

史国玉,曹红,武卫红,等. 丹参地上部分热风干燥过程中的水分变化规律[J]. 江苏农业科学,2021,49(14):166-170.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.14.031

# 丹参地上部分热风干燥过程中的水分变化规律

史国玉<sup>1</sup>, 曹红<sup>1</sup>, 武卫红<sup>1</sup>, 商庆节<sup>1</sup>, 葛秀允<sup>1</sup>, 赵永曜<sup>1</sup>, 姜斌<sup>1</sup>, 崔莉<sup>2</sup>

(1. 山东医学高等专科学校, 山东济南 250002; 2. 齐鲁工业大学(山东省科学院)/山东省分析测试中心, 山东济南 250014)

**摘要:**研究丹参地上部分在热风干燥过程中的水分变化,基于低场核磁共振技术比较了不同部位的水分分布及不同温度(35、55℃)条件下水分散失规律。结果表明,白花丹参与紫花丹参地上部位的水分特征一致,都有3种状态的水,即结合水、不易流动水和自由水,叶、花萼中以不易流动水为主,茎、侧枝、花(除花萼)、花蕾中以自由水为主。在热风干燥过程中,随干燥时间的延长和温度的升高,丹参茎、侧枝及叶中3种状态的水均呈现逐渐减少的趋势,干燥前期均为自由水先散失,茎中自由水会有部分转化为结合力更强的不易流动水,低温干燥初期叶与茎、侧枝相比,自由水的散失更慢,低场核磁共振技术为丹参不同地上部位中水分状态变化研究提供了直观的参考,侧枝及茎可采用较高的热风温度进行干燥加工,叶片等部位适宜采用较低的热风温度。

**关键词:**丹参;地上部分;低场核磁共振;热风干燥;水分变化

**中图分类号:**R283 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)14-0166-04

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge.)为唇形科鼠尾草属多年生草本植物<sup>[1]</sup>,是我国常用大宗中药材,我国种植丹参面积约1.3万hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。丹参以根及根茎入药,地上部分占全株生物量的60%~70%<sup>[3]</sup>,因此生产过程中大量非传统药用部位,如花、茎、叶等,大多被丢弃,造成严重资源浪费。近年来,越来越多研究者关注丹参的资源化利用<sup>[4]</sup>,现代研究显示,丹参花与花序、茎叶、须根等非传统药用部位中含有丰富的酚酸类、黄酮类、挥发油类、三萜类等活性成分<sup>[5-7]</sup>,具有防治心脑血管疾病和糖尿病、抗肿瘤等药理活性<sup>[8-11]</sup>和巨大的开发潜力,目前已有茎、叶、花等被开发为保健饮品、花茶、化妆品等各类产品<sup>[12]</sup>,市场上已有丹参花茶、丹参叶茶、化妆品等产品出现,但尚未得到充分有效的利用,亟待开展相关研究。

采收加工是中药生产的重要环节,新鲜丹参含水量约70%左右,因而干燥是资源综合利用的首要加工过程,不同组织部位因结构差异其加工特性也

不同。同时,随着水分迁移及水分状态的变化,丹参各部位细胞中会发生复杂的生理生化变化,新鲜组织经过干燥等过程,其活性成分会发生不同的变化,干燥脱水与多种成分含量的变化密切相关<sup>[13-15]</sup>,因而探明丹参不同部位中不同状态水分的散失规律,将有利于进一步优化丹参地上部位干燥生产工艺,促进品质提升。

低场核磁共振(low field nuclear magnetic resonance,简称LF-NMR)技术是近年来发展的一种无损、无侵入的水分测量方法<sup>[16]</sup>,可定性、定量描述及动态监测物料内部水分变化,近年来迅速在农业食品、生命科学、石油能源、高分子材料等领域得到应用<sup>[17-20]</sup>。本试验基于LF-NMR技术,研究丹参地上部位水分分布及干燥过程中水分迁移规律,以期对丹参资源开发提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

丹参于2020年5月采自山东省济南市,采摘紫花丹参、白花丹参的新鲜整株,按不同部位分别制作样品,挑选健康、无机械损伤、大小均匀的备用。

MesoMR23-040V-I核磁共振分析系统,购自苏州纽迈电子科技有限公司,磁体强度为0.55T,磁体温度为32℃;电热鼓风干燥箱,购自上海一恒科学仪器有限公司;BAS124S万分之一天平,购自赛多利斯科学仪器(北京)有限公司。

收稿日期:2020-10-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:82003886);山东省高等学校科技计划(编号:J17KA261);山东省中医药科技发展计划(编号:2019-0314);山东省职业教育技艺技能传承创新项目(编号:201712)。

作者简介:史国玉(1979—),女,山东日照人,博士,副教授,主要从事中药学教学与中药资源研究。E-mail:shigy@live.com。

通信作者:崔莉,博士,副研究员,主要从事药食两用资源开发研究。E-mail:cui0617@163.com。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 样品处理** 丹参植株地上部分按照不同部位切割,获得茎和侧枝(剪切为 2 cm 长的小段)、花瓣、花萼、无叶柄鲜叶,各部位分别混合均匀,挑选称质量备用。将丹参不同部位的样品单层平铺于干燥箱内的中层隔板上,在设定温度(35、55 ℃)下进行热风干燥,分别在不同烘干时间取样,称质量。

**1.2.2 低场核磁共振检测** 将不同丹参样品进行低场核磁共振横向弛豫时间( $T_2$ )的测定。经自由感应衰减(free induction decay,简称 FID)序列获得中心频率,待样品温度降到室温,放入永久磁场中心位置(直径为 25 mm 的射频线圈中心),采用多脉冲回波序列扫描采集核磁信号,然后利用同时迭代重建(sirt)算法(迭代次数为 10 万次)进行反演得到  $T_2$  谱图。主要参数:主频为 20 MHz,偏移频率为 995 371.01 kHz,90 度脉冲时间为 7  $\mu$ s,180 度脉冲时间为 14  $\mu$ s,累加采样次数为 6,回波时间为 0.2 ms,回波个数为 10 000。

**1.2.3 数据处理及分析** 利用 T-invfit 软件得到丹参样品的  $T_2$  反演图谱,采用 Excel 2016 软件进行数据处理及作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 丹参不同地上部位的 $T_2$ 谱图测定

一般花冠为紫色或紫红色的丹参为紫花丹参,白花丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge. f. *alba*)花冠为白色或淡黄色,是丹参的白花变型,主要分布在山东省境内<sup>[21]</sup>,研究表明,2 种丹参化学成分基本相同,本研究比较了 2 种丹参不同地上部位的水分状态。分别检测紫花丹参的花(除花萼)、花萼、叶片、侧枝、主茎的  $T_2$  谱图,经峰面积归一化处理,结果见图 1,  $T_2$  与样品中氢质子所受的束缚力及其自由度有关,反映了组织内部氢质子的化学环境,而这受到组织结构的影响,因而不同组织中水和其他成分间的相互作用影响氢质子弛豫时间,即弛豫时间越长,说明水分受的自由度越大,也就是受到的束缚越小,表现在  $T_2$  谱上即峰位置越偏右,不同部位水分有明显差异,花萼和叶片  $T_2$  谱上的峰位置偏左,与其他 3 个部位相比,水分自由度较低。检测白花丹参不同部位的  $T_2$  谱图,结果见图 2,白花丹参与紫花丹参地上部位的水分差异表现出相同的特征,花萼、花蕾和叶片的  $T_2$  谱峰位置偏左,花(除花萼)、侧枝和主茎峰位置越偏右,水分自由度较高。

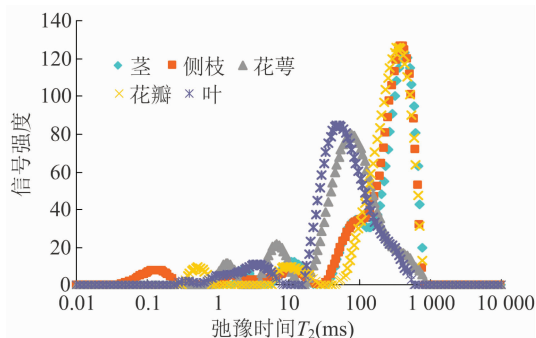


图1 紫花丹参不同部位  $T_2$  谱图

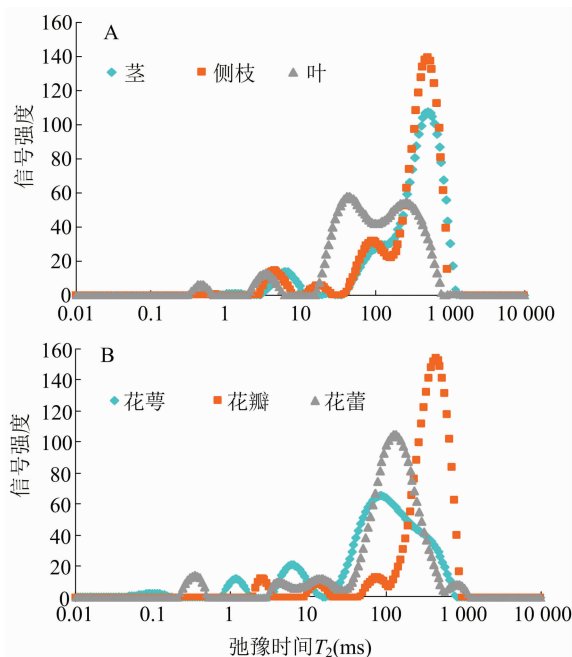


图2 白花丹参不同部位  $T_2$  谱图

经过加权之后确定,  $T_2$  谱中的 3 个峰分别对应 3 种状态的水,即:结合水 0 ~ <10 ms ( $T_{21}$ )、不易流动水 10 ~ <100 ms ( $T_{22}$ )、自由水 100 ~ 10 000 ms ( $T_{23}$ ),峰积分面积( $A_{21}$ 、 $A_{22}$ 、 $A_{23}$ )分别代表 3 种状态水的相对含量<sup>[22-23]</sup>,各峰积分面积占总峰面积( $A$ )的比例见表 1,丹参叶、花萼中以不易流动水为主,茎、侧枝、花(除花萼)、花蕾中以自由水为主,即叶、花萼部位对水的束缚力较其他地上部位更强,由于不同部位的组织结构不同,其表层组织结构致密程度也不同,与水分之间的作用力有差异,从而导致水分状态的不同。

### 2.2 干燥过程中丹参地上部位水分迁移规律

横向弛豫时间  $T_2$  反映水分子的结合力和水分迁移等信息,干燥过程中  $T_2$  越大,表明水分自由度越大,与所处环境中的大分子等的结合力越弱,即越容易除去。白花丹参的叶、侧枝及茎在 35 ℃ 干燥

表 1 丹参不同部位  $T_2$  谱峰面积占比

丹参	不同部位	$A_{21}/A$ (%)	$A_{22}/A$ (%)	$A_{23}/A$ (%)
白花丹参	茎	7.234	0.140	92.627
	侧枝	4.940	18.402	76.658
	叶	7.019	92.824	0.157
	花(除花萼)	4.699	3.946	91.355
	花蕾	7.322	6.318	86.360
	花萼	15.341	84.659	0.000
紫花丹参	茎	2.267	24.187	73.547
	侧枝	6.312	4.786	88.903
	叶	10.423	89.577	0.000
	花(除花萼)	8.036	0.000	91.964
	花萼	14.237	85.763	0.000

过程中不同时间的  $T_2$  谱见图 3。

干燥初期各部位的弛豫时间均较长,以大量自由水为主,即H质子与组织中大分子之间的相互作用

用力较小,随着干燥时间延长,首先表现为自由水明显降低,图像向左侧移动,弛豫时间都有所减少,水分的流动性逐渐减小,至干燥中期,剩余水分以不易流动水为主。干燥过程中,茎中自由水一部分表现出流动性减小,同时有一部分流动性仍较大,峰形呈现出 2 个顶点,而叶与侧枝中自由水的峰逐渐整体左移,即茎与叶、侧枝相比,自由水会有部分转化为结合力更强的不易流动水。

白花丹参的叶片、侧枝及茎在 55 ℃ 热风干燥过程中不同时间的  $T_2$  谱见图 4。温度升高,水分的散失明显加快,各部位的  $T_2$  谱图各吸收峰均向左迁移且信号幅值变小,丹参茎中自由水逐渐减少,在前 20 min 明显减少,不易流动水呈现先增加后减少的趋势,可能在干燥初期,高温导致丹参茎组织结构变化,部分水分的结合力增加,侧枝中  $T_2$  图像逐渐向左侧移动,弛豫时间逐渐减少,该温度条件下丹参叶迅速失水,40 min 时自由水基本完全散失。

35 ℃ 热风干燥条件下丹参叶在干燥初期(1 h

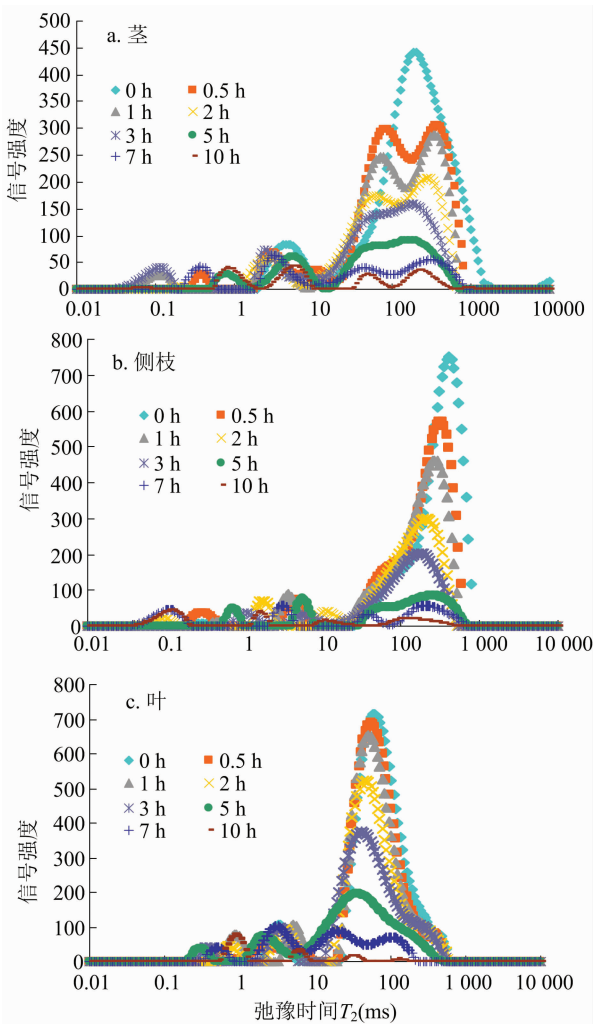


图3 35 ℃ 热风干燥过程中丹参不同部位的  $T_2$  谱图

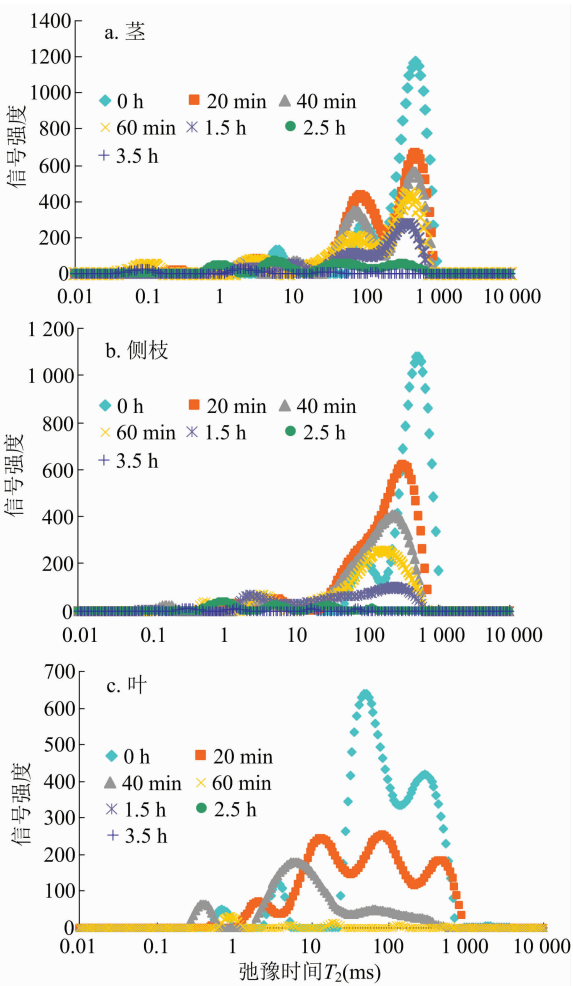


图4 55 ℃ 热风干燥过程中丹参不同部位的  $T_2$  谱图

内)水分散失较慢,丹参叶片表面有密度不一的气孔分布<sup>[24]</sup>,新鲜叶片在离开植株后,气孔全部呈现关闭状态,以降低自身的水分散失<sup>[25]</sup>,推测可能在 35 ℃ 的低温环境下,叶片表面气孔大部分仍保持关闭,同时组织结构尚未受到破坏,导致仅有少量自由水散失, $T_2$  谱图变化较小。55 ℃ 的高温环境下,干燥 20 min 时自由水、不易流动水均明显减少,从外观看(图 5)至 40 min 时干燥得到的叶片出现明显的枯萎状,体积缩小,推测该条件下叶片表面气孔张开,迅速的高温逆境导致叶片组织结构被破坏,持水力下降,因而不同状态的水均迅速散失。同时 55 ℃ 热风干燥下,叶片迅速发生颜色变化,这可能是由于叶片局部温度过高导致叶绿素分解<sup>[26]</sup>,这也说明了该条件下叶片细胞结构被破坏,有报道显示脱水是丹参叶干燥过程中各成分含量增加的直接因素,部分酚酸和黄酮类成分的含量是常温阴干高于 50 ℃ 烘干,低温干燥是更好的丹参叶干燥方式<sup>[27]</sup>。因此为更好地开发利用丹参地上部分,侧枝及茎可采用较高的热风温度进行干燥加工,叶片等部位适宜采用较低的热风温度。

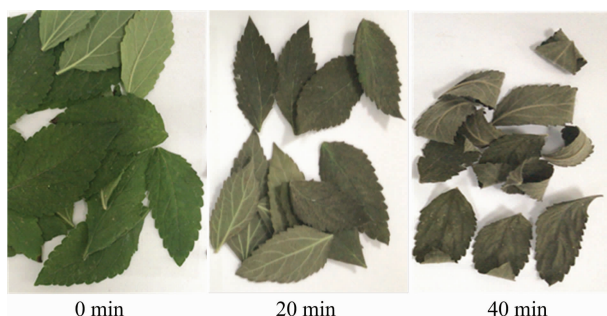


图5 55 ℃ 热风干燥过程中的丹参叶

### 3 结论与讨论

丹参地上部位的水分状态差异明显,花萼、花蕾和叶片的水分自由度较低,花(除花萼)、侧枝和主茎的水分自由度较高。丹参地上部位中都有 3 种状态的水,即结合水、不易流动水、自由水,叶、花萼中以不易流动水为主,茎、侧枝、花(除花萼)、花蕾中以自由水为主。在热风干燥过程中,随干燥时间的延长和温度的升高,丹参茎、侧枝及叶中 3 种状态的水均呈现逐渐减少的趋势,干燥前期均为自由水先散失,茎中自由水会有部分转化为结合力更强的不易流动水,低温干燥初期叶与茎、侧枝相比,自由水的散失更慢。低场核磁共振技术可以很好地进行丹参不同部位中水分状态变化规律的分析研究,

为更好地开发利用丹参地上部分,侧枝及茎可采用较高的热风温度进行干燥加工,叶片等部位适宜采用较低的热风温度。

### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 2015 版. 北京:中国医药科技出版社,2015.
- [2] 顾俊菲,宿树兰,彭珂毓,等. 丹参地上部分资源价值发现与开发利用策略[J]. 中国现代中药,2017,19(12):1659-1664.
- [3] 张玉,刘谦,蒲高斌,等. 丹参非药用部位药用价值及开发利用研究进展[J]. 中国现代中药,2019,21(2):266-270.
- [4] 段金彪,宿树兰,郭盛,等. 中药废弃物的转化增效资源化模式及其研究与实践[J]. 中国中药杂志,2013,38(23):3991-3996.
- [5] 曾慧婷,宿树兰,沙秀秀,等. 丹参茎叶提取物抗氧化活性物质基础与量效关系研究[J]. 中草药,2017,48(22):4688-4694.
- [6] Qian L, Zong S L, Jun R W, et al. Essential oil composition of *Salvia miltiorrhiza* flower[J]. Food Chemistry, 2009, 113(2):592-594.
- [7] Zeng H, Su S, Xiang X, et al. Comparative analysis of the major chemical constituents in *Salvia miltiorrhiza* roots, stems, leaves and flowers during different growth periods by UPLC-TQ-MS/MS and HPLC-ELSD methods[J]. Molecules, 2017, 22(5):771.
- [8] Gu J F, Su S L, Guo J M, et al. The aerial parts of *Salvia miltiorrhiza* Bge. strengthen intestinal barrier and modulate gut microbiota imbalance in streptozocin-induced diabetic mice[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 36:362-374.
- [9] Cai H D, Su S L, Li Y H, et al. Protective effects of *Salvia miltiorrhiza* on adenine-induced chronic renal failure by regulating the metabolic profiling and modulating the NADPH oxidase/ROS/ERK and TGF- $\beta$ /Smad signaling pathways[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2018, 212:153-165.
- [10] Zhang Y, Li X, Wang Z Z. Antioxidant activities of leaf extract of *Salvia miltiorrhiza* Bunge. and related phenolic constituents[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(10):2656-2662.
- [11] 俞辰亚代,于金高,顾俊菲,等. 丹参茎叶提取物对高糖诱导的果蝇代谢紊乱模型的糖脂代谢的调节作用及其机制[J]. 中国中药杂志,2018,43(7):1484-1491.
- [12] 薛杨,秦宁宁,宿馨心,等. 不同加工方法下丹参花茶的质量评价[J]. 中国食物与营养,2020,26(1):37-40.
- [13] Cochard H, Badel E, Herbet S, et al. Methods for measuring plant vulnerability to cavitation: a critical review[J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 64(15):4779-4791.
- [14] Bucci S J, Scholz F G, Campanello P I, et al. Hydraulic differences along the water transport system of South American *Nothofagus* species: do leaves protect the stem functionality?[J]. Tree Physiology, 2012, 32(7):880-893.
- [15] 曾慧婷,宿树兰,朱悦,等. 丹参酚酸类成分生物合成途径及调控机制研究进展[J]. 中草药,2016,47(18):3324-3331.
- [16] Geng S T, Wang H H, Wang X L, et al. A non-invasive NMR and MRI method to analyze the rehydration of dried sea cucumber[J].



李玉秀,王 焱,李 鑫,等. 昆虫标本渗透成膜型防护材料的筛选[J]. 江苏农业科学,2021,49(14):170-174.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.14.032

# 昆虫标本渗透成膜型防护材料的筛选

李玉秀<sup>1</sup>,王 焱<sup>1</sup>,李 鑫<sup>2</sup>,林 莹<sup>1</sup>

[1. 上海市林业总站,上海 200072; 2. 巴斯夫(中国)有限公司,上海 200137]

**摘要:**针对昆虫标本保存期间受潮问题,以鳞翅目、鞘翅目昆虫成虫为试验对象,开展以有机硅类、氟硅类为原料制成的不同成分配比的渗透成膜型防护材料筛选试验,并以水滴接触角和标本外观变化为指标进行评价。结果表明,氟硅类 F1 配方对桑天牛标本、鳞翅目标本产生的防潮效果最好。其次,氟硅类 F3 配方对锹甲标本的防潮效果最好。氟硅类材料 F1、F2、F3 除了对桑天牛样本(浸泡)时鞘翅部位颜色有轻微加深,对其他样本无明显影响。与有机硅类材料相比,氟硅类材料应用在昆虫标本上疏水性较好,对标本的水滴接触角改善效果明显优于有机硅类,且对标本外观的影响程度也更小,起到了预计的防潮效果。研究结果可为林业有害生物标本的制作与保存提供科学参考。

**关键词:**防护材料;昆虫标本;有机硅;氟硅;水滴接触角

**中图分类号:** S763.30 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)14-0170-05

我国传统的昆虫标本制作与保存多采用定性干燥,并加上干燥剂、防霉剂等干燥环境保存,对环境要求严格,需配套控温控湿设备,一旦长期暴露空气中,极易受潮、虫蛀或破损,保护性低。也有浸渍、玻片标本、有机玻璃包埋、塑封、环氧树脂等保存方法<sup>[1-4]</sup>,但以上方法容易有携带不便、标本

体积大、不能直接触摸、制作方法复杂、制作工艺容易导致标本变色等问题,从而限制这些技术的进一步推广。在林业植物保护行业中,标本长期保存的环境指标在实际基层工作中成本过高、很难达到,因此让标本在多种常规复杂环境下可以较长时间保持原貌是基层迫切需求的。

建筑材料中的石材作为一种矿产资源,在形成过程中会留有各种孔隙和裂纹,且通常处于复杂的户外环境中,使用不当或外界水汽、雨水、油污等接触均会使石材受潮、病变以及内部结构被破坏,严重影响石材的使用寿命<sup>[5]</sup>。为解决这些问题可运用渗透成膜

收稿日期:2020-11-24

基金项目:上海市绿化和市容管理局科技攻关项目(编号:G191209)。

作者简介:李玉秀(1981—),女,上海人,硕士,高级农艺师,主要从事森林保护工作。E-mail:shanghnyxb@163.com。

Analytical Methods,2015,7(6):2413-2419.

[17] Suchanek M, Kordulska M, Olejniczak Z, et al. Application of low-field MRI for quality assessment of 'Conference' pears stored under controlled atmosphere conditions [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 124: 100-106.

[18] Defernez M, Wren E, Watson A D, et al. Low-field <sup>1</sup>H NMR spectroscopy for distinguishing between arabica and robusta ground roast coffees [J]. Food Chemistry, 2017, 216: 106-113.

[19] Xiao Q, Lim L T, Zhou Y J, et al. Drying process of pullulan edible films forming solutions studied by low-field NMR [J]. Food Chemistry, 2017, 230: 611-617.

[20] Guo Q Y, Ren S Y, Wang J Y, et al. Low field nuclear magnetic sensing technology based on hydrogel-coated superparamagnetic particles [J]. Analytica Chimica Acta, 2020, 1094: 151-159.

[21] 杭 亮,王俊儒,杨东风,等. 紫花丹参和白花丹参不同部位有效成分的分布特征 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(12): 217-222.

[22] 杜利平,崔 莉,赵恒强,等. 基于低场核磁技术的不同花期金银花红外干燥过程中的水分变化 [J]. 现代食品科技, 2017, 33(9): 189-194, 201.

[23] Faal S, Tavakoli T, Ghobadian B. Mathematical modelling of thin layer hot air drying of apricot with combined heat and power dryer [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(5): 2950-2957.

[24] 罗明华,胡进耀,吴庆贵,等. 干旱胁迫对丹参叶片气体交换和叶绿素荧光参数的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 619-623.

[25] 季蕾蕾,木泰华,孙红男. 不同干燥方式对甘薯叶片水分迁移、微观结构、色泽及复水性能影响的比较 [J]. 食品科学, 2020, 41(11): 90-96.

[26] 魏 珑. 果蔬叶绿素降解机理研究进展 [J]. 食品安全导刊, 2016(9): 49-50.

[27] 周 涛,罗春梅,张松林,等. 丹参叶干燥过程中化学成分的动态变化 [J]. 中成药, 2019, 41(12): 2946-2952.