学、化工学、原料学、传热传质学、数学、自动控制等学科,也是这些学科交叉发展的产物,因此是一项综合性极强的应用性技术.

水果和蔬菜是人类摄取维生素、矿物质、有机酸、膳食纤维等营养成分或生理活性成分的主要来源,其消费在现代平衡膳食的理念中占有非常重要的地位.在人们日益追求安全、营养、保健、方便的绿色食品中,脱水果蔬越来越受到人们的青睐,已成为我国出口创汇的主要产品之一.为了最大限度的保留脱水果蔬的色香味和维生素等热敏性成分或生理活性成分,联合干燥技术以其经济合理、质量优良,近年来,受到国内外学者、企业界、工业界的广泛关注.

收稿日期:2003-05-27; **修回日期**:2003-06-12.
作者简介:张 慜(1962－),男,浙江平湖人,教授,博士生导师,工学博士.
万方数据

1 联合干燥的原理和技术特点

果蔬中的水以游离水、胶体结合水和化合水3种不同的状态存在.大部分游离水和胶体结合水在干燥过程中被除去,化合水一般不能用干燥的方法除去.联合干燥则利用各种干燥方式的优点,在不同干燥阶段采用不同的干燥方法,分别以蒸发或升华等方式除去大部分游离水和胶体结合水.同时,联合干燥以减少干燥时间、降低能耗、提高质量、便于操作、利于环保、安全高效为基本原则.

多数联合干燥具有速度快、时间短的特点,例如热风-微波联合干燥,由于微波加热的特殊方式-体加热使物料温度短时间内快速升高,且温度梯度和水分蒸发方向相同,致使干燥时间很短.多数联合干燥的产品性能价格比较高,如热风和冷冻联合干燥既具有热风干燥低成本的特点,又有冷冻干燥品质高的特点.联合干燥方式优势互补,避免了单一干燥方式的缺点,如热风干燥的食品易使产品收缩和变色,产品表面形成硬壳,风味损失,不完全复水,而通过热风-微波/冷冻联合干燥的方式使这些缺点最小化.

2 联合干燥的国内外研究现状

2.1 联合干燥的国外研究现状

2.1.1 渗透-热风(冷冻)联合干燥 国外学者对联合干燥已经作了许多研究.Yang等(1987)应用渗透脱水和冷冻干燥的方法生产了类似葡萄干形的蓝莓产品.在1996年的IFT年会获悉,Waliszewski-K-KN等应用渗透脱水和热风联合干燥对番木瓜片的颜色变化进行了研究,应用的渗透介质为蔗糖.结果表明:蔗糖的浓度和pH值对终产品的颜色变化没有明显的影响,在番木瓜的联合干燥过程中,有(chroma)色度增加(hue)色调降低的趋势,表明加工前水果的成熟度是很重要的[1].Donsi-G等(1999)应用渗透干燥和冷冻联合干燥对Stark Delicious苹果和Bintjie土豆的物化特性进行了研究,渗透介质为葡萄糖或蔗糖/食盐溶液,测定了干燥过程中的水分和固形物含量,从而测定干燥动力学和复水动力学.结果表明:联合干燥技术生产了高质量的脱水果蔬,低温干燥使果蔬的物化特性和生物学特性得到温和的劣化;同时,由于较低的初始水分含量,缩短了冷冻干燥时间,渗透预处理也影响了复水动力学.None-YJ等(2002)对香蕉应用渗透干燥和热风联和干燥,香蕉片被浸透在2个连续的蔗糖溶液一为加1 g/dL CaCl235Brix,另一为70Brix),然后进行温和的热风干燥(40 ℃,72 h,相对湿度60%),得到水分质量分数为16.5%的产品,获得了较好的颜色[3].

2.1.2 热风-微波联合干燥 Riva-M(1991)应用热风和微波联合干燥双孢白蘑菇,结果表明:联合干燥缩短了加工时间,在没有任何预处理情况下,终产品得到了较好的质量,同时,微波提高了产品的脱水速率和复水性,并影响蘑菇的特征香气化合物的保留[4];Bouraoui-M(1994)应用微波和对流联合干燥技术对土豆片进行了处理,对复水动力学和干燥速率进行了研究,应用费克一维扩散模型计算了有效的水分扩散系数,统计分析表明,扩散系数随着内部温度的增加而增加,随着水分含量的增加而降低,且相关系数为0.973[5].Guixing Ren(1998)应用微波-热风联合对西洋参根(*Panax quinquefolim*)进行了干燥,认为联合干燥缩短了干燥时间约28.7%～55.2%,且对终产品的颜色影响很小[6];Tomas Funebo(1998)应用微波-热风干燥French Golden Delicious苹果和双孢白蘑菇,认为联合干燥缩短干燥时间是可能的,且用具有大的入射角的水平或横的模式比多模式的腔体干燥的复水率好20%～25%,最佳的操作条件是对于苹果的热风温度是60 ℃,风速是1 m/s;蘑菇的热风温度是80 ℃,风速是1.5 m/s[7];Maskan(2000)应用微波-热风联合干燥香蕉片,结果为微波干燥至终点缩短了对流干燥时间约64.3%,其产品色泽较浅,复水率最高[8];Sharma(2001)应用微波-热风干燥大蒜丁香,结果表明:微波-热风联合干燥缩短了干燥时间(传统热风干燥)的80%～90%,且获得了较高的感官质量,具有较好的潜力,此微波-热风联合干燥过程较适合Page经验模型[9].Torringa-E等(2001)渗透脱水作为预处理研究了微波-热风联合干燥的蘑菇,认为微波-热风联合干燥的蘑菇质量好于传统的热风干燥产品,但由于蘑菇中部是凹的几何形状和介电特性导致其中心部位的过热,使产品质量下降.因此,Torringa-E等应用食盐作为渗透剂,然后进行联合干燥,研究渗透干燥对其质量的价值.结果表明:经渗透预处理的蘑菇经微波加热后,受热更均匀、收缩率轻微地降低,多孔性增加.此外,与未渗透预处理的样品和单独热风干燥的样品相比,提高了复水性[10].Baysal-T等(2002)对胡萝卜片应用微波-热风联合干燥,联合干燥的时间比传统的热风干燥缩短了30%,且无恒速期,干燥只发生在降速期,样品的干物质含量、色度角、相密度和多孔性没有明显的差别,但联合干燥样品的水分

万方数据

活度、色差值和复水率明显高于对照品. Fito-PJ 等(2001)对香蕉片进行了 5 种联合干燥方法的比较研究,即热风-微波干燥、渗透干燥-热风干燥、真空浸渍或渗透干燥-热风干燥、渗透干燥-热风干燥-微波干燥、真空浸渍或渗透干燥-热风干燥-微波干燥. 与热风干燥相比,热风-微波干燥最快,真空浸渍和渗透干燥慢,但可提高产量及产品的稳定性和感官特性[11].

2.1.3 热风-冷冻联合干燥　Donsi-G 等(1998)对苹果、土豆、胡萝卜和一种密生西葫芦应用热干燥和冷冻联合干燥,联合干燥的产品与冷冻干燥进行了比较,认为联合干燥是一种很有潜力的脱水果蔬技术[13]. Phanindra-Kumar-HS 等(2001)对切成块状的胡萝卜和南瓜应用冷冻干燥和热风联合干燥,评定其物化特性和质量,分别与完全的热风干燥和冷冻干燥的样品比较干燥速率、总的能量消耗和物化特性. 结果表明:冷冻和热风联合干燥的产品在外观和复水比方面优于热风干燥的产品,且在质量方面更接近于完全冷冻干燥的产品. 联合干燥的时间和总的能量比完全冷冻干燥缩短了 50%,与热风干燥类似,并推断出联合干燥在提高脱水蔬菜的质量、节省能量消耗和时间上是有效的.

2.1.4 冷冻-微波-热风/真空联合干燥　Litvin S (1998)联合应用冷冻干燥、微波加热及热风或真空干燥胡萝卜片:初期冷冻干燥的搁板温度为 30 ℃,经 2 h 后,搁板温度为 55 ℃,2 h 后,胡萝卜片的水分质量分数约为 40%;接着微波处理 50 s,最后用热风或真空干燥至水分含量为质量分数 5%. 终期为热风干燥时,胡萝卜片的质量特性如颜色大小复水比和单独冷冻干燥的质量相似;终期为真空干燥时,提高了胡萝卜的颜色质量,复水后总的质量与新煮的胡萝卜片相似,终期为热风干燥时,胡萝卜片的干燥时间与完全冷冻干燥相比,缩短了干燥时间 3 h,并获得了与之类似质量的产品. 因此,联合干燥对于减少干燥时间、降低成本是有益的[15].

2.2 联合干燥的国内研究现状

2.2.1 热风-微波联合干燥　王枚等[16](1998)选择先微波间歇干燥后热风干燥的组合方法对苹果脯进行了干燥影响因素及节能水平实验. 实验证明,微波间歇时间对干燥速率显著影响. 当苹果脯处于风速为 3.5～7 m/s 的空气中进行间歇干燥时,所需时间比在静止空气中显著缩短. 采用组合方法干燥苹果脯,比完全热风干燥能耗降低 30.4%,时间缩短 31%.

2.2.2 远红外-热风联合干燥　王俊等[17](1998)对混合干燥香菇的有关质热特性进行实验研究,建立了远红外与热风混合干燥香菇时有关质热参数模型,分析了干燥中辐射强化系数 K_1、对流传质汽化系数 K_t、总换热系数 α_0 和辐射换热系数 α_E 等的变化规律. 实验研究表明,因干燥温度和香菇含水率不同,K_1,K_1K_t,α_0,α_E 等值也不同.

2.2.3 远红外-微波联合干燥　王俊等[18](1999)应用远红外与微波联和干燥黄桃,探讨了各参数对干燥速率、电耗和干燥质量的影响,并获得了较佳参数组合. 徐贵力等[19](2001)研究是在对现有的香菇干燥设备及其存在问题进行分析的基础上,提出了负压远红外线干燥香菇的方法,并进行了现有一些干燥方法的相同条件对比试验,在分析它们失水特性曲线的基础上,又提出联合干燥香菇的方法,即在干燥前期用远红外线配以排湿气流干燥法较快地把香菇的含水率降到 50%,然后在干燥后期用换气负压远红外线干燥法把香菇的含水率降到要求值. 采用这种干燥方法,不仅可使香菇干燥时间缩短和能耗降低,而且提高了香菇干制品的优等率.

从国内外研究的现状可以看出,联合干燥技术是具有很大潜力的新技术,我国对其研究甚少,亟待深入探讨.

3 联合干燥技术应用中的问题和前景

3.1 联合干燥工艺和干燥转换点的确定

由于果蔬种类和组织状态相差很大,对于不同的果蔬联合干燥工艺并非固定不变,工艺参数及干燥转换点的确定还需作大量的实验工作.

3.2 理论研究和数学模型的完善

干燥过程的传热传质理论是建立在分子动力学和热力学基础上的. 因此,建立合理的数学模型对研究联合干燥机理、过程的优化和自动控制具有非常重要的意义. 尽管国内外的学者对各种干燥方式建立了一些较好的模型,但模型的通用性与实际的干燥过程还相差很大,许多参数是无法测得的,需深入研究. 目前,水分、温度的在线检测和控制还是一个难题,因此,建立干燥过程中水分和温度的变化规律模型,预测和指导联合干燥工艺及提高产品质量是十分必要的.

3.3 联合干燥设备的改进

随着科学技术的迅速发展,各种干燥设备自身也在不断改进,例如微波真空干燥的均匀性亟待改善;尽管国内已研制出冷冻—微波干燥设备,但设

万方数据

备本身的能耗高、操作条件的可控性、在线检测等问题尚需改进和解决. 因此,集各种干燥方式的优点于一体的多功能组合式干燥器是未来的发展趋势.

3.4 联合干燥工艺的自动控制

在确定较佳的联合干燥工艺基础上,进行全程自动化控制是联合干燥技术的更高目标,尚需科技工作者的共同努力.

4 结 语

总之,各种干燥技术在不断完善自身技术方法和设备的同时,与其它干燥技术结合的联合干燥技术在理论的建立、完善和应用中将向着更深更广的方向发展,其前景十分广阔.

参考文献:

[1] Waliszewski-K-KN. Effect of combined method of dehydration on color changes in papaya slices[M]. New York:Pergamon Press, 1987.

[2] Donsi-G. A combined technology for the production of dried vegetables: osmotic dehydration/freeze drying[J]. **Italian-Food-&-Beverage-Technology**, 1999, 15: 9—11.

[3] None Y J. Development of a combined process of dehydration impregnation soaking and drying of bananas (Musa acuminata groupe Cavendish)[J]. **Journal of Food Engineering**, 2002, 55 (3): 231—236.

[4] Riva-M. Drying of agaricus bisporus mushrooms by microwave-hot air combination[J]. **Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie**, 1991, 24 (6): 479—483.

[5] Bouraoui M. Microwave and convective drying of potato slices[J]. **Journal of Food Process Engineering**, 1994, 17 (3): 353—363.

[6] Guixing Ren. Drying of american ginseng (*Panax quinquefolium*) roots by microwave-hot air combination[J]. **Journal of Food Engineering**, 1998, 35: 433—443.

[7] Tomas Funebo. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom[J]. **Journal of Food Engineering**, 1998, 38: 353—367.

[8] Maskan M. Microwave/air and microwave finish drying of banana[J]. **Journal of Food Engineering**, 2000, 44: 71—78.

[9] Sharma G P. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination[J]. **Journal of food engineering**, 2001, 50: 99—105.

[10] Torringa E. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms[J]. **Journal of Food Engineering**, 2001, 49 (2/3): 185—191.

[11] Baysal T. Effects of microwave and hot air combination drying on the quality of carrots[J]. **Food Science and Biotechnology**, 2002, 11 (1): 19—23.

[12] Fito P J. Use of combined drying processes in manufacture of new fruit products[J]. **Alimentaria**, 2001, 320: 113—117.

[13] Donsi G. Combination of mild dehydration and freeze-drying processes to obtain high quality dried vegetables and fruits [J]. **Food and Bioproducts Processing**, 1998, 76 (4): 181—187.

[14] Phanindra Kumar H S. Effect of combination drying on the physico-chemical characteristics of carrot and pumpkin[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2001, 25 (6): 447—460.

[15] Maskan M. Microwave/air and microwave finish drying of banana[J]. **Journal of Food Engineering**, 2000, 44: 71—78.

[16] 王枚. 微波干燥桃脯、苹果脯的影响因素和节能效果的研究[J]. 农业工程学报, 1998, 3: 253—255.

[17] 王俊. 远红外与热风混合干燥香菇的质热特性研究[J]. 农业工程学报, 1998, 4: 257—258.

[18] 王俊. 微波远红外联合干燥黄桃的试验研究[J]. 浙江农业学报, 1999, 1: 26—28.

[19] 徐贵力. 远红外常压、负压联合干燥香菇的试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 3: 133—136.

(责任编辑:杨 萌)

万方数据