

王毓宁,刘红锦,李鹏霞,等. 干制金针菜复水前后水分状态的变化[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):343-346.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.111

# 干制金针菜复水前后水分状态的变化

王毓宁,刘红锦,李鹏霞,胡花丽,李志强

(江苏省农业科学院农产品加工研究所,江苏南京 210014)

**摘要:**采用低场核磁(NMR)及其成像技术(MRI)研究热风干燥处理后的金针菜干制品在复水前后水分分布与状态变化,测量金针菜干制品复水前后的弛豫时间  $T_2$  值和质子密度像,根据弛豫时间及其对应的信号分量,观察金针菜干制品复水前后自由水、不易流动水和结合水分布的变化情况。结果表明,金针菜干制品复水后,自由水含量增加,不易流动水和结合水含量也有所增加,但结合水变化不明显。低场核磁技术为金针菜复水加工过程中物性参数的研究提供了一种有效方法。

**关键词:**金针菜;干制品;低场核磁技术;复水;水分

**中图分类号:** TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0343-05

金针菜别称黄花菜,与冬笋、香菇、木耳齐名,被誉为“山珍海味”中的山珍之一,具有极高的营养价值,历来是我国人们普遍喜爱的食品。中国医学科学院卫生研究所曾对其营养成分作出分析,每 100 g 含蛋白质 14.1 g、各种维生素 8 g、脂肪 0.5 g、粗纤维 6.7 g,此外还富含人体必需的糖、核黄素、胡萝卜素、尼克酸、铁、磷等物质。国内外研究结果表明,金针菜具有显著降低动物血清胆固醇的作用,是预防中老年人疾病、延缓机体和智力衰老的佳蔬<sup>[1-2]</sup>。然而,由于金针菜开花正值 6—8 月高温季节,采摘后的呼吸强度非常旺盛,在常温下一般 3~4 d 开始腐烂,不宜贮藏<sup>[3]</sup>,因此目前市场上金针菜制品以干金针菜为主,约有 90% 以上的鲜金针菜被加工成干制品,所以对金针菜干燥工艺以及如何提高干制品复水后的特性研究尤为必要。在复水过程中,随着水分向金针菜内部渗透,水分的分布和状态变化对金针菜物化特性的改变有重要作用。水分按与组织中底物的结合程度可分为结合水、不易流动水、自由水 3 种类型<sup>[4]</sup>,结合水主要是依靠氢键与蛋白质的极性基(羧基和氨基)相结合形成的水分子层,不易流动

水可能表示存在于肌纤维、肌原纤维及膜之间的不易流动的水分子,自由水表示存在于细胞外的间隙中能自由流动的水<sup>[5]</sup>。低场核磁及成像技术作为近年来兴起的研究方法,在直接测量水含量,间接测量冻结水比例、水分活度、玻璃化转变等很多重要物理指标和不同成分分布成像研究中显示出独特的优越性<sup>[6]</sup>。目前,核磁共振技术应用广泛,它被用于研究大米复水过程水分状态的变化,揭示水分进入糯米中心所需复水时间及不同品种大米复水过程中水分状态呈现明显差异等<sup>[7]</sup>。李然等应用低场核磁研究绿豆复水过程,了解绿豆吸水这一动态过程,观测到绿豆内部吸水状况<sup>[8]</sup>;张绪坤等利用低场核磁共振的横向弛豫时间分析胡萝卜切片在干燥过程中不同形态水分的变化<sup>[9]</sup>。目前,人们对金针菜干制品的大量研究主要集中于其干燥工艺和复水效果的分析方面,而关于水分分布和状态变化对金针菜物化特性影响的研究很少。本试验采用低场核磁(NMR)及其成像技术(MRI)研究热风干燥处理后的金针菜干制品在复水前后水分状态变化及持水性能,为金针菜干燥加工中质构参数的变化提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

新鲜金针菜为大乌嘴品种,采自江苏宿迁丁庄金针菜种植基地。

### 1.2 仪器与设备

BEL-M124A 分析天平,巴拉特电子有限公司;DH6-907385 型电热恒温鼓风干燥箱,上海新苗医疗器械制造有限

收稿日期:2014-10-17

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(14)4094]。

作者简介:王毓宁(1979—),男,硕士,副研究员,主要从事果蔬保鲜与加工、植物功能成分提取技术研究。Tel:(025)84392409;  
E-mail:wyn705@163.com。

通信作者:李鹏霞,博士,副研究员,主要从事果蔬保鲜与加工研究。  
Tel:(025)84392409;E-mail:jnsjny203@163.com。

[13]李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:165-168.

[14]林 烽. 橄榄叶总黄酮代谢和提取工艺优化及其抗氧化作用[D]. 福州:福建农林大学,2008.

[15]李春兰. 葡萄果实中莽草酸途径与多酚积累的关系[J]. 现代农业科技,2010(12):33-36,38.

[16]林玉芳. 福建橄榄[*Canarium album* (Lour.) Raeusch.] 若干功能成分和品质相关指标的研究[D]. 福州:福建农林大学,2012.

[17]林玉芳,杜正花,陈清西. 橄榄果实品质评价因子的筛选及指标

确定[J]. 热带作物学报,2014,35(4):805-810.

[18]Liang L, Zhang B, Yin X R, et al. Differential expression of the CBF gene family during postharvest cold storage and subsequent shelf-life of peach fruit[J]. Plant Molecular Biology Reporter, 2013, 31(6):1358-1367.

[19]王金丽,林 强,李建杰,等. 壳聚糖及 UV-C 处理对大枣贮藏品质的影响[J]. 食品科学,2010,31(22):462-466.

[20]韩晓旭. 短波紫外线调节柑橘采后品质的效应与机理研究[D]. 杭州:浙江大学,2012.

公司;MesoMR,上海纽迈电子科技有限公司,共振频率 23.311 MHz,磁体强度 0.55 T,线圈直径为 60 mm,磁体温度为 32 ℃。

1.3 试验方法

1.3.1 干制工艺 新鲜金针菜→挑选→烫漂(时间 2 min)→摆盘→热风干燥(干燥温度 70 ℃)→包装→金针菜干制品。

1.3.2 低场核磁及其成像方法<sup>[10]</sup> 采用横向弛豫时间(CPMG)序列测量金针菜的横向弛豫特性,研究金针菜复水前后的水分迁移及水分流动性,采用自旋回波(SE)序列成像序列试验来获得金针菜的质子密度像,直观地观察金针菜复水后的水分分布状况,试验参数 CPMG 为:脉冲宽度 P90 = 19 μs,脉冲宽度 P180 = 33 μs,采样点数 TD = 349 490,接受宽度 SW = 100 KHz,有效信号起始点 RFD = 80 μs,重复采样等待时间 TR = 5 000 ms,模拟增益 RG1 = 20,数字增益 RG2 = 3,重复次数 NS = 32,回波时间 EchoTime = 200 μs,回波个数 EchoCount = 15 000;成像 SE 序列:选层厚度 4 mm,90°软脉冲幅度 RFA90 9.9%,180°软脉冲幅度 RFA180 18.1%,电子匀场参数的单位为 Hz,电子匀场控制参数(20,80,180),选层方向参数(0,0,1),相位编码方向参数(1,0,0),频率编码方向参数(0,1,0);质子密度像:TR = 1 000 ms,回波时间 TE = 11.5 ms,累加 4 次,图像尺寸为 256 × 192。

1.3.3 样品处理及测定 选择热风干燥处理后的金针菜样品如图 1 所示,测试其  $T_2$  值和质子密度像;然后在室温下水中浸泡 40 min(图 2),再次测量其  $T_2$  值和质子密度像,并称量记录下金针菜干制品复水前后的质量(表 1)。

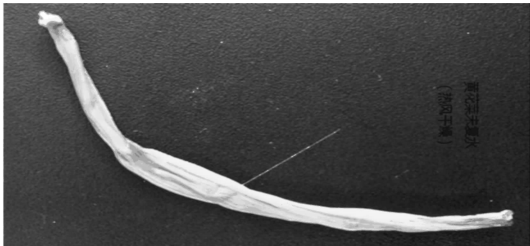


图1 干制金针菜复水前照片

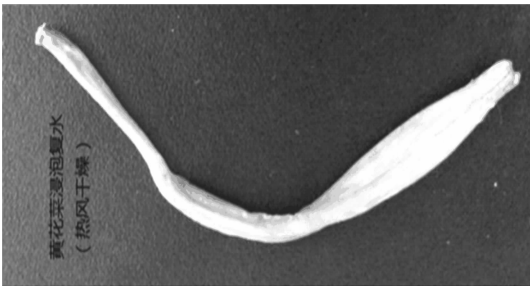


图2 干制金针菜复水后照片

表 1 干制金针菜复水前后的质量

测定时间	质量(g)
复水前	0.350 6
复水后	0.714 7

1.4 数据处理

试验数据利用 Contin 及 Matlab 进行计算处理。

2 结果与分析

2.1  $T_2$  波谱

使用迭代寻优的方法将采集到的  $T_2$  衰减曲线代入弛豫模型  $M(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-t/T_{2i}}$  中拟合并反演,从而得到样品的  $T_2$  弛豫信息,其中包括弛豫时间及其对应的弛豫信号分量<sup>[11]</sup>。如图 3 所示,横坐标是从  $10^{-2}$  ms 到  $10^4$  ms 对数(以 10 为底数)分布的 100 个横向弛豫时间分量  $T_2$ ,纵坐标为各弛豫时间对应的信号分量  $A_i$ ,已知信号量与其组分含量成正比关系,积分面积  $A$  即为样品的信号量。

$T_2$  弛豫时间反映样品内部氢质子所处的化学环境,与氢质子所受的束缚力及其自由度有关,而氢质子的束缚程度又与样品的内部结构有密不可分的关系。氢质子受束缚越大或自由度越小, $T_2$  弛豫时间越短,在  $T_2$  谱上峰位置较靠左;反之,则  $T_2$  弛豫时间越长,在  $T_2$  谱上峰位置较靠右。图 3、图 4 分别为干制金针菜复水前后的结合水、不易流动水与自由水在 NMR 横向弛豫时间的分布图,它们分别对应  $T_{21}$  (0.01 ~ 3 ms)、 $T_{22}$  (3 ~ 100 ms)、 $T_{23}$  (100 ~ 1 000 ms)。其中, $T_{21}$  表示与蛋白质分子表面极性基团紧密结合的结合水,其对应的峰积分面积为  $A_{21}$ ;  $T_{22}$  表示金针菜体细胞内与胶体相结合,不能自由运动的不易流动水,其对应的峰积分面积为  $A_{22}$ ;  $T_{23}$  表示存在于细胞毛细管中易流动的自由水,其对应的峰积分面积为  $A_{23}$ 。分析热风干燥处理后金针菜干制品复水前后的  $T_2$  波谱,可以发现,复水后比复水前多了 1 个峰,这是因为金针菜干制品在复水前含水量极低,纤维素弛豫太快,仪器检测不到纤维素的信号;而在复水后,金针菜干制品充分得到浸泡,组织膨胀,纤维素的弛豫时间变长,仪器可以探测到纤维素的信号,在  $T_2$  波谱上就能显现出来,即弛豫时间为 0.187 4 ms 的峰是金针菜中纤维素的信号峰(图 4)。

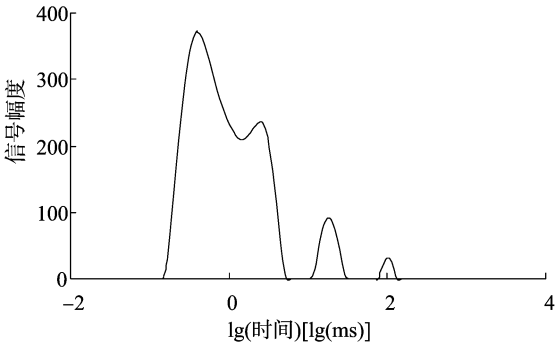


图3 干制金针菜复水前  $T_2$  谱

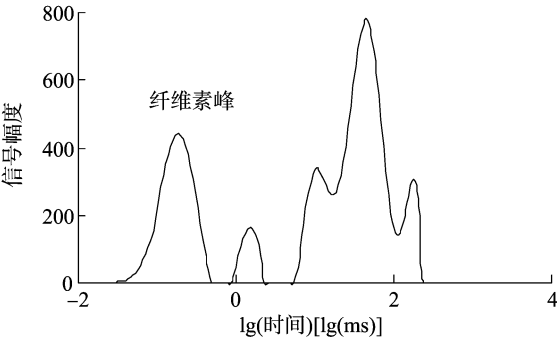


图4 干制金针菜复水后  $T_2$  谱

## 2.2 水分迁移

信号量  $A_i$  可以用来衡量水分含量。从图 5 可知,干制金针菜复水前结合水占 92.8%,是干制金针菜中的水分主要存在状态,而不易流动水和自由水仅占 7.2%,因为不易流动水和自由水是微生物生存容易利用的水分状态,所以在加工干燥金针菜时主要是除去不易流动水和自由水,使水分含量达到某一安全值,利于干制金针菜的贮存;干制金针菜在水中浸泡 40 min 后,外界的自由水不断进入金针菜内部,所以自由水、不易流动水含量增加,同时水分的进入会导致金针菜组织结构被破坏,结合水就会脱离蛋白质等大分子结构向外迁移,结合水含量则有所下降,此时样品中结合水、不易流动水、自由水分别变为 26.1%、64.2%、9.7%,水分主要以不易流动水状态存在,而不易流动水通常被认为是结构水,能够反映食品的持水性能<sup>[12]</sup>,所以可以根据干制金针菜复水后水分状态及含量的变化来探索优化金针菜的干燥工艺,即为金针菜干制加工中质构参数的变化提供理论依据。

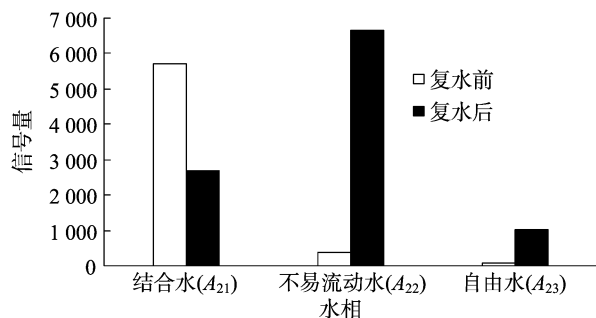


图5 干制金针菜复水前后各相态水信号量变化情况

## 2.3 水分流动性

通过  $T_2$  加权公式  $T_{21} = \sum \frac{A_{21i} \times T_{21i}}{A_{21i\text{总}}}$ 、 $T_{22} = \sum \frac{A_{22i} \times T_{22i}}{A_{22i\text{总}}}$ 、 $T_{23} = \sum \frac{A_{23i} \times T_{23i}}{A_{23i\text{总}}}$ , 分别求出金针菜干制品复水前后  $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 、 $T_{23}$  值, 结果如图 6 所示。由图 6 可以看出, 复水后自由水迅速增加, 不易流动水和结合水也有所增加, 而结合水变化不明显, 这正印证了在复水后, 外界游离水进入干制金针菜内部, 使原先紧密的结构胀大, 组织内各相态水的弛豫时间变化较

大, 水分流动性增强, 所以水分的弛豫时间整体右移, 即是  $T_2$  波谱右移, 结果如图 7 所示 (把纤维素信号置 0, 纤维素峰已屏蔽掉)。

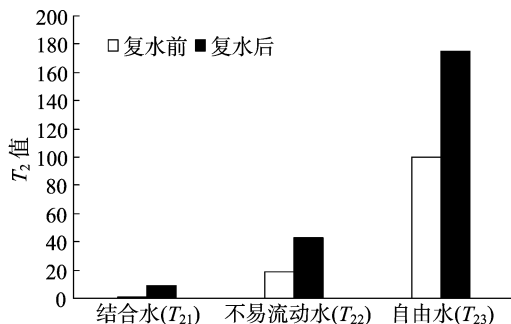


图6 干制金针菜复水前后各相态水流动性变化情况

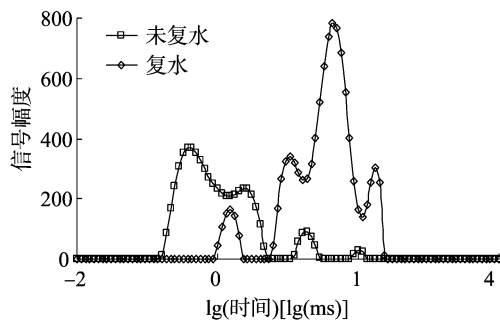


图7 干制金针菜复水前后  $T_2$  谱对比情况

## 2.4 MRI 成像

图 8 是金针菜复水前后质子密度像, 同时笔者选取了金针菜菜叶的一部分 (见图 9 - a 中方框区域), 用 Matlab 进行计算, 绘出复水速度曲线, 结果如图 9 - b 所示。由图 8 可见, 复水前由于干制金针菜含水较少, 仪器检测不到信号, 所以得不到成像; 而复水后, 样品中含水量增加, 表现出的核磁共振成像图变亮, 它能直观地反映金针菜中的水分分布, 且金针菜花尖部分复水效果好, 花梗部分复水均匀性较差。从图 9 - b 可以看出, 随着复水时间的延长, 样品水分含量先增加后降低。

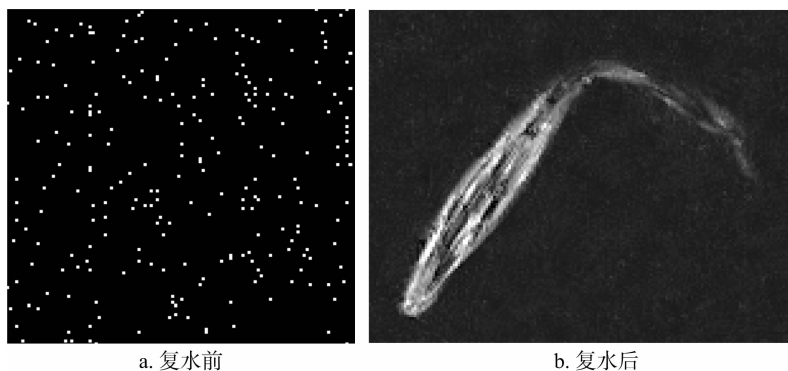
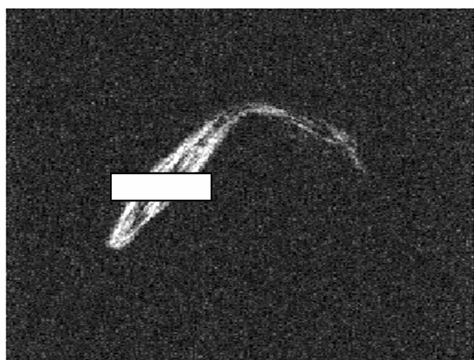


图8 干制金针菜复水前后质子密度像

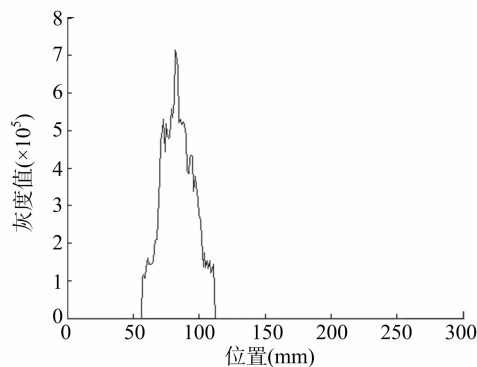
## 3 结论

通过对干制金针菜复水前后  $T_2$  弛豫谱的分析及 MRI 成

像, 研究金针菜干制品复水前后水分分布及内部结构变化的影响, 直观地观察金针菜内部的一个水分分布情况, 干制金针菜复水前内部水分主要存在自由水、不易流动水、结合水 3 种



a. 所选取的金针菜菜叶的部分



b. 复水速度曲线

图9 干制金针菜复水前后质子密度像

状态,复水后改变干制金针菜组织中水的结合状态和水分分布,不同状态的水分发生了复杂的物理变化,这些变化反映了金针菜干制品的复水性能,与成像观察结果一致,所以可以根据干制金针菜复水后水分状态及含量的变化探索优化金针菜的干燥工艺,即为金针菜干制加工中质构参数的变化提供理论依据。

限于试验的工作量,本研究仅对干制金针菜复水前后进行测定试验,本试验结果作为初步的探索,今后尚须对不同干燥工艺金针菜复水过程中水分传递及变化进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 王树元. 黄花菜的药膳兼用[J]. 中国烹调,1990(8):47.
- [2] 中国医学科学院药物研究所. 中药志[M]. 北京:人民卫生出版社,1979:556-562.
- [3] 邓放明,尹 华,李精华,等. 黄花菜应用研究现状与产业化开发对策[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2003,29(6):529-532.
- [4] Bertram H C, Dønstrup S, Karlsson A H, et al. Continuous distribution analysis of  $T_2$  relaxation in meat—an approach in the determination of water-holding capacity[J]. Meat Science, 2002, 60(3): 279-285.

(上接第 338 页)

个非常敏感的因素,在 4℃ 条件下更有利于花青素的保持。浓缩葡萄汁贮存过程中抗氧化能力的损失程度则相对较小,但在低温贮藏条件下的抑制率也高于室温贮藏。所以采取低温贮藏的方式以及较低温度的加热(不高于 60℃)是保持浓缩葡萄汁有益成分和抗氧化能力的较好方法。

#### 参考文献:

- [1] 仇农学. 现代果汁加工技术与设备[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 张瑞宇. 现代物流中果蔬保鲜包装技术及其研究进展[J]. 包装工程,2003,24(1):71-73,76.
- [3] Costa C, Lucera A, Conte A, et al. Effects of passive and active modi-

- [5] Bertram H C, Andersen H J, Karlsson A H. Comparative study of low-field NMR relaxation measurements and two traditional methods in the determination of water holding capacity of pork[J]. Meat Science, 2001, 57(2): 125-132.
- [6] Hills B P. Applications of low-field NMR to food science[R]. Annual Reports on NMR Spectroscopy, 2006, 58: 177-230.
- [7] 余瑞鑫,顾振宇,韩剑众. 大米浸泡过程水分状态变化的低场核磁共振研究[J]. 食品工业,2010(1):12-15.
- [8] 李 然,李振川,陈珊珊,等. 应用低场核磁共振研究绿豆浸泡过程[J]. 食品科学,2009,30(15):137-141.
- [9] 张绪坤,祝树森,黄俭花,等. 用低场核磁分析胡萝卜切片干燥过程的内部水分变化[J]. 农业工程学报,2012,28(22):282-287.
- [10] 王 娜,陈卫江,林向阳,等. 核磁共振及成像技术中的基本序列在食品中的应用[J]. 农产品加工·学刊,2006(6):11-14,22.
- [11] 徐建国,徐 刚,张绪坤,等. 利用核磁共振成像技术分析胡萝卜干燥过程中内部水分传递[J]. 农业工程学报,2013,29(12): 271-276.
- [12] 艾志录,白 洁,黄忠民,等. 基于低场 NMR 技术对速冻汤圆粉团持水性能的研究[J]. 中国食品学报,2014,14(1):178-183.

fied atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 102(2): 115-121.

- [4] 李 静,聂继云,李海飞,等. Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J]. 果树学报,2008,25(1):126-131.
- [5] 田树革,魏玉龙,刘宏炳. Folin-Ciocalteu 比色法测定石榴不同部位总多酚的含量[J]. 光谱实验室,2009,26(2):341-344.
- [6] 张孟琴,张丽娜,王朝阳,等. 三叶木通果皮总黄酮的提取和含量测定的研究[J]. 食品工业科技,2010,31(1):250-253.
- [7] 张 燕,谢玫珍,廖小军. 热和紫外辐照对红莓花色苷稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业,2005,31(3):37-40.
- [8] 冯建光,谷文英. 葡萄皮红色素的示差法测定[J]. 食品工业科技,2002,23(9):85-86.