

· 综述 ·

不同干燥方式对中药成分影响的研究进展[△]

范天慈, 窦志英*, 李捷, 温英丽, 刘丽婷, 刘亚男

天津中医药大学 天津市中药化学与分析重点实验室, 天津 301637

[摘要] 干燥是中药材及中药饮片加工处理过程中保证药效、便于运输储藏的重要处理措施。不同干燥方式原理各异, 中药各类成分性质不同, 因此中药材及中药饮片干燥不可一概而论。根据中药成分性质选择适宜的干燥方式是保证中药材及中药饮片质量的关键。综述阴干、晒干、鼓风干燥、微波干燥、冷冻干燥等常见干燥方式对中药多糖、挥发油、皂苷、黄酮等成分的影响, 从成分的性质和干燥方式的特点、适用性等方面进行分析, 以期对中药材及中药饮片干燥方式的合理选用提供参考。

[关键词] 干燥方式; 中药材; 中药饮片; 质量; 化学成分

[中图分类号] R283 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2021)11-2017-08

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20200824004

Effects of Different Drying Methods on Chemical Components of Traditional Chinese Medicine: A Review

FAN Tian-ci, DOU Zhi-ying*, LI Jie, WEN Ying-li, LIU Li-ting, LIU Ya-nan

Tianjin Key Laboratory of Traditional Chinese Medicinal Chemistry and Analytical Chemistry, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301637, China

[Abstract] Drying is an important measure to ensure the efficacy and facilitate the transport and storage of Traditional Chinese Medicine. In view of the different principles behind different drying methods and the different properties of various components in Traditional Chinese Medicine, the drying of Traditional Chinese Medicine can not be generalized. Therefore, it is the key to the quality of Traditional Chinese Medicine to select drying method depending on the properties of the medicinal. This paper summarizes the effects of common drying methods such as drying in the shade, drying in the sun, forced air drying, microwave drying, and freeze drying on polysaccharides, volatile oils, saponins, and flavonoids in Traditional Chinese Medicine and analyzes the properties of the components and the characteristics and applicability of drying methods, which is expected to serve as a reference for the reasonable selection of drying methods of Traditional Chinese Medicine in the future.

[Keywords] drying method; Chinese medicinal materials; Chinese medicinal decoction pieces; quality; chemical components

我国中药资源丰富。优质的中药在人类疾病的预防和治疗方面发挥了重要的作用, 一直为人类健康服务, 中药的质量是防病治病的关键, 受产地、采收时间、加工方式等多因素影响^[1]。其中, 干燥是一个关键环节, 无论中药材还是中药饮片均涉及干燥环节, 干燥方式、干燥工艺技术参数等会直接影响中药材和中药饮片的质量。采收后的中药材通常加工程序为除杂、洗涤、干燥为净中药材, 净中药材需要软化、切制、炮制、干燥等制备成中药饮片,

中药饮片直接用于临床调配处方或作为制备中成药的原料^[2], 因此其质量直接影响临床疗效。历史上医药学家重视干燥环节的论述屡见不鲜。唐代孙思邈在《千金翼方》中指出:“夫药采取, 不依阴干、曝干, 虽有药名, 终无药实。”^[3]《本草蒙筌》中记载:“凡药藏贮宜提防, 倘阴干、暴干、烘干未尽其湿, 则蛀蚀霉垢朽烂不免为殃。”^[4]本文针对现有的干燥方法、不同干燥方法对中药成分的影响进行文献总结, 为选择正确的干燥方法提供参考, 今后应加大

[△] **[基金项目]** 国家科技基础性工作专项(2014FY111100)

* **[通信作者]** 窦志英, 教授, 研究方向: 中药炮制与质量控制; E-mail: zhiyingdou@163.com

对干燥模式和技术参数的研究力度。

1 常用干燥方法

传统的干燥方式主要有晒干法、阴干法等。随着科学技术的发展,新的干燥技术,如微波干燥、真空干燥、冷冻干燥等为中药干燥提供了更多的选择。不同的干燥方法具有不同的优缺点和适用性^[5],需要根据中药材或中药饮片的性质进行选择。见表1。

晒干法和阴干法经济成本最低,常用于中药材、中药饮片产地加工过程中^[13]。烘干法为目前中药饮片企业主要采用的干燥方法,另外,产地加工中也有自制烘房或烘床等用于中药材的干燥,如地黄、白术等。目前仍以这3种干燥方法为主流,有个别企业应用微波干燥、冷冻干燥等方式,但是因其成本较高、产量较小,并对干燥设备有特定的要求,应用范围受到限制。远红外干燥效果受中药材自身厚度影响^[14],目前研究多针对于质地轻薄的中药材或中药饮片,如牡丹皮^[15]、百合^[16]、当归切片^[17]、枸杞子^[18]等,但在产地加工及生产中应用较少。

2 不同干燥方式对多糖类成分的影响

多糖是由单糖聚合而成的天然高分子化合物,具有抗氧化、调节免疫、抗病毒、抗肿瘤等药理作用。干燥会影响单糖的类型、含量及构象,进而影响多糖的性质和活性。

肖亨^[19]在电镜下观察发现,海蒿子多糖的真空干燥样品表面粗糙,热风干燥样品光滑有裂缝,冷冻干燥样品光滑多孔。此外,冷冻干燥样品结晶度小,具有较强的三螺旋构象。Wang等^[20]发现,冷冻干燥处理的当归多糖样品粒径小且均匀,而烘干样品和真空干燥样品分别具有较大的表观黏度和特性黏度。因此,不同干燥方式对多糖物理特征的影响存在差异。与其他干燥方式相比,冷冻干燥具有条件温和、结合水破坏少、多糖聚集程度小、物理特征保存良好等优势。

高温会影响单糖组成、相对分子质量等因素^[21-24]。真空干燥和热风干燥样品多糖含量低于冷冻干燥样品,平均相对分子质量较大。冷冻干燥样品中多糖含量高且小分子单糖较多。含量较高的单糖主要有阿拉伯糖、甘露糖、鼠李糖、木糖、葡萄糖和半乳糖等。不同干燥方式不影响单糖种类,但会改变单糖构象^[25],导致含量比例有显著差异。高温有氧环境下,糖醛酸易被氧化。因此,冷冻干燥样

品中单糖和糖醛酸含量较高。

抗氧化活性和多糖组成、结构的相关性见表2。相对分子质量小的多糖因暴露的还原端较多^[29],具有更好的铁还原能力。高温条件会使小分子多糖聚集,破坏羟基,削减多糖的供氢能力。因此,在多糖抗氧化活性实验中,冷冻干燥具有明显的优势^[30],这与其多糖样品相对分子质量小、糖醛酸含量高、化学基团保存完整有关。

含有多糖类成分的中药干燥应注意温度控制。高温烘干、微波干燥等干燥方式易导致多糖发生聚集,影响活性^[31]。冷冻干燥对外观特征和生物活性保存程度高,有利于多糖的制备和研究,但对设备要求高,周期长,因此,在产地加工中,低温烘干和传统阴干、晒干法仍是首选。晒干过程中也应注意避免或减少暴晒。此外,冷冻干燥也要考虑中药材本身的性状、质地、体积等因素。花、叶、茎、粗提物等相对轻薄、质地疏松,水分易被冻结升华从而除去,而质地紧密的木质化根可能因冷冻及水分蒸发困难等问题而干燥效果不理想。研究表明,海蒿子(藻体轻薄)、牛蒡多糖(粗提物)、山茱萸多糖(粗提物)、淫羊藿(叶)、铁皮石斛^[31-32](茎)、金银花^[33](花)等冷冻干燥效果较好,而红芪药材^[34-35](根)则冷冻干燥效果较差,甚至不如普通的烘干、阴干等方法。这也再次说明了冷冻干燥在中药材产地加工中的不适用。对于根类等质地紧密的部位或体积较大的中药材,在生产、研究过程中应尽量切薄片或者粉碎,制成粗提物。

3 干燥方式对挥发油类成分的影响

挥发油是一类具有挥发性的混合成分,其功效因具体成分不同而各异。挥发油广泛存在于解表类和芳香化湿类中药中。干燥会影响挥发油的挥发程度和结构分解、变异程度。

高温对挥发油影响较大^[36-38],微波、高温烘干等高温条件易使低沸点成分挥发^[39],同时热敏性成分易分解或异构化成环氧化合物、氧化成烯萜类、高级烷烃、有机酸和脂类等高分子化合物,导致非药效成分增多,主要药效成分含量降低,对药效破坏作用较大。康显杰等^[40]发现,在微波干燥和鼓风干燥高温条件下,姜黄挥发油中的莰术二酮等化合物异构化环氧结构。唐文文等^[41]研究表明,当归挥发油组分和含量随温度升高发生显著变化。二十七烷、

表1 中药常用干燥方法比较

干燥方法	优点	缺点	适用中药材	参考文献
阴干	条件温和, 操作简便	周期长	含挥发性成分中药材及糖质、黏液质等黏性中药材	[6]
晒干	操作简便, 无需设备	依赖自然条件, 条件可控性差, 质量不稳定	产地加工中大部分中药材	[7]
烘干	温度恒定、可控	高温对中药材外观、成分影响大	生产过程中无特定需求的中药材或中药饮片	[8]
微波干燥	升温快, 效率高, 干燥均匀, 利于中药材粉碎	温度不易控制, 且中药材内部温度较高, 设备成本高	需快速除去水分的中药材或中药饮片	[9]
真空干燥	防止成分氧化, 干燥温度低	设备成本高	多用于成分提取物干燥	[10]
远红外干燥	干燥效率高, 操作方便, 产品品质好	远红外波穿透性差	适合干燥薄层中药材或者薄片	[11]
冷冻干燥	中药材外观品质好, 实现低温干燥, 成分影响小	设备成本高, 耗时耗能, 质地松泡, 复水率高	含热敏性成分、不稳定成分的中药材	[12]

表2 抗氧化活性和多糖组成、结构的相关性

抗氧化活性	多糖的相关性
DPPH 自由基清除能力	小分子多糖 ^[26]
ABTS 自由基清除能力	多糖的羟基 ^[27]
羟基自由基清除能力	多糖的供氢能力 ^[23]
超氧阴离子自由基清除能力	单糖组成和糖醛酸含量 ^[28]

注: DPPH 为 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼; ABTS 为 2,2'-连氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐。

苯氧乙酸烯丙酯、亚油酸等碳原子数较大的高分子成分含量明显增加。藁本内酯含量损失较多, 并且随温度升高呈递减趋势。因此, 微波干燥、高温烘干等条件较剧烈的干燥方式不适合挥发油起主要药效作用的中药材。但 Ghasemzadeh 等^[42]发现, 生姜中姜酚在高温烘干会转化成抗氧化能力和抗菌活性更强的姜辣素。因此, 实际中宜根据需求灵活选择干燥方式。

在实际生产和研究中, 常用阴干法、晒干法和低温烘干法等干燥方式。阴干法条件最温和, 对挥发性强的单萜、小分子芳香类化合物(表3、图1)保留程度高。此外, 某些不稳定成分, 如 α -细辛脑在阳光的直射下易转变为同分异构体 β -细辛脑^[43](图2), 影响中药材质量, 不适合晒干和烘干法, 采用阴干法最适宜。单萜、相对分子质量小的芳香类化合物具有重要的生物活性, 而高沸点化合物的挥发油抑菌和杀菌效果更好。阴干法在产地初加工

中起着重要作用, 但效率较低, 挥发油类成分在长期干燥过程有部分损失。低温烘干耗时短、挥发油散失少、样品含量与阴干法差异较小^[44-46], 同时规范性高, 可用于大批量中药材快速干燥加工。因此, 阴干法常用产地于加工中, 而生产中一般选用低温烘干。

冷冻干燥中成分损失较大与水分的升华有关^[53]。真空干燥在降低水沸点、加速水分除去的同时也导致挥发油类成分损失。因此, 冷冻干燥和真空干燥很少应用于挥发油类中药材的干燥中。

4 干燥方式对皂苷类成分的影响

皂苷是苷元为三萜或者螺旋甾烷类化合物的一类糖苷。人参、知母、柴胡等多种中药材中都含有皂苷类成分。各中药材中主要皂苷成分性质不尽相同, 加上目前对活性成分的认识不够深入, 造成了皂苷类中药材在不同成分评判指标下适宜的干燥方式不同、难以统一干燥方式的现象。

中药皂苷类成分种类众多、结构复杂, 单一指标难以全面评价中药材质量。以某几种皂苷为评价指标, 则要确保皂苷的稳定性, 避免被酶水解或高温下分解。若以皂苷元为成分指标, 则要促进内源酶水解皂苷的能力。以总皂苷含量为评价标准, 能兼顾皂苷和皂苷元, 但会忽略部分皂苷无生物活性或药效作用等问题^[54-56]。

表3 中药材中常见的单萜、小分子芳香类化合物

中药材	种类	作用	参考文献
荆芥	薄荷酮(1)、胡薄荷酮(2)、荆芥内酯(3)	抗炎、抗病毒	[47]
厚朴	龙脑(4)	发汗、镇痉、抗菌	[48]
紫苏	紫苏醇(5)、紫苏醛(6)	抑菌、提高免疫、抗肿瘤	[49]
佩兰	α -水芹烯(7)、对伞花烃(8)	抗菌消炎	[50]
薄荷	薄荷醇(9)、薄荷酮(10)、异薄荷酮(11)	抗真菌、祛痰、改善精神疲劳	[51]
香茅	香茅醇(12)、香茅醛(13)、香叶醇(14)	抗炎、抗菌、抗氧化、调节免疫	[52]

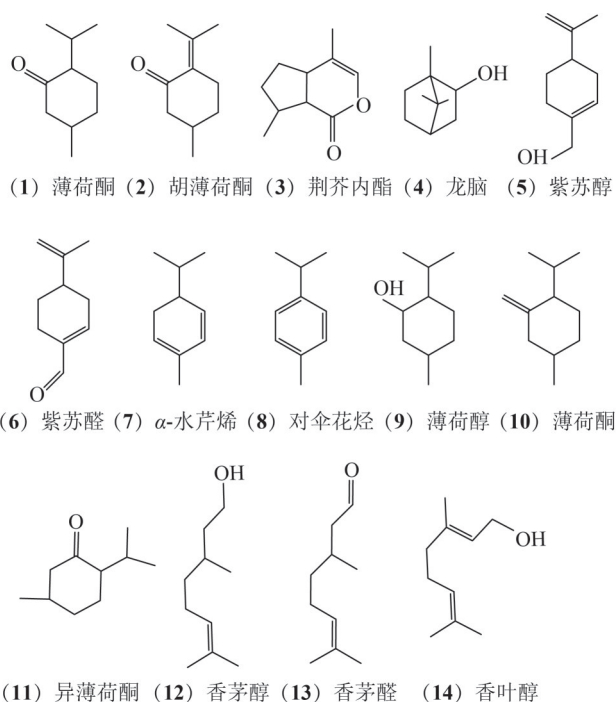
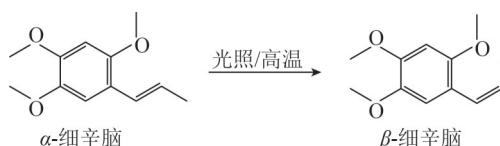


图1 中药材中常见的单萜、小分子芳香类化合物结构式

图2 α -细辛脑在光照条件下的转化

阴干法简便易行,但耗时长。董利华等^[57]研究发现,绞股蓝阴干过程中皂苷类成分在葡萄糖苷酶等的作用下发生脱糖,生成次生苷,从而导致成分差异。晒干法被用于种植户采收后的初加工中,条件、环境和低温烘干相似但不如低温烘干效率高、稳定。在生产中为了兼顾中药材质量和效益,晒干法多用低温烘干代替。

微波干燥能在短时间内快速升温,理论上可以使酶类失活,起到杀酶保苷的作用。但在实际研究中,并没有达到理想效果。在相关研究中,微波干燥样品薯蓣皂苷元和总皂苷接近或低于低温烘干样品^[54,56]。李芳等^[58]在不同干燥方法对人参花和西洋参花的影响研究中也发现,微波干燥样品中人参皂苷Rg₁、Re、Rb₁、Rc、Rb₂、Rb₃、Rd及其相对应的丙二酰基皂苷等14种人参皂苷量不及40℃烘干的样品含量,其机制有待进一步考证。同时考虑设备、成本等问题,微波干燥在皂苷类中药材中应用较少。

低温烘干条件相对温和,虽然部分皂苷可能在

酶的作用下水解成苷元,但对总皂苷和整体药效影响最小。高温烘干可以灭活内源酶,保存某种皂苷,但容易破坏总体成分,造成成分分解或转变^[59],同时严重影响中药材外观,导致表面皱缩、焦糊等。冷冻干燥可以确保中药材外观品质和内在成分,对热敏性有保护作用,但在实际中部分实验出现相反结果^[60-61]。王菲等^[62]研究发现,冷冻干燥条件下,皂苷类成分也容易发生分解,可能在冷冻低温条件下,酶暂时失活但未被完全灭活,恢复正常条件后继续分解有效成分。

在皂苷类中药材中,低温烘干耗时短、易控,适用于产地加工或简单处理。在制备成分、保留特殊皂苷成分或衍生物新成分等特殊研究中,则需要结合中药材特点,摸索不同的干燥条件,选用冷冻干燥、高温处理等。

5 干燥方式对黄酮类成分的影响

黄酮类化合物是一类基本母核为2-苯基色原酮的物质,具有抗氧化、清除自由基、消炎、抑菌等多种作用。黄酮类成分广泛存在于清热解毒药及其他各类中药中,是中药中最为常见的成分之一。黄酮类化合物可根据有无连接糖基分为黄酮类和黄酮苷类。不同干燥方法对黄酮和黄酮苷的影响有差别。

含黄酮苷类成分的中药材或中药饮片在加工过程中要破坏或抑制酶的活性,常采用阴干法、杀青或蒸煮后烘干、晒干等加工方法。阴干条件下温度较低,抑制了酶的活性,减少黄酮苷类物质水解,但恢复正常条件时可能再次水解;而杀青处理可以起到类似“杀酶保苷”的作用,如菊花^[63-64]、槐米^[65]等。因此,黄酮苷含量较高的中药材产地加工和生产中多用高温杀青后烘干或晒干。刘天亮等^[66]比较加工方法对金银花药材质量的影响,结果表明,杀青烘干方法最优,有利于提升中药材品质。林裕英等^[67]研究发现,45℃烘干的广金钱草药材中4种黄酮苷含量高于阴干法、晒干法等,与鲜品含量较为接近。这可能与其中夏佛塔苷、异夏佛塔苷等成分稳定性高有关。同时,全草类药材质地轻薄、水分易于除去、干燥时间短,因此烘干条件下成分损失少。

对于总黄酮或者游离黄酮类成分,条件温和的干燥方式有利于保证中药材质量,如晒干法^[68]、低温烘干法^[69-70]等。高温可能使黄酮类成分发生水解、

氧化和裂解等反应,导致含量降低^[71]。尤其是化合物含有醛基等基团时,高温下成分易发生转变。微波干燥升温快,可促使黄酮类成分共价键断裂,有利于黄酮类物质的溶出和提取,但温度难以控制,对中药材外观和质量影响较大。冷冻干燥在黄酮类中药材干燥中应用较少。总之,对于黄酮苷类中药材多采用阴干、杀青等处理后晒干、烘干;以游离黄酮或者总黄酮类成分为其生物活性成分的中药材选用条件温和的低温烘干。

6 总结与展望

目前中药的干燥研究多以考察不同干燥方式对中药材或中药饮片的影响为主,但单一干燥方式难以同时兼顾质量、效率等多种因素。因此,多种干燥方法联用的方式值得关注,如高温烘干时中药材表面皱缩易导致内部干燥不彻底,而微波属于内部加热法,两者联用可以避免中药材产生“外焦内生”的现象,同时干燥效率高、干燥均匀。冷冻干燥条件温和,可较好地维持中药材外观并保留成分,但耗时过长。若先进行烘干,则缩短了干燥周期,降低了成本。联合干燥可以整合多种干燥方式的特点^[72],实现成本和效益的最佳结合,已在食品加工中得到了应用^[73-77]。但目前中药联合干燥相关研究较少,缺少理论技术支持,有待进一步发展。

中药材不同,适宜的干燥方法不同。多糖和挥发油类成分易受高温影响,冷冻干燥可以较好地保存单糖和活性基团,多糖样品抗氧化活性强。挥发油类成分经低温烘干后含量和抗菌活性与阴干法无显著差异。皂苷类成分应根据不同成分需求选择干燥方式。黄酮类成分宜杀酶保苷或低温烘干。远红外干燥有利于酚类物质含量和抗氧化活性的保存^[78-79]。但药物所含成分复杂多样,同一中药材中,不同成分受影响程度不同。因此,在生产过程中,应以药效指标性成分为主,同时兼顾其他成分的原则进行干燥。同时,也可根据用药目的和实际需求来选择不同干燥方式,如某些皂苷类成分在高温下易变异,影响中药材或中药饮片质量,但在研究中可利用此特点为新成分开发寻找新思路。金银花中绿原酸类成分有着较强的抗病毒和保肝利胆作用,黄酮类、总酚及多酚类成分抗氧化活性强,挥发油类成分抑菌效果显著,金银花多糖能有效地增强免疫功能^[80]。不同干燥方法得到的金银花饮片中各种

成分保留程度不一样,进而导致药效有侧重。因此,中药材干燥方式、工艺的选择与成分、药效相结合的定向加工方式为“精准药材”的发展提供了新思路^[81-83]。但成分分类干燥制备中药饮片会大大增加成本、降低效率且缺乏系统理论,有待进一步研究和验证。

在实际生产中,需要同时考虑成本、周期、简便性等因素。对于大多数中药材,在产地加工或产业化生产中,采用低温烘干,可以快速实现干燥,成本低,可以兼顾中药材质量和效益。在实验研究、食品开发中,可以根据中药材特点和需要及干燥方法的利弊,选择冷冻干燥、微波干燥等。总之,干燥对于中药材质量具有重要影响,应合理选择相适宜的干燥方法来保证中药材质量。本文仅整理了常用干燥方法对多糖、黄酮、挥发油、皂苷4种主要成分的影响,其余干燥方式和成分的作用影响有待进一步考察。

参考文献

- [1] 傅俊杰. 影响中药饮片质量的因素分析与质量控制[J]. 中医药管理杂志, 2018, 26(17): 97-99.
- [2] 陈平. 中药制药工艺与设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 155.
- [3] 孙思邈. 千金翼方[M]. 影印本. 北京: 人民卫生出版社, 1955: 10.
- [4] 陈嘉谟. 本草蒙筌[M]. 王淑民, 陈湘平, 周超凡, 等点校. 北京: 人民卫生出版社, 1988: 29.
- [5] 赵志刚, 郝舒蕊, 侯俊玲, 等. 不同产地加工方法对山东丹参药材质量的影响[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(8): 1396-1400.
- [6] 赵润怀, 段金康, 高振江, 等. 中药材产地加工过程传统与现代干燥技术方法的分析评价[J]. 中国现代中药, 2013, 15(12): 1026-1035.
- [7] 张榕, 李焱, 周铜水. 晒干过程中黄芩药材黄酮类成分动态变化[J]. 复旦学报(自然科学版), 2010, 49(5): 575-581.
- [8] SUPMOON N, NOOMHORM A. Influence of combined hot air impingement and infrared drying on drying kinetics and physical properties of potato chips[J]. Dry Technol, 2013, 31(1): 24-31.
- [9] ZHANG M, TANG J, MUJUMDAR A S, et al. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables [J]. Trends Food Sci Technol, 2006, 17(10): 524-534.
- [10] ZHAO Q, DONG B, CHEN J, et al. Effect of drying methods on physicochemical properties and antioxidant

- activities of wolfberry (*Lycium barbarum*) polysaccharide[J]. Carbohydr Polym, 2015, 127: 176-181.
- [11] ADAK N, HEYBELI N, ERTEKIN C. Infrared drying of strawberry[J]. Food Chem, 2017, 219: 109-116.
- [12] HUANG J P, ZHANG M. Effect of three drying methods on the drying characteristics and quality of okra[J]. Dry Technol, 2016, 34(8): 900-911.
- [13] 胡会娟, 刘佳, 刘金玉, 等. 不同干燥方法对大黄9种活性成分含量的影响研究[J]. 中国现代中药, 2016, 18(7): 899-902.
- [14] 周四晴, 段续, 任广跃, 等. 厚度控制对怀山药远红外干燥过程中水分迁移的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 75-81.
- [15] 赵秋龙, 卞晓坤, 钱大玮, 等. 不同干燥方法对牡丹皮药材中化学成分的影响[J]. 中国现代中药, 2020, 22(1): 74-79.
- [16] 黄敬, 朱文学, 刘云宏, 等. 基于Weibull分布函数的百合真空远红外干燥过程模拟及应用[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 71-76.
- [17] 李武强, 万芳新, 罗燕, 等. 当归切片远红外干燥特性及动力学研究[J]. 中草药, 2019, 50(18): 4320-4328.
- [18] 万芳新, 罗燕, 李武强, 等. 不同预处理方式对枸杞子远红外干燥特性和品质的影响[J]. 中草药, 2020, 51(16): 4183-4190.
- [19] 肖亨. 干燥方式和分子修饰对海蒿子多糖的理化性质和生物活性的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [20] WANG Y, LI X, ZHAO P, et al. Physicochemical characterizations of polysaccharides from *Angelica Sinensis* Radix under different drying methods for various applications [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 121: 381-389.
- [21] 李振丰, 徐建中, 王治, 等. 浙麦冬产地加工不同干燥方法研究[J]. 中国现代中药, 2016, 18(12): 1624-1627.
- [22] 喻俊, 张利, 李亚波, 等. 干燥方式对牛蒡多糖理化性质及抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 160-163.
- [23] 刘建明, 刘艺, 张奇. 干燥方法对山茱萸多糖性质及应用效果影响[J]. 食品工业, 2018, 39(7): 190-194.
- [24] 徐洲, 刘静, 冯士令, 等. 不同干燥方法对淫羊藿多糖化学性质和抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(19): 116-119.
- [25] WANG Y, LIU Y, HUO J, et al. Effect of different drying methods on chemical composition and bioactivity of tea polysaccharides [J]. Int J Biol Macromol, 2013, 62: 714-719.
- [26] SUN J E, AO Z H, LU Z M, et al. Antihyperglycemic and antilipidperoxidative effects of dry matter of culture broth of *Inonotus obliquus* in submerged culture on normal and alloxan-diabetes mice [J]. J Ethnopharmacol, 2008, 118(1): 7-13.
- [27] WANG L, LIU H M, QIN G Y. Structure characterization and antioxidant activity of polysaccharides from Chinese quince seed meal[J]. Food Chem, 2017, 234: 314-322.
- [28] WU S, LI F, JIA S, et al. Drying effects on the antioxidant properties of polysaccharides obtained from *Agaricus blazei* Murrill[J]. Carbohydr Polym, 2014, 103: 414-417.
- [29] MA Q Q, SANTHANAM R K, XUE Z H, et al. Effect of different drying methods on the physicochemical properties and antioxidant activities of mulberry leaves polysaccharides [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 119: 1137-1143.
- [30] SHANG H, ZHOU H, DUAN M, et al. Extraction condition optimization and effects of drying methods on physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides from comfrey (*Symphytum officinale* L.) root[J]. Int J Biol Macromol, 2018, 112: 889-899.
- [31] 张雨婷, 郭赛, 张莉, 等. 不同干燥方法对铁皮石斛多糖和甘露糖含量的影响[J]. 安徽中医药大学学报, 2017, 36(2): 68-71.
- [32] 郑显义. 不同干燥方法对铁皮石斛多糖和甘露糖含量的影响[J]. 食品安全导刊, 2019(8): 71-72.
- [33] 陈燕文, 王玲娜, 梁从莲, 等. 干燥方法对金银花多糖含量的影响[J]. 中国现代中药, 2017, 19(1): 88-91.
- [34] 李越峰, 牛江涛, 曹瑞, 等. 不同干燥工艺对红芪中红芪多糖含量的影响研究[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(1): 92-94.
- [35] 李越峰, 辛二旦, 张爱霞, 等. 不同干燥方法对红芪清除 DPPH 自由基的研究[J]. 中国现代中药, 2019, 21(2): 222-224.
- [36] LYCZKO J, JALOSZYNSKI K, SURMA M, et al. Determination of various drying methods' impact on odour quality of true lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) flowers[J]. Molecules, 2019, 24(16): 2900.
- [37] ZHANG L L, LV S, XU J G, et al. Influence of drying methods on chemical compositions, antioxidant and antibacterial activity of essential oil from lemon peel [J]. Nat Prod Res, 2018, 32(10): 1184-1188.
- [38] FARAHMANDFAR R, TIRGARIAN B, DEHGHAN B, et al. Changes in chemical composition and biological activity of essential oil from Thomson navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) peel under freezing, convective, vacuum, and microwave drying methods[J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(1): 124-138.

- [39] 卞晓坤,赵秋龙,卜凡淑,等.不同干燥方法对桂枝药材中苯丙素类成分的影响及评价[J].中国现代中药,2020,22(2):219-223.
- [40] 康显杰,杜伟锋,凌珏,等.3种干燥方法对片姜黄挥发油的影响[J].中成药,2017,39(9):1900-1903.
- [41] 唐文文,李国琴,晋小军.不同干燥方法对当归挥发油成分的影响[J].中国实验方剂学杂志,2014,20(3):9-12.
- [42] GHASEMZADEH A, JAAFAR H Z E, BAGHDADI A, et al. Formation of 6-, 8- and 10-shogaol in ginger through application of different drying methods: Altered antioxidant and antimicrobial activity [J]. Molecules, 2018, 23(7): 1646-1658.
- [43] 马雯芳,余娇,邓慧连,等.不同干燥方法对假蒟挥发油成分影响的研究[J].中成药,2013,35(6):1270-1274.
- [44] 薛敏,乔晶晶,王倩,等.不同干燥方法对佩兰挥发油质量及抗菌活性的影响[J].中成药,2018,40(10):2249-2254.
- [45] 欧阳婷,杨琼梁,黄星雨,等.不同干燥方法对香茅挥发油成分及抗氧化活性的影响[J].中国中医药信息杂志,2016,23(11):99-102.
- [46] 张晓婉,黄健,宋冬梅,等.不同年限及不同干燥方法的辽细辛中主要成分的含量测定[J].中国现代中药,2018,20(9):1110-1113.
- [47] 王凤,温桃群,桑文涛,等.荆芥挥发油化学成分及药理作用研究现状[J].中南药学,2017,15(3):312-318.
- [48] 夏新中,肖静,夏庭君.川厚朴及其炮制品中单萜和倍半萜类成分研究[J].时珍国医国药,2017,28(9):2109-2111.
- [49] 魏长玲,张琛武,郭宝林,等.紫苏叶挥发油化学型和组分影响因素探究 I:不同生长发育期[J].中国中药杂志,2017,42(4):712-718.
- [50] 吕文纲,王鹏程.佩兰化学成分、药理作用及临床应用研究进展[J].中国中医药科技,2015,22(3):349-350.
- [51] 王兆丰,丁自勉,何江,等.薄荷化学成分 药理作用与产品研发进展[J].中国现代中药,2020,22(6):979-984.
- [52] 杨梦文,赵琳静,顾思怡,等.香茅化学成分及药理作用的研究进展[J].中成药,2020,42(3):714-719.
- [53] CHUA Y W, CHUA B L, FIGIEL A, et al. Characterisation of the convective hot-air drying and vacuum microwave drying of *Cassia alata*: Antioxidant activity, essential oil volatile composition and quality studies[J]. Molecules, 2019, 24(8): 1625.
- [54] 周浓,张华琦,丁博,等.不同干燥方法对滇重楼中薯蓣皂苷元含量的影响[J].时珍国医国药,2015,26(2):361-362.
- [55] 杨天梅,金航,杨美权,等.不同加工方法对滇重楼中4种重楼皂苷成分含量的影响[J].中药材,2017,40(12):2832-2835.
- [56] 张静,丁博,张华,等.不同干燥方法对滇重楼总皂苷含量和抗氧化活性的影响[J].中国中医药信息杂志,2016,23(7):95-97.
- [57] 董利华,匡艳辉,范冬冬,等.不同加工方式绞股蓝皂苷类成分比较研究[J].中国中药杂志,2018,43(3):502-510.
- [58] 李芳,李乔,宋丹,等.不同干燥方法对人参花和西洋参花皂苷类成分的影响[J].中草药,2015,46(19):2937-2942.
- [59] 谢其亮,陈重,潘岩,等.不同干燥方法对商陆总皂苷和皂苷甲含量的影响[J].湖北农业科学,2019,58(8):126-128.
- [60] 陈朝荣,王剑波,尤晓舟,等.不同炮制加工方法对穿山龙药材皂苷类成分的影响[J].中南药学,2020,18(4):672-675.
- [61] 刘勇,徐娜,陈骏飞,等.不同干燥方法对三七药材外观性状与内在结构及其品质的影响[J].中草药,2019,50(23):5714-5723.
- [62] 王菲,尚展鹏,马志国,等.不同干燥方法对川麦冬甙体皂苷和高异黄酮的影响[J].中国中药杂志,2016,41(23):4393-4399.
- [63] 张伟,左亚锋,金传山,等.不同加工方法对亳菊中2种苯丙素类和6种黄酮类成分的影响[J].中国医院药学杂志,2017,37(2):103-107.
- [64] 胡小莉.河南野菊花质量分析研究[D].郑州:河南中医药大学,2016.
- [65] 刘金亮,李隆云,何光华,等.初加工方式对槐米黄酮含量和抗氧化能力的影响[J].药物分析杂志,2019,39(9):1713-1719.
- [66] 刘天亮,董诚明,齐大明,等.不同产地及加工方式金银花的质量评价[J].中药材,2020,43(3):582-586.
- [67] 林裕英,赖丽嫦,陈丰连,等.不同干燥方法对广金钱草鲜品黄酮成分的影响[J].中药材,2017,40(3):589-591.
- [68] 关海燕,宋小锋,杜晓娜,等.不同生长期和不同加工方式山楂叶中总黄酮的含量测定[J].时珍国医国药,2019,30(11):2736-2737.
- [69] 孙冬梅,段福先,江洁怡,等.UPLC-DAD法同时测定不同干燥工艺三白草中5种黄酮成分的含量[J].广东药科大学学报,2019,35(4):506-510.
- [70] 李越峰,牛江涛,曹瑞,等.不同干燥工艺对红芪中毛蕊异黄酮和芒柄花素含量的影响[J].中国现代中药,2019,21(7):941-945.

- [71] 李雪莹,林先燕,孙晓惠,等. 杜仲不同“发汗”加工方法制品中总黄酮含量的比较[J]. 时珍国医国药,2019,30(3):597-599.
- [72] 武景路. 微波真空干燥技术在人参提取物中的工艺研究[J]. 中国现代中药,2017,19(3):422-424.
- [73] 高雪. 中短波红外联合热风干燥工艺对香菇干燥特性和品质的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2020.
- [74] 张强,邓酥萍,张娜英,等. 微波-热风联合干燥在芒果果脯加工中的应用[J]. 食品研究与开发,2020,41(14):104-109.
- [75] 邓媛元,杨婧,魏振承,等. 热风-真空冷冻联合干燥对脆性龙眼果干品质及益生活性的影响[J]. 中国农业科学,2020,53(10):2078-2090.
- [76] 廉苗苗,段续,黄略略,等. 猕猴桃片冻干——真空微波联合干燥过程中品质变化及收缩模型[J]. 食品与机械,2020,36(5):140-145.
- [77] 杨大伟,申丹,钟果林. 微波和热风联合干燥魔芋片的最佳工艺方法研究[J]. 包装与食品机械,2020,38(3):18-21.
- [78] AN K J, ZHAO D D, WANG Z F, et al. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure [J]. Food Chem, 2016, 197: 1292-1300.
- [79] LEE S H, JEON Y J. Effects of far infrared radiation drying on antioxidant and anticoagulant activities of *Ecklonia cava* extracts[J]. J Korean Soc Appl Biol Chem, 2010, 53(2): 175-183.
- [80] 吴娇,王聪,于海川. 金银花中的化学成分及其药理作用研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志,2019,25(4): 225-234.
- [81] 肖苏萍,何春年,曾燕,等. 干燥方法与采收期对黄芩花中黄酮类化学成分的影响[J]. 中国现代中药,2013,15(11):975-980.
- [82] 丁一明,商彤,石玥,等. 不同干燥工艺对药用大黄功效组分的影响[J]. 中国现代中药,2020,22(4):591-595.
- [83] 冯紫薇,张媛,孟磊,等. 定向加工对何首乌药材质量的影响研究[J]. 中国现代中药,2020,22(5):741-746.

(收稿日期: 2020-08-24 编辑: 王笑辉)