

不同加工方式对石斛品质的影响研究进展

董婧婧^{1,2}, 宋亚¹, 范蓓¹, 李能波³, 徐欣¹, 丁婷婷¹, 卢聪¹, 刘佳萌¹, 王凤忠^{1*}, 孙晶^{1*}

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193) (2. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西晋中 032699) (3. 龙陵县石斛研究所, 云南保山 678300)

摘要: 石斛是我国名贵的传统中药, 始载于《神农本草经》, 至今已有 2 000 多年的历史, 其因益胃生津、滋阴清热的药理作用备受青睐。目前, 石斛不仅用于医药行业, 还广泛用于保健品和化妆品中。然而, 由于石斛鲜品容易腐坏, 如未及时进行加工处理, 极易造成主要活性成分损失, 选用合理的干燥及炮制方法能够有效的保障石斛品质。近年来, 国内外许多学者对石斛加工技术进行了研究, 石斛的加工方法主要包括干燥和炮制, 干燥方式主要为自然晾干、热风干燥、真空干燥、真空冷冻干燥、微波干燥等, 炮制方法主要包括清炒、酒炙、盐炙等, 这些方式对石斛的化学成分均有影响。为此, 该研究梳理了不同的加工方式对石斛中所含的多糖、黄酮、酚类、生物碱、氨基酸等成分、色泽及抗氧化活性的影响, 以期对石斛品质提升及产品开发利用起到一定的借鉴作用。

关键词: 石斛属; 加工; 化学成分; 色泽; 抗氧化

文章编号: 1673-9078(2025)06-318-326

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.6.0277

Research Progress on the Effects of Different Processing Methods on the Quality of Dendrobium Products

DONG Jingjing^{1,2}, SONG Ya¹, FAN Bei¹, LI Nengbo³, XU Xin¹, DING Tingting¹, LU Cong¹,
LIU Jiameng¹, WANG Fengzhong^{1*}, SUN Jing^{1*}

(1. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)
(2. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 032699, China)
(3. Dendrobium Institute of Longling County, Baoshan 678300, China)

Abstract: *Dendrobium* is a precious traditional Chinese medicine in China, which was first recorded in “Shennong's Classic of Materia Medica” and has a history of more than 2 000 years. It is highly favored for its pharmacological effects such as tonifying stomach and promoting fluid, and nourishing Yin and clearing heat. At present, *Dendrobium* is not only used in the pharmaceutical industry, but also widely applied in health care products and cosmetics. However, due to the perishability of fresh *Dendrobium* products, if not processed in time, it is easy to cause the loss of the main active ingredients,

引文格式:

董婧婧,宋亚,范蓓,等.不同加工方式对石斛品质的影响研究进展[J].现代食品科技,2025,41(6):318-326.

DONG Jingjing, SONG Ya, FAN Bei, et al. Research progress on the effects of different processing methods on the quality of dendrobium products [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(6): 318-326.

收稿日期: 2024-03-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(32101957); 国家重点研发计划项目(2022YFD1600303); 中国农业科学院农产品加工研究所创新工程院所重点任务青年创新专项(CAAS-ASTIP-Q2022-IFST-08); 中国农业科学院农产品加工研究所创新工程院所重点任务项目(CAAS-ASTIP-G2022-IFST-04)

作者简介: 董婧婧(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工, E-mail: 2215411391@qq.com

通讯作者: 孙晶(1990-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品功能因子挖掘与利用, E-mail: ycsunjing2008@126.com; 共同通讯作者:

王凤忠(1972-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品品质评价, E-mail: wangfengzhong@sina.com

and the selection of reasonable drying and processing methods can effectively ensure the quality of *Dendrobium*. In recent years, many domestic and international scholars have studied the processing technologies for *Dendrobium*, and the processing methods mainly include drying and processing. The drying methods for *Dendrobium* are mainly natural drying, hot air drying, vacuum drying, vacuum freeze drying, and microwave drying, and the processing methods mainly include stir-frying, wine baking and salt broiling, etc. These methods affect the chemical composition of *Dendrobium*. Therefore, the effects of different processing methods on the polysaccharides, flavonoids, phenols, alkaloids, amino acids, other components, color and antioxidant activity of *Dendrobium* are sorted out in this paper, in order to play a certain reference role in the quality improvement and product development and utilization of *Dendrobium*.

Key words: *Dendrobium*; processing; chemical composition; color; antioxidants

石斛属 (*Dendrobium* Sw.) 在兰科植物属种中排名第二, 在亚洲、欧洲、澳大利亚、印度、韩国、日本等国家有较多的分布^[1-3]。目前, 世界植物在线收录的石斛有 1 547 种, 中国报道的石斛有 80 多种^[4]。石斛在《神农本草经》中被称为“上品”, 素有“救命仙草”的美誉, 其来源为兰科多年草本金钗石斛 (*Dendrobium nobile* Lindl.)、铁皮石斛 (*Dendrobium officinale* Kimura et Migo)、鼓槌石斛 (*Dendrobium chrysotoxum* Lindl.)、流苏石斛 (*Dendrobium fimbriatum* Hook.) 等栽培品种及同属植物近似种的鲜茎或干茎^[5]。现代研究表明, 石斛属植物中富含了多种化学成分, 如: 多糖类、多酚类、黄酮类、生物碱类、倍半萜类、菲类、氨基酸类和微量元素等^[6-9]。石斛是一种性寒味甘的药材, 具有补胃生津、滋阴清热之功效^[10,11], 其药用价值主要体现在免疫调节^[12]、抗氧化^[13-15]和抗癌^[16]等方面^[17]。近年来, 石斛提取物不仅作为一种天然的美白保湿化妆品原料, 还被用于制作茶、汤品、糕点等食品的辅助配料^[18-21]。

魏晋《名医别录》记载石斛的干燥为“阴干”^[22]。《本草经集注》记载石斛“不入丸散, 惟可为酒渍、煮汤用尔”^[23]。铁皮石斛因其含水量高、有效成分多等特点, 在储藏和运输过程中, 很容易被虫蛀、霉变, 从而导致品质下降^[24]。石斛表皮细胞外有一层黄色的角质层, 可以防止水分从植物中逸出。采摘后, 如果未对其进行加工处理, 它可以保留新鲜的形态, 并在合适的条件下生根发芽, 进而导致植株中的活性物质流失、品质下降^[25]。在不同的干燥方式下, 铁皮石斛中的活性成分和含量都会发生变化, 因此, 合理的干燥方法和工艺对提高铁皮石斛品质具有重要的意义^[26,27]。本文将不同加工方式对石斛属植物的有效成分、色泽和抗氧化活性的影响进行了综述, 为石斛加工品有效成分的保

护和产品开发利用提供一定的借鉴作用。

1 不同加工方式对石斛中有效成分的影响

1.1 不同加工方式对石斛中多糖的影响

1.1.1 干燥方式对石斛中多糖的影响

干燥方式是铁皮石斛加工过程中的关键步骤, 其活性成分受干燥方式影响^[28]。采用不同的干燥方式, 可以显著地影响多糖的含量。张雅琼等^[29]以传统枫斗加工法为对照, 比较分析了 6 种不同干燥方法对铁皮石斛多糖含量的影响, 发现多糖含量变幅在 36.97%~54.19% 之间, 其中烘烤-揉搓后切片烤干的多糖含量最高, 达到 54.19%; 鲜条切断晒干多糖含量只有为 36.97%。李聪等^[25]为得到优质的铁皮石斛, 采用了 4 种不同的干燥方式, 分别对药材中多糖的含量进行测定, 结果表明, 在相同的温度下, 边搓边烘的方式可以使铁皮石斛多糖的含量显著提高; 采用边搓边烘方法, 经过 80 °C 和 100 °C 处理, 多糖含量相差不大, 分别为 32.58%、32.70%, 但明显高于 60 °C 方法处理的多糖含量 30.64%; 在 60 °C、直接烘干处理的条件下, 多糖含量最低为 26.59%。

采用热风干燥、真空干燥、冷冻干燥、微波干燥等对石斛多糖也有一定的影响。有研究表明在真空干燥与热风干燥下, 铁皮石斛多糖含量均以 90 °C 为最高, 温度升高多糖含量反而降低, 可能是因为高温造成了铁皮石斛糖焦的缘故; 相较于热风干燥和真空干燥, 冷冻干燥后的铁皮石斛多糖含量较高, 而且对铁皮石斛中甘露糖与葡萄糖均有较好的保留^[30-32]。在一定的温度下, 低温干燥有利于铁皮石斛微粒的收缩减小, 维持微粒的内部结构, 并减缓美拉德、焦糖化等反应的速度, 石斛内的空隙有利于多糖的溶解^[33]。

周伟等^[34]得到了相似的结论：热风干燥和真空干燥均受到温度的影响，在 90~100 ℃下热风干燥和真空干燥后的多糖含量较高，冷冻干燥后铁皮石斛干品的多糖含量比热风干燥和真空干燥高，最接近石斛鲜品的活性成分含量。然而，也有研究发现 60 ℃的热风干燥或减压干燥得到的多糖总量高于 90 ℃^[35]，但他们的还原糖和甘露糖的含量却正好相反。张倩^[32]通过比较热风干燥的温度，发现随着温度的升高，铁皮石斛多糖含量呈现先升高后下降的趋势，在 90 ℃达到最大值。缪晓丹等^[36]将铁皮石斛鲜样经不同干燥方式处理，实验表明采用真空冷冻法对鲜条进行干燥，得到的鲜条质量最好，而鲜条在微波干燥过程中的损耗较少。同样有研究表明^[37-39]，经不同的干燥方式处理后，铁皮石斛多糖含量：冷冻干燥>热风 100 ℃干燥>晒干>热风 60 ℃干燥>微波干燥>烘干干燥>红外干燥。Meng 等^[40]研究发现，与真空、热风干燥相比，冷冻干燥对铁皮石斛中有效成分的保存效果更好，但在水溶性多糖含量方面热风干燥法优于冷冻干燥。

相比于其他干燥方式，真空冷冻干燥处理的铁皮石斛，其多糖含量保留较多，原因可能是在低温低压条件下，物料中的水升华，使物料原有结构和形状得到最大程度保护，从而减少了营养物质和有效成分的损失^[29,34]。但也有研究表明真空冷冻干燥处理的铁皮石斛中的多糖含量低于热风干燥和真空干燥^[41]，推测较高温度（60 ℃）会破坏铁皮石斛体内的糖类代谢稳态，产生更多的大分子物质，如纤维素等，导致多糖含量升高。此外，干燥方式受地

区气候条件影响，需根据当地情况而定。比如贵州天气比较潮湿，且阳光较少，无论是晾晒还是阴干，都需要较长的时间，而在阴干过程中也易发霉，在选择干燥方法时，应结合当地条件进行合理选择^[42]。

1.1.2 炮制对石斛中多糖的影响

中药炮制后，由于其对药效物质的影响，使药效物质在体内的渗透、溶解、置换、扩散和溶出等过程发生了较大的影响，从而产生了“助溶”效应，加快了药效物质的溶出速率。孙卓然等^[43]的研究结果显示，用酒炙方法加工的鼓锤石斛多糖的溶出率比用清炒和盐炒要高得多（见表 1）。

1.2 不同加工方式对石斛中黄酮和酚类成分的影响

在干燥过程中，由于方式不同，对石斛中的黄酮和酚类含量会有一定的变化。唐文文等^[44]研究发现，在对铁皮石斛叶片进行杀青处理后，其总多酚、黄酮的含量比没有杀青的叶片要高，且微波杀青、烘干杀青的叶片中总多酚、总黄酮的含量要比蒸煮、炒制的含量要高，这可能是因为高温条件下，在微波和烘干杀青过程中，能使酶活力迅速钝化，从而减少黄酮和酚类的氧化。欧阳伟虹等^[42]发现喷雾干燥处理后的铁皮石斛干品比冷冻干燥所得的铁皮石斛干品的总黄酮和多酚含量要高，但喷雾干燥获得的样品较其他工艺的样品损伤较多，虽然设备能对部分物料进行回收但并不完全，造成中药材原料的浪费。

表 1 不同加工方式对石斛多糖含量的影响

Table 1 Effect of different processing methods on polysaccharide content of *Dendrobium*

干燥方式	多糖得率/%	变化趋势	甘露糖含量/%	葡萄糖含量/%	参考文献
石斛鲜条	7.45±0.52	—	—	—	[30]
热风干燥（90 ℃）	10.54±0.43	↑	22.50±1.37	5.27±0.31	[30]
真空干燥（90 ℃）	8.64±0.66	↑	22.85±2.24	3.74±0.34	[30]
冷冻干燥（-80 ℃）	11.30±0.03	↑	23.45±0.10	6.59±0.34	[30]
石斛干品	15.34	—	—	—	[43]
清炒石斛	16.44	↑	—	—	[43]
酒炙石斛	19.85	↑	—	—	[43]
盐炙石斛	15.62	↑	—	—	[43]

林鸿^[45]、廖素溪等^[46]也发现,与微波干燥相比,新鲜铁皮石斛中多酚含量有显著的变化,其含量随着烘干时间和功率的增加,呈现先增加后减少的趋势。在药材的加工应用中,除了微波干燥外,还常采用间歇式微波干燥。韩姝萆等^[39]研究发现,当采用微波间歇干燥处理铁皮石斛时,在间隔时间为30 s、功率为550 W时,铁皮石斛总酚的含量较高;在间隔时间为2 min时总酚含量很低,可能由于在此过程中多糖与总酚在某种程度上起了反应,导致酚类成分降低。也有研究表明温度对铁皮石斛多酚的含量有一定的影响,90℃时多酚含量最多,随着温度的增加,含量有所下降。周思静等^[37]研究表明,经不同的干燥方式处理后,铁皮石斛总酚含量:冷冻干燥>热风60℃干燥>热风100℃干燥>晒干>微波干燥;总黄酮含量:晒干>冷冻干燥>热风60℃干燥>微波干燥>热风100℃干燥。

邱程阳等^[47]研究发现铁皮石斛花中黄酮含量:冷冻干燥>80℃热风干燥>微波干燥>60℃热风干燥>红外干燥>100℃热风干燥>晒干法>阴干法,其中,与其他干燥方法所得铁皮石斛花黄酮的含量相比,冷冻干燥法显著升高,含量为1.57%。左思敏^[48]、Ravisankar等^[49]研究发现,新鲜的铁皮石斛加工为半成品时,黄酮含量显著降低;由半成品加工为铁皮枫斗时,其含量显著回升(见表2)。

表2 不同干燥方式对石斛黄酮及多酚含量的影响
Table 2 Effects of different drying methods on flavonoid and polyphenol contents of *Dendrobium dendrobium*

干燥方法	黄酮含量/%	多酚含量/%	参考文献
晒干	1.23	0.09	[37,47]
阴干	1.15	—	[47]
热风干燥	1.47	0.10	[32,37,47]
真空干燥	0.47	0.55	[39]
冷冻干燥	1.57	0.11	[37,47]
微波干燥	1.33	0.09	[37]
微波真空干燥	—	0.32	[45]
微波间歇干燥	0.50	0.72	[39]
喷雾干燥	0.75	1.09	[42]

1.3 不同加工方式对石斛中生物碱的影响

1.3.1 干燥方式对石斛中生物碱的影响

大量的研究发现采用不同的干燥方式,石斛中生物碱的含量没有显著的变化,推测原因可能是石斛碱是倍半萜生物碱类,其稳定性较高^[50]。辛明

等^[41]通过4种干燥方式对铁皮石斛中的石斛碱进行了对比研究,结果表明,在不同的干燥方法下,石斛碱的含量没有显著变化。张倩^[32]发现热风干燥过程中不同温度和不同的预处理方法(剪切、冻融和烫漂)对石斛碱的含量影响不大。采用炒青法、漂烫法、蒸制法、微波和烘青5种不同的杀青方式制备石斛叶茶,实验表明漂烫杀青比其他方式处理的总生物碱含量明显降低,这是因为叶中含有溶解于水的生物碱盐,在水分的作用下会损失掉;其它各处理之间的差别不大^[51]。

但也有研究发现,冷冻干燥后石斛碱的含量略高于热风循环干燥和传统烘干法干燥^[52]。罗春丽等^[53]通过比较不同前处理和干燥方法的金钗石斛,发现采用自然干燥、50℃烘干和微波干燥的方法,可以增加其石斛碱含量。

在不同的干燥下,铁皮石斛中的生物碱含量变化较小,在干燥时,可优先考虑其他因素,选择成本相对较低的干燥方法。

表3 不同加工方式对石斛碱含量的影响
Table 3 Effect of different processing methods on content of dendrobium alkaloid

加工方法	石斛碱含量/%	参考文献
黄酒炙品	0.22	[55,56]
白酒炙品	0.21	[55]
黄酒润蒸制品	0.23	[55]
白酒润蒸制品	0.28	[55]
蒸制品	0.23	[55]
醋炙	0.58~0.60	[58]
烘干	0.30~0.49	[41,52]
热风循环干燥	0.42	[52]
冷冻干燥	0.45	[52]
微波干燥	0.14±0.02	[50]
真空干燥	0.15±0.01	[50]
自然晾干	0.08±1.54	[41]
热风干燥	0.10	[32,41]

1.3.2 炮制对石斛中生物碱含量的影响

欧德明等^[54,55]研究了铁皮石斛干品与不同炮制品中生物碱含量的变化,结果发现,从高到低依次为白酒润蒸制品、蒸制品、黄酒润蒸制品、黄酒炙品、白酒炙品、干品。酒在一定程度上有助溶效果,同样有文献表明^[56,57],金钗石斛经过黄酒炙后的石斛碱含量比清炒高。邓贤芬等^[58]以乙酸含量为4%的白醋炮制金钗石斛后干燥,得到的炮制饮片中石斛

碱含量为 0.583%~0.597%，比直接干燥的金钗石斛的石斛碱溶出率增加 21%~24%。石冬俊等^[59]研究发现石斛煎煮法比熬膏法其有效成分保留率更高，在熬膏时，通过增加粉碎度以及酒、水并用可以增加石斛中生物碱的溶出率。

在炮制时，可选择酒或白醋作为炮制辅料，用酒炮制后石斛中生物碱含量有所提高，白醋也可提高石斛碱的溶出。在熬煮中药过程时，选择粉碎度较高的石斛，并加入适量的酒，可在一定程度下提高石斛中生物碱的溶出率（见表 3）。

1.4 不同加工方式对石斛中氨基酸的影响

石斛中主要含有 4 种氨基酸，分别为：天冬氨酸、谷氨酸、亮氨酸、精氨酸。通常，物质的营养损失与干燥时间和暴露时间密切相关，随着干燥时间的延长或与空气接触时间的延长，营养成分保留率降低。

林鸿等^[45]研究表明，在微波真空条件下，铁皮石斛中的必需氨基酸和非必需氨基酸含量都有明显升高，且微波强度影响氨基酸的含量，较高的微波强度得到的氨基酸含量则要高一些，这可能是因为在较低的微波强度下，通过较长的时间进行干燥，造成了游离氨基酸的流失。但与 60℃常压烘干、自然晒干、60℃真空干燥相比，微波干燥下得到的样品游离氨基酸保留率和结合氨基酸保留率最低，可能是因为微波干燥方式破坏了游离氨基酸和蛋白质多肽类物质的结构^[60,61]。为了减少微波对氨基酸的破坏，研究发现，超声预处理对氨基酸有一定的保存作用。索浩然^[62]研究表明，经超声预处理后微波干燥的样品氨基酸含量为 5.33%，而仅用微波干燥处理后的样品氨基酸含量为 5.01%，说明超声预处理可减少氨基酸的损失，这可能是由于超声预处理缩短了干燥时间所致。周锦业等^[63]对铁皮石斛花进行了冻干和热风干燥，结果表明，经过冻干的总氨基酸含量显著增加，可达 8.78%，除了脯氨酸、缬氨酸、赖氨酸的含量较热风干燥的低之外，其他 14 种氨基酸的含量均高于热风干燥，或者与之相近。同时，在冻干条件下，必需氨基酸的含量为 3.04%，非必需氨基酸的含量为 5.74%，药效氨基酸的含量为 5.94%，鲜味氨基酸的含量为 2.83%。

综上所述，微波干燥虽能保持铁皮石斛中氨基酸含量，但氨基酸的空间结构会受到影响，对游离氨基酸和结合氨基酸的保留率较低，可以通过超声预处理提升氨基酸的保留量，另外，还可以使用热

风干燥、冷冻干燥等方法来代替。总的来讲，冷冻干燥法比热风干燥法对氨基酸的保留量更多，尤其对于非必需的氨基酸的保留率比其他类别的氨基酸更高（见表 4）。

表 4 不同干燥方式对石斛总氨基酸含量的影响
Table 4 Effects of different drying methods on total amino acid content of *Dendrobium dendrobium*

干燥方法	总氨基酸	参考文献
自然晒干	总氨基酸保留率 89.84%	[60]
60℃烘干	总氨基酸保留率 89.17%	[60]
60℃真空干燥	总氨基酸保留率 90.22%	[60]
微波干燥	总氨基酸保留率 64.31%	[60]
热风干燥	相对含量 8.11%	[63]
冷冻干燥	相对含量 8.78%	[63]

2 不同加工方式对石斛色泽的影响

水分含量对食品的感官质量及贮藏稳定性具有重要的作用^[34]。干燥的水分既可以通过热力或气流将液态水转变为气态水，如热风干燥、真空干燥、自然晾干等，也可由固体冰直接升华为气态，如冷冻干燥。研究发现，不同的温度会对铁皮石斛干品的颜色产生较大的影响，比如热风干燥和真空干燥，他们都经过了加热处理，所以颜色都呈现暗黄绿色，而自然晾干后的颜色则稍显暗淡，真空干燥所得的产品则保留了较好的色泽，显著优于其他方法^[30,41]。

Meng 等^[40]将石斛红外干燥、晒干法处理后，分别与石斛鲜品对比，结果发现冷冻干燥法对石斛的保色率最好。韩姝葶等^[39]研究发现当温度为 80~100℃时，由于叶绿素及其它呈色物质的破坏，使其颜色逐渐偏黄，最终呈现为黄绿色，经微波间歇干燥处理后，铁皮石斛褐变，色泽呈暗黄绿色，但在真空冷冻干燥下，其色泽几乎没有发生明显的改变，其色泽与鲜品更为接近。有学者通过对铁皮石斛叶进行不同的干燥方式，发现冷冻干燥是绿色，热风干燥是棕色，干燥前揉捻是棕色，干燥前蒸汽处理和干燥前蒸汽处理并揉捻处理的颜色较深^[64]。周伟等^[34]研究表明，在干燥期间，由于温度、氧含量的不同，铁皮石斛的外观会有不同程度的变化。铁皮石斛经过热风干燥和真空干燥后，其感官品质在体积、颜色和气味方面会产生较大的变化，冷冻干燥能有效保存铁皮石斛的感官品质。

除了温度外，干燥时间也一定程度的影响铁皮石斛的颜色。宋智琴等^[51]研究发现，阴干法和晒干

法耗时较长，导致其外观美观度较差；相比于这两种方法，60℃烘干所用时间相对较短，铁皮石斛外观是偏深的绿色，比较美观。欧阳伟虹^[42]研究表明，喷雾干燥由于瞬时高温，干燥时间最短，其保留了铁皮石斛水提取原有的色泽；在冷冻干燥过程中，由于受到了低温的保护，所以样品的颜色也得到了较好的保留。然而，在热风 and 真空干燥中，温度比较高，干燥时间较长，这对铁皮石斛水提物的颜色有较大的影响，所得样品褐变严重。李聪等^[25]采用直接烘干、烫后烘干、边搓边烘、烫后边搓边烘的方法，铁皮石斛的颜色从褐绿色分别变为黄色、暗黄色、金黄色、暗金黄色，具有较大的差异。



图 1 不同干燥方式对石斛色泽的影响

Fig.1 Effect of different drying methods on the color of *Dendrobium dendrobium*

表 5 不同干燥方式对石斛色泽的影响

Table 5 Effect of different drying methods on the color of *Dendrobium dendrobium*

加工方法	色泽	参考文献
热风干燥	棕黄色	[30,34,64]
真空干燥	棕黄色	[30,34]
冷冻干燥	淡绿色	[34,62]
微波干燥	黄色偏褐色	[37]
60℃烘干	深绿色	[51]
自然晾干	暗绿色	[30,41]
晒干	黄褐色	[40]
红外干燥	棕褐色	[40]
喷雾干燥	水提物原有的色泽	[42]

总体来说，经过自然晒干和真空冷冻干燥的铁皮石斛与鲜品颜色相近，呈偏绿色；经过热风干燥和微波干燥后，表面呈现黄色偏褐色，而在减压干燥过程中表面会呈现褐黄色。这主要是由于在局部产生了焦糖化及美拉德反应，所以造成了产品表面颜色偏深^[35,37,41,65,66]。如图 1 所示，喷雾干燥虽然时

间短，但药材损失较大，冷冻干燥具有干燥效果好、速度快、保持物料原有品质的特点，所以要想保持好的外观可选用此干燥方式（见表 5）。

3 不同加工方式对石斛抗氧化活性的影响

表 6 不同干燥方式对石斛抗氧化活性的影响

Table 6 Effects of different drying methods on antioxidant activities of *Dendrobium dendrobium*

干燥方法	DPPH 自由基/%	ABTS ⁺ 自由基/%	OH 自由基/%	参考文献
热风干燥	55.7	—	26.8	[30]
真空干燥	42.2	—	34.8	[30]
冷冻干燥	80.0	—	41.2	[30]
微波真空干燥	62.5	—	82.2	[44]
冻融	83.73	80.91	69.37	[32]
烫漂	59.30	59.45	60.25	[32]

不同预处理方法下，对铁皮石斛的抗氧化能力有较大的影响，冻融预处理后粗提物在 DPPH 自由基清除、ABTS⁺ 自由基清除和羟基自由基清除方面均表现出最强的能力，直接剪切次之，烫漂预处理最差^[32]。铁皮石斛鲜叶杀青是一种保持其有效成分的一种方法，唐文文等^[44]发现杀青后的抗氧化活性显著高于未杀青处理的，在不同方式的杀青处理中，微波和烘青显著高于炒青、蒸制和漂烫。贺文韬^[30]对浙产铁皮石斛进行不同干燥处理后提取多糖，发现冷冻干燥法的抗氧化性最好，90℃热风干燥次之，90℃真空干燥最差。朱南南等^[67]对金钗石斛干鲜品的抗氧化活性进行比较研究，发现 55℃鼓风烘干的干品对羟自由基的清除率和抗氧化能力均显著高于干品。欧阳伟虹等^[42]研究发现铁皮石斛经过热风、真空、喷雾以及冷冻干燥后仍都显示出较强的抗氧化作用。除热风干燥外，其他方式对于 DPPH 自由基的清除能力无显著差别，而喷雾干燥与冷冻干燥的样品对于 ABTS⁺ 自由基的清除能力显著优于热风干燥。林鸿^[45]研究铁皮石斛多酚对 DPPH 自由基和 OH 自由基清除含量的影响，发现微波真空干燥、真空干燥、冷冻干燥三种方法均具有较好的抗氧化性。邱程阳等^[47]比较不同干燥方法对铁皮石斛花抗氧化活性的影响，发现冷冻干燥后所得样品的抗氧化能力最强。通过对比不同烘干温度对铁皮石斛多糖抗氧化活性的影响，结果显示：在 40~80℃温度范围内，随着干燥温度的升高，多糖的提取率、抗氧化能力均出现了明显的变

化,但其结构与抗氧化作用的相关性仍需进一步探讨^[68,69](见表6)。

4 结论与展望

在历史记载中,石斛可鲜用,但一般干品入药居多,常被加工为石斛枫斗。干燥加工可以减少石斛的水分含量,延长货架期。本文综述发现,不同的干燥方法对石斛中有效成分、外观及抗氧化活性均有一定的影响。其中冷冻干燥是一种较为理想的干燥方式,其既保留了石斛的化学成分,对石斛的色泽也影响较小,同时提高了石斛的抗氧化能力。但在产业加工时,可采取多种干燥方法联合使用的方式,如在冷冻干燥前先进行烘干,可缩短干燥时间,提高干燥效率。在炮制石斛时,选用酒作为炮制辅料,能促进石斛中生物碱和盐类、糖类、氨基酸等一些成分的溶出。

目前,有关干燥对铁皮石斛化学成分影响的研究已取得一些成果,但干燥前对石斛的预处理及酒炙、盐炙等炮制方法对铁皮石斛的影响研究较少,且其主要集中在对多糖、石斛碱成分的研究,对于石斛中其他成分的影响尚未明确;市面上石斛产品为石斛枫斗、石斛枫斗颗粒、石斛粉、石斛原浆、石斛饮料、石斛酒、石斛面膜等,多以药物为主,仍在加工工艺和创新上存在不足,缺乏精深加工的功能性产品;在今后的研究中,应该不断探索炮制方法对石斛中多酚、黄酮、氨基酸等其他成分的影响,并研究加工影响其有效成分的变化机理;研究干燥和炮制过程中,不同营养功能成分的互作规律,建立品质调控技术;联合不同的干燥和炮制方法,在保证石斛品质和药效的条件下,提高生产效率;在实际应用中,根据不同人的需求,不断开发新产品、新技术,为石斛的深加工与功能性产品的开发利用提供依据。

参考文献

- [1] CAKOVA V, BONTE F, LOBSTEIN A. *Dendrobium*: sources of active ingredients to treat age-related pathologies [J]. *Aging and Disease*, 2017, 6: 827-849.
- [2] LI P Y, LI L, WANG Y Z. Traditional uses, chemical compositions and pharmacological activities of *Dendrobium*: a review [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2023, 310: 116382.
- [3] GUO L, QI J, DU D, et al. Current advances of *Dendrobium officinale* polysaccharides in dermatology: a literature review [J]. *Pharm Biol*, 2020, 58(1): 664-673.
- [4] WANG Y H. Traditional uses, chemical constituents, pharmacological activities, and toxicological effects of *Dendrobium leaves*: a review [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, 270: 113851.
- [5] 吴琼,柴艺汇,刘春艳,等.石斛化学成分和药理作用研究进展[J]. *贵州中医药大学学报*, 2021, 43(5): 99-103.
- [6] 谭丽春,李征,杨继勇,等.石斛属植物的化学成分及药理作用研究进展[J]. *山东化工*, 2023, 52(1): 74-76.
- [7] LAM Y, NG T, YAO R, et al. Evaluation of chemical constituents and important mechanism of pharmacological biology in *Dendrobium* plants [J]. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 2015: 841752.
- [8] 令狐楚,谷荣辉,秦礼康.金钗石斛的化学成分及药理作用研究进展[J]. *中草药*, 2021, 52(24): 7693-7708.
- [9] 张雪琴,赵庭梅,刘静,等.石斛化学成分及药理作用研究进展[J]. *中草药*, 2018, 49(13): 3174-3182.
- [10] 国家药典委员会. *中华人民共和国药典(一部)* [S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [11] ZHANG P, ZHANG X, ZHU X, et al. Chemical constituents, bioactivities, and pharmacological mechanisms of *Dendrobium officinale*: a review of the past decade [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2023, 71(41): 14870-14898.
- [12] 刘伟帆,郭烁璇,林映好,等.石斛多糖的构效关系研究进展[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(1): 308-338.
- [13] 林丹霓,黄君婷,钟玉鸣,等.兜唇石斛发酵多肽抗氧化活性与氨基酸结构的关系[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(10): 139-150.
- [14] 唐文文,夏俊丽,陈垣.铁皮石斛茎、叶、花功能性成分、抗氧化活性及其相关性[J]. *食品与机械*, 2021, 37(7): 45-50.
- [15] 孟继坤,张楠,吴浩,等.超高压提取铁皮石斛多糖工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. *食品与机械*, 2023, 39(1): 157-163.
- [16] 张金萍,葛基春,李强明,等.霍山石斛多糖对Lewis肺癌荷瘤小鼠肿瘤生长的抑制作用[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(7): 7-15.
- [17] ZHANG T, YANG X, WANG F, et al. Comparison of the metabolomics of different *Dendrobium* species by UPLC-QTOF-MS [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24: 17148.
- [18] 林华嗣,黄庆,田胜兰,等.乳酸菌发酵前后铁皮石斛汁中功能活性物质与风味成分的比较[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(12): 253-261.
- [19] ZHANG W, LIU X, SUN X, et al. Comparison of the antioxidant activities and polysaccharide characterization of Fresh and dry *Dendrobium officinale* Kimura et Migo [J]. *Molecules*, 2022, 27(19): 6654.
- [20] 宋明智,黄倩倩,李婷,等.贵州铁皮石斛产品开发与推广

- 探讨[J].合作经济与科技,2022,22:66-68.
- [21] SUN J, LIU P F, LIU J N, et al. Combined metabolomics and proteomics to reveal beneficial mechanisms of *Dendrobium fimbriatum* against gastric mucosal injury [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 948987.
- [22] 陶弘景.名医别录[M].北京:人民卫生出版社,1986.
- [23] 陶弘景.本草经集注[M].北京:人民卫生出版社,1994
- [24] LIU P, FAN B, MU Y, et al. Plant-wide target metabolomics provides a novel interpretation of the changes in chemical components during *Dendrobium officinale* traditional processing [J]. *Antioxidants (Basel)*, 2023, 12(11): 1995.
- [25] 李聪,宁丽丹,斯金平,等.铁皮石斛采后加工及提取方法对多糖的影响[J].中国中药杂志,2013,38(4):524-527.
- [26] ZHOU J, GONG Y, MA H, et al. Effect of drying methods on the free and conjugated bufadienolide content in toad venom determined by ultra-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry coupled with a pattern recognition approach [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2015, 114: 482-487.
- [27] NGUYEN V, QUAN V, BOWYER M. Effects of different drying methods on bioactive compound yield and antioxidant capacity of *Phyllanthus amarus* [J]. *Drying Technology*, 2015, 33: 1006-1017.
- [28] 刘亚净,张燕玲,郭毅,等.不同干燥炮制方法对石斛品质的影响研究[J].广东化工,2020,47(19):79-80,73.
- [29] 张雅琼,丁作明,安彦峰,等.铁皮石斛药材不同加工方法的比较[J].中国民族民间医药,2015,24(1):39-41.
- [30] 贺文韬.不同干燥模式下对浙产铁皮石斛品质影响及生物活性研究[D].舟山:浙江海洋大学,2021.
- [31] 陈才军,缪丹旎,贺文韬,等.干燥方式对铁皮石斛糖类成分的影响[J].食品工业,2022,43(7):11-13.
- [32] 张倩.不同预处理对铁皮石斛热风干燥过程及品质的影响[D].芜湖:安徽工程大学,2022.
- [33] 马厚雨,邢丽,缪冶炼.干燥温度对铁皮石斛颗粒中多糖溶出特性的影响[J].现代食品科技,2019,35(4):109-115.
- [34] 周伟,李沛生,阮征,等.不同干燥方式对铁皮石斛失水特性及品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(2):135-139.
- [35] 邹学哲,邓红,吴嘉琳,等.基于变异系数权重法评价3种干燥方式对铁皮石斛多糖理化性质的影响[J].广东药科大学学报,2023,39(4):87-92.
- [36] 缪晓丹,徐丽红,宋仙水,等.不同加工方式对铁皮石斛品质的影响[J].浙江农业科学,2020,61(4):704-707,734.
- [37] 周思静,乔宇琛,刘桂君,等.不同干燥方式对铁皮石斛粉品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(16):11-16.
- [38] 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.
- [39] 韩姝葶,王婉馨,袁国强,等.干燥方式对铁皮石斛品质的影响[J].食品科学,2019,40(3):142-148.
- [40] MENG Q R, FAN H R, LI Y H, et al. Effect of drying methods on physico-chemical properties and antioxidant activity of *Dendrobium officinale* [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2018, 12: 1-10.
- [41] 辛明,张娥珍,李楠,等.不同干燥工艺对铁皮石斛多糖及石斛碱的影响[J].南方农业学报,2013,44(8):1347-1350.
- [42] 欧阳伟虹,肖艺,卢秋静,等.不同干燥工艺对铁皮石斛有效成分及抗氧化活性影响[J].药物生物技术,2017,24(2):133-136.
- [43] 孙卓然,刘圆,李晓云,等.鼓槌石斛不同产地及不同炮制方法后多糖含量测定[J].中成药,2009,31(11):1809-1811.
- [44] 唐文文,夏俊丽,陈垣.不同杀青方式对铁皮石斛叶茶的活性成分及抗氧化活性的影响[J].食品科技,2021,46(10):74-82.
- [45] 林鸿.铁皮石斛微波真空干燥特性及工艺优化研究[D].福州:福建农林大学,2020.
- [46] 廖素溪,曾令杰,郭玉梅.微波干燥对铁皮石斛干燥特性及其活性成分的影响[J].广东化工,2017,44(7):16-18,13.
- [47] 邱程阳,孔慧梅,郑方正,等.不同干燥方法对铁皮石斛花黄酮含量和抗氧化活性的影响[J].时珍国医国药,2020,31(3):598-600.
- [48] 左思敏.基于代谢组学研究栽培基质与炮制加工对铁皮石斛代谢成分的影响[D].海口:海南大学,2023.
- [49] RAVISANKA S, QUEIROZ V, AWIKA J M. Rye flavonoids -structural profile of the flavones in diverse varieties and effect of fermentation and heat on their structure and antioxidant properties [J]. *Food Chemistry*, 2020, 324: 126871.
- [50] 孟映霞,马朝阳,王洪新,等.不同干燥工艺对金钗石斛叶品质的影响[J].中国实验方剂学杂志,2017,23(15):26-30.
- [51] 宋智琴,刘海,杨平飞,等.黔产铁皮石斛产地干燥技术研究[J].中药与临床,2018,9(1):5-6,9.
- [52] 钱桂敏,王平,郭峰.不同干燥方法对金钗石斛鲜品中石斛碱含量的影响[J].辽宁中医药大学学报,2012,14(1):190-191.
- [53] 罗春丽,曾亚军,徐昌利,等.金钗石斛鲜切片制备高端饮片加工工艺研究[J].时珍国医国药,2022,33(8):1895-1898.
- [54] 欧德明,周一帆,胡昌江,等.星点设计-效应面法优选石斛酒润蒸制工艺[J].中国实验方剂学杂志,2013,19(19):34-37.
- [55] 欧德明,周一帆,胡昌江,等.不同方法炮制前后石斛中石斛碱及石斛多糖含量测定[J].亚太传统医药,2013,9(8):22-24.
- [56] 陈照荣,来平凡,林巧.不同炮制方法对石斛中石斛碱和多糖溶出率的影响[J].浙江中医学院学报,2002,4:79-81.
- [57] 路继刚,范在举.金钗石斛三种炮制方法对于其中石斛碱和多糖溶出率产生的影响对比研究[J].临床医药文献电子杂志,2020,7(45):1,3.

- [58] 邓贤芬,罗春丽,杨继勇,等.正交试验优选醋炙金钗石斛的炮制工艺[J].贵州农业科学,2018,46(11):138-141.
- [59] 石冬俊,杨文字,唐盛,等.金钗石斛煎煮熬膏过程中多糖和总生物碱含量的变化[J].时珍国医国药,2016,27(2):355-358.
- [60] 陈玉芹,胡永亮,白燕冰,等.石斛的氨基酸组成及分析[J].热带作物学报,2019,40(9):1823-1830.
- [61] 徐兰芳,鲁芹飞,张扬,等.干燥方法对铁皮石斛质量的影响研究[J].中国药房,2015,26(13):1808-1811.
- [62] 索浩然.超声波预处理对铁皮石斛干燥特性及品质的影响[D].芜湖:安徽工程大学,2020.
- [63] 周锦业,孙明艳,邓杰玲,等.品种、干燥和贮存方式对铁皮石斛花氨基酸含量的影响[J].食品科技,2019,44(2):88-93.
- [64] LIU J J, LIU Z P, ZHANG X F, et al. Effects of various processing methods on the metabolic profile and antioxidant activity of *Dendrobium catenatum* lindley leaves [J]. *Metabolites*, 2021, 8: 54-59.
- [65] 张悦,孔菲菲,张周菊,等.铁皮石斛不同干燥方法的质量对比研究[J].湖北中医杂志,2022,44(9):54-58.
- [66] 易玟旭.铁皮石斛枫斗成型加工装备设计与试验[D].合肥:安徽农业大学,2023.
- [67] 朱南南,孙志蓉,杨春宁,等.金钗石斛干鲜品的质量比较研究[J].天津中医药,2015,32(11):689-692.
- [68] 李俊健,林锦铭,林蕾,等.烘干温度对铁皮石斛茎多糖抗氧化活性影响的研究[J].粮食与食品工业,2021,28(1):42-45.
- [69] 林锦铭,肖小茵,李俊健,等.烘干温度对铁皮石斛叶多糖抗氧化活性影响的研究[J].粮食与食品工业,2020,27(4):28-31.