

不同产地麦冬中 5-羟甲基糠醛含量的比较研究

吴 翠^{1,2}, 徐 靛^{1,2}, 马玉翠^{1,2}, 巢志茂^{1,2*}¹中国中医科学院中药研究所; ²国家中药材产业技术体系贮藏与包装岗位, 北京 100700

摘要:为探讨麦冬中 5-羟甲基糠醛(5-HMF)的含量及其与产地的相关性。实验在日光下观察色泽;烘干法测定水分;建立高效液相色谱法(HPLC)用于测定 5-HMF 的含量;色差仪测定粉末色泽;采用 Pearson 和 Spearman 相关系数评价相关性。结果表明,麦冬表面、断面、粉末呈现白色、黄白色或土黄色等较浅的色泽;各样品的水分含量在 5.64% 到 6.39% 的范围内;各样品中 5-HMF 的含量从最低的 0.874 1 $\mu\text{g/g}$ 到最高的 71.31 $\mu\text{g/g}$, 差异明显,但均低于 0.02%;产于湖南、湖北的麦冬中 5-HMF 的含量均较高,介于 18.14 ~ 71.31 $\mu\text{g/g}$;产于四川的麦冬,5-HMF 的含量较低,均低于 10 $\mu\text{g/g}$;水分含量与粉末的亮度具有相关性。此外,四川三台县生产加工的麦冬中 5-HMF 的含量显著低于湖南和湖北产的麦冬样品。四川三台县产麦冬中 5-HMF 的含量低于其他产区,推测是三台麦冬道地性的特性表现。

关键词:麦冬;5-羟甲基糠醛;色泽;高效液相色谱法;道地性

中图分类号:R282

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2019)9-1567-06

DOI:10.16333/j.1001-6880.2019.9.012

Comparison of 5-hydroxymethylfurfural content in *Ophiopogonis Radix* from different habitats

WU Cui^{1,2}, XU Liang^{1,2}, MA Yu-cui^{1,2}, CHAO Zhi-mao^{1,2*}¹Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences;²Storage & Packaging Position, Chinese Materia Medica, China Agriculture Research System, Beijing 100700, China

Abstract:To explore the correlation between the 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) content and genuineness of *Ophiopogonis Radix* (OR). The color was observed under sunlight. The water content was determined by an oven-drying method. An HPLC method was established and used to determine the 5-HMF content. The color of samples powder was determined with a colorimeter. The correlation coefficients of Pearson and Spearman were used to analyze the correlation. The color of surface, section, and powder of OR samples were white, yellowish-white, soil-yellow. The water content was ranged from 5.64% to 6.39%. The 5-HMF content was ranged from the lowest 0.874 1 $\mu\text{g/g}$ to the highest 71.31 $\mu\text{g/g}$ and the difference was obvious, but all of them were lower than 0.02%. The 5-HMF content of OR from Hunan and Hubei province was high and ranged from 18.14 to 71.31 $\mu\text{g/g}$. The 5-HMF content of OR from Sichuan province was all lower than 10 $\mu\text{g/g}$. The water content was correlated with the luminance of samples powder. The 5-HMF content in OR produced and processed in Santai County of Sichuan Province was obviously lower than that in Hunan and Hubei Provinces. The 5-HMF content in OR produced in Santai County of Sichuan Province was lower than that in other producing areas, which was presumed to be the characteristic expression of the genuineness of OR.

Key words: *Ophiopogonis Radix*; 5-hydroxymethylfurfural; color; HPLC method; genuineness

麦冬(*Ophiopogonis Radix*, OR)是百合科植物麦冬 *Ophiopogon japonicus* (L. f) Ker-Gawl. 的干燥块根,具有养阴生津、润肺清心的功效,用于治疗肺燥干

咳、内热消渴、心烦失眠,肠燥便秘等症^[1],具有镇咳平喘^[2]、抗急性酒精性肝损伤^[3]等多种药理活性,含有多糖类^[4]、黄酮类^[5]等多种类型的化学成分。用于气阴两亏、心悸气短、脉微自汗的生脉饮,是孙思邈《备急千金要方》中的经典方剂,由人参、麦冬、五味子按 1:2:1 的比例组成,这种比例凸显了麦冬的重要性。在研究生脉饮的过程中,5-羟甲基

收稿日期:2019-02-25 接受日期:2019-06-04

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21)

* 通信作者 Tel:86-013522705161; E-mail:chaozhimao@163.com

糠醛(5-HMF)的含量被认为是一个重要的指标性成分^[6]。吴鞠通《温病条辨》中的增液汤,由玄参、麦冬、细生地组成,主要用于治疗阳明温病、阴亏便秘,5-HMF的含量也被认为是一个重要的指标性成分^[7]。5-HMF是由于葡萄糖、果糖等单糖发生了Maillard反应生成的一种醛类小分子化合物^[8],对H₂O₂引起的人体肝细胞损伤具有保护作用^[9]、通过降低心肌缺血小鼠心肌组织中丙二醛的含量而发挥抗组织缺血的活性^[10];但是,对人眼部、上呼吸道、皮肤和黏膜具有刺激性^[11]、可造成动物横纹肌麻痹和内脏损害^[12]等毒副作用。龙眼肉在贮藏过程中逐渐变质导致产生了更多的5-HMF,根据其变色现象提出了不得高于0.02%的限量指标^[13];牛膝在贮藏过程中酸败引起5-HMF含量的升高,提出了贮藏期不得超过2年的建议^[14],因此,较低的5-HMF的含量可以作为中药材质量评价的重要指标。对于麦冬的质量来说,与5-HMF含量具有怎样的相关性,尚未见文献的报道。

麦冬的主产地目前主要是四川、湖北、湖南和浙江,麦冬皂苷D、麦冬甲基黄酮醇A、短葶山麦冬皂苷C等化学成分的含量在各产地存在着极显著的差异^[15,16],铁、锰、锶等13种金属元素也存在一定的差异^[17],但是尚未见5-HMF含量与产地之间的相关性报道。

本文从不同的产地和不同的市场收集了17份麦冬样品,观察了外观色泽,测定了5-HMF的含量,进行了相关性分析,为麦冬的道地性评价指出了依据。

1 仪器与材料

1.1 仪器

Shimadzu LC-20AT型高效液相色谱仪(日本岛津公司),配SIL-20A型自动进样器, DGU-20A₅型自动脱气机, SPD-M20A型二极管阵列检测器, LC-20AT型泵, CTD-10ASvp柱温箱, LC-solution色谱工作站; NH310型三恩驰便携式色差仪(三恩驰科技有限公司); Ohaus CP224C型电子天平[平奥豪斯(上海)仪器有限公司]; XS105 Dual Range型电子分析天平(Mettler Toledo仪器系统有限公司); DFT-50A型手提式高速粉碎机(温岭市林大机械有限公司); KQ-100E超声波清洗器(100 W, 40 kHz, 昆山市超声仪器有限公司)。

1.2 材料

5-HMF对照品(纯度≥99.09%,美国Sigma-Aldrich公司);甲醇、乙腈为色谱纯,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;水为娃哈哈纯净水,其他试剂均为分析纯。麦冬样品购自产地、药材市场及药店。经中国中医科学院巢志茂研究员鉴定为百合科植物麦冬 *Ophiopogon japonicus* (L. f) Ker-Gawl. 的干燥块根,详见表1。

表1 麦冬样品信息、色泽、水分和5-HMF的含量

Table 1 Samples information, color, and water and 5-HMF contents of *Ophiopogonis Radix*

编号 No.	产地 Habitat	购买地 Purchasing area	表面/断面色泽 Surface/Section color	粉末色泽 Powder color	水分 Water (%)	含量 Content (μg/g)
1	四川 Sichuan	四川三台县代为本农业科技有限公司 Daidaiweiben Agricultural Technology Co., Ltd., Santai, Sichuan	淡黄/白色 Pale yellow/White	土黄 Soil-yellow	5.64	0.874 1
2	未知 Unknown	陕西榆林广济堂 Guangjitang, Yulin, Shanxi	淡黄/白色 Pale yellow/White	土黄 Soil-yellow	5.95	0.909 5
3	四川 Sichuan	四川绵阳市金麦源生物科技有限公司 Jinmai yuan Biotechnology Co., Ltd., Mianyang, Sichuan	淡黄/白色 Pale yellow/White	黄白 Yellowish-white	6.39	1.071
4	未知 Unknown	浙江金华国控大药房连锁有限公司 State-controlled Pharmacy Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang	淡黄/白色 Pale yellow/White	黄白 Yellowish-white	5.80	2.144
5	四川 Sichuan	四川三台县本源麦冬专业合作社 Origin OR Professional Cooperative, Santai, Sichuan	灰黄/黄白 Greyish-yellow/ Yellowish-white	黄白 Yellowish-white	6.19	2.195
6	未知 Unknown	北京天罡普仁大药房 Tiangangpuren Pharmacy, Beijing	淡黄/白色 Pale yellow/White	黄白 Yellowish-white	6.12	2.257
7	四川 Sichuan	四川三台县代为本农业科技有限公司 Daidaiweiben Agricultural Technology Co., Ltd., Santai, Sichuan	灰黄/黄白 Greyish-yellow/ Yellowish-white	黄白 Yellowish-white	6.08	2.626
8	未知 Unknown	河北祁一堂药业有限公司(优质麦冬) [#] Qiyitang, Anguo, Hebei (good) [#]	灰黄/黄白 Greyish-yellow/Yellowish-white	土黄 Soil-yellow	6.04	2.768
9	四川 Sichuan	河北安国药材市 Anguo Medicinal Material Market, Hebei	淡黄/白色 Pale yellow/White	土黄 Soil-yellow	5.78	2.882

续表 1 (Continued Tab. 1)

编号 No.	产地 Habitat	购买地 Purchasing area	表面/断面色泽 Surface/Section color	粉末色泽 Powder color	水分 Water (%)	含量 Content ($\mu\text{g/g}$)
10	四川 Sichuan	北京同仁堂 Beijing Tongrentang	淡黄/白色 Pale yellow/White	土黄 Soil-yellow	5.86	3.999
11	未知 Unknown	河北祁一堂药业有限公司(走油麦冬) [#] Qiyitang, Anguo, Hebei (oil-spilling) [#]	灰黄/黄白 Greyish-yellow/ Yellowish-white	黄白 Yellowish-white	5.93	4.571
12	四川 Sichuan	河北安国药材市场 Anguo Medicinal Material Market, Hebei	灰黄/黄白 Greyish-yellow/ Yellowish-white	土黄 Soil-yellow	5.64	6.310
13	湖南 Hunan	河北安国药材市场 Anguo Medicinal Material Market, Hebei	灰黄/黄白 Greyish-yellow/ yellowish-white	黄白 Yellowish-white	5.88	18.14
14	湖北 Hubei	武汉德仁堂光明药店 Derentang, Wuhan, Hubei	淡黄/白色 Pale yellow/White	土黄 Soil-yellow	6.18	19.88
15	未知 Unknown	安国药材市场 Anguo Medicinal Material Market, Hebei	淡黄/白色 Pale yellow/White	白色 White	5.89	27.29
16	湖北 Hubei	湖南衡南吉泰大药房 Jitai, Hengnan, Hunan	灰黄/黄白 Greyish-yellow/ Yellowish-white	黄白 Yellowish-white	5.89	33.77
17	未知 Unknown	青海人和天地医药超市 Tiandi Pharmaceutical Supermarket, Renhe, Qinghai	淡黄/白色 Pale yellow/White	白色 White	6.24	71.31

注:[#]该公司在进行分装时,将走油的麦冬剔除时获得的走油麦冬和优质麦冬。

Note: Oil-spilling and high-quality OR obtained from sub-loading of the company.

2 方法与结果

2.1 外观观察

样品在日光下,通过人眼观察表面的色泽。将样品折断后,观察断面的色泽。将样品粉碎,过四号筛,取适量样品粉末置于白纸上,在日光下观察色泽,记录粉末的色泽结果见表 1。结果显示,这些麦冬样品的表面均为淡黄或灰黄色,断面均为白色或黄白色,粉末均为白色、黄白色或土黄色。气微香,味甘、微苦。

2.2 水分测定

取“2.1”项下粉末约 2.0 g,精密称定,按 2015 版《中国药典》通则 0832 项下烘干法测定水分,结果见表 1。结果显示,各样品的水分含量在 5.64% 到 6.39% 的狭窄范围内,均符合中国药典“不得过 18%”的规定。

2.3 5-HMF 含量测定

2.3.1 色谱条件

Dikma Diamonsil C₁₈ 色谱柱(4.6 mm × 250 mm, 5 μm),流动相为甲醇-水(5:95, v/v),检测波长为 284 nm,流速为 1.0 mL/min,柱温为 35 $^{\circ}\text{C}$,进样量为 10 μL 。

2.3.2 对照品溶液制备

精密称取 5-HMF 对照品 29.14 mg,置于 10 mL 棕色量瓶中,加 80% 甲醇至刻度,制成浓度为 2.914

mg/mL 的对照品溶液。

2.3.3 供试品溶液制备

取“2.1”项下样品粉末 1.0 g,精密称定,置于 50 mL 具塞锥形瓶中,精密加入 80% 甲醇 25 mL,超声 45 min,取出放至室温,用 80% 甲醇补重,滤过,续滤液过 0.22 μm 微孔滤膜,取续滤液即得。对照品与供试品色谱图见图 1。

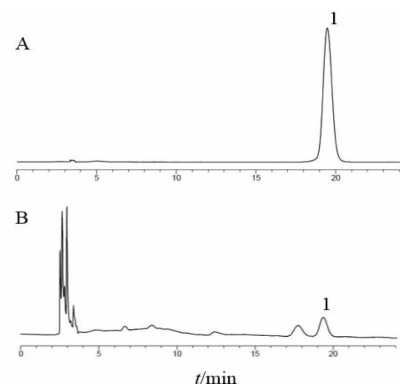


图 1 对照品(A)及供试品(B)的高效液相色谱图

Fig. 1 HPLC Chromatograms of 5-HMF and Ophiopogonis Radix

注:1,5-HMF。Note:1,5-HMF.

2.3.4 方法学考察

2.3.4.1 线性关系考察

将对照品溶液,以 80% 甲醇稀释,配制成浓度

为 0.029 14、0.145 7、0.291 4、1.457、2.914、14.57 $\mu\text{g/mL}$ 的系列对照品溶液,分别进样 10 μL ,按“2.3.1”项下的色谱条件测定 5-HMF 峰面积,以峰面积(mAU)为纵坐标,进样量(μg)为横坐标,计算线性方程为 $Y=6\ 612\ 330X-109$ ($r=1.000\ 0$),进样量在 0.000 291 4~0.145 7 μg 范围内与峰面积线性关系良好。

2.3.4.2 精密度试验

精密吸取 5-HMF 对照品溶液(29.14 $\mu\text{g/mL}$),连续进样 6 次,每次 10 μL ,测定 5-HMF 峰面积,计算精密度的 RSD 为 0.29%,说明仪器的精密度良好。

2.3.4.3 稳定性试验

精密吸取供试品溶液(10 号样品),室温放置,分别在 0、2、4、8、12、24 小时分别进样,每次进样 10 μL ,测定 5-HMF 峰面积,计算溶液稳定性的 RSD 为 2.45%,说明溶液的稳定性良好。

2.3.4.4 重复性试验

取同一供试品(10 号样品)粉末 6 份,每份约 1.0 g,精密称定,按照“2.3.3”项下方法制备供试品溶液,按“2.3.1”色谱条件进行测定,测得 5-HMF 的平均含量为 3.999 $\mu\text{g/g}$,RSD 为 1.54%,说明试验的重复性可靠。

2.3.4.5 加样回收率试验

取同一样品粉末(10 号样品)6 份,每份约 1.0 g,精密称定,分别精密加入 5-HMF 标准品溶液(2.914 $\mu\text{g/mL}$)1.0 mL,按“2.3.3”项下方法制备供试品溶液,按“2.3.1”项下色谱条件测定,计算平均加样回收率为 97.64%,RSD 为 2.27%,结果见表 2。

2.3.5 样品含量测定

按“2.3.3”项下方法制备供试品溶液,按“2.3.1”项下色谱条件测定,计算干品中含量,结果见表 1。由表 1 可知,含量最低的是 1 号样品,仅为 0.874 1 $\mu\text{g/g}$;含量最高的是 17 号样品,为 71.31 $\mu\text{g/g}$,最高值是最低值的 81.6 倍。

表 2 麦冬中 5-HMF 的加样回收率结果

Table 2 Recovery results of 5-HMF in Ophiopogonis Radix

取样量 Sample (g)	样品中含量 Sample content (μg)	加入量 Added (μg)	测得量 Measured (μg)	回收率 Recovery (%)	平均回收率 Average (%)	RSD (%)
1.001 5	4.005	2.914	6.894	99.14		
1.001 6	4.005	2.914	6.813	96.38		
1.002 4	4.008	2.914	6.938	100.53	97.64	2.27
1.000 8	4.002	2.914	6.780	95.33		
1.001 5	4.005	2.914	6.892	99.07		
1.000 5	4.000	2.914	6.780	95.39		

2.4 色泽测定

以国际照明委员会(CIE)认可的 D65 光(相当于自然日光,6 504 K)为测定光源,进行黑白校正,测定白色 A4 打印纸的色度值 L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 并作为参照,取“2.1”项下的样品粉末约 3.0 g,置于粉末测

试盒(光距长 1.0 cm)中,压实,测定样品的色度值为 L^* 、 a^* 、 b^* ,按如下公式计算各样品的总色差值(ΔE^*):

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

结果见表 3。

表 3 麦冬样品的色泽测定结果

Table 3 Colors determination of Ophiopogonis Radix

编号 No.	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
1	63.17	4.72	13.71	32.54
2	73.15	8.55	23.50	16.44
3	84.12	3.05	12.06	16.75
4	83.51	3.36	12.08	18.26
5	82.65	3.13	13.45	23.09
6	78.01	5.21	16.07	31.50

续表 3 (Continued Tab. 3)

编号 No.	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
7	73.93	8.14	22.85	26.30
8	72.87	5.86	16.13	35.91
9	69.75	8.48	25.45	23.09
10	78.87	4.13	16.85	16.72
11	84.49	2.77	12.55	37.95
12	61.90	10.31	20.41	31.85
13	77.33	3.77	15.77	22.90
14	82.48	2.33	11.04	16.05
15	78.82	4.86	18.34	24.56
16	83.72	2.50	11.96	16.39
17	74.33	5.80	20.70	28.97

2.5 相关性分析

对各变量进行正态性检验, L^* 、 a^* 、 b^* 、 ΔE^* 值和水分 Sig 值均大于 0.05, 服从正态分布, 5-HMF 含量的 Sig 值小于 0.05, 呈非正态分布。因此, 采用 Pearson 相关系数评价色度值 (L^* 、 a^* 、 b^* 值)、色差值 (ΔE^* 值) 与水分之间的相关性, 采用 Spearman 相关系数评价色度值、色差值、水分和 5-HMF 含量之间的相关性。结果见表 4, 5-HMF 的含量与水分的相关系数为 0.021, 与 L^* 、 a^* 、 b^* 、 ΔE^* 值的相关系数分别为 0.120、-0.157、-0.005、0.076, 说明 5-HMF 的含量与水分、色泽之间的相关性均不显著。而 L^* 值与水分的相关系数为 0.547, 呈现显著相关 ($P < 0.05$)。

表 4 相关性分析结果

Table 4 Results of Spearman and Pearson analysis

影响因素 Factor	相关系数(水分) Correlation coefficient (water)	相关系数(5-HMF) Correlation coefficient (5-HMF)
L^*	0.547*	0.120
a^*	-0.335	-0.157
b^*	-0.196	-0.005
ΔE^*	-0.187	0.076
水分	1.000	0.021

注: * 表示相关性达显著水平 ($P < 0.05$)。

Note: * means correlation was significant at $P < 0.05$.

3 结论

表 1 的结果显示, 在全部 17 份样品中, 产地明确的麦冬有 10 份, 其中湖南、湖北产的 3 份麦冬中 5-HMF 的含量均较高, 介于 18.14 到 71.31 $\mu\text{g/g}$; 7 份来源于四川的麦冬, 5-HMF 的含量较低, 均低于

10 $\mu\text{g/g}$ 。同时, 含量最低的则是四川产并由位于三台县的 4 家加工企业 (3 号样品的加工企业四川绵阳市金麦源生物科技有限公司也位于三台县) 生产的麦冬。由于 5-HMF 生成来源于 Maillard 反应, 即在较高的温度下, 由葡萄糖、果糖等单糖发生反应生成的, 也就是说更多的是在采后的加热干燥过程生成的。作者亲自到产地进行的加工调查和文献的报道^[18]均认为, 三台麦冬的加热烘干技术是三台麦冬加工的关键步骤。说明 5-HMF 的含量低与四川三台县的产地加工关系密切。因此, 5-HMF 含量低应该是三台麦冬道地性在加热干燥环节的重要指标。

麦冬各样品中的水分含量比较一致, 在 5.64% 到 6.39% 的狭窄范围内, 虽然与 5-HMF 含量之间的相关性不显著, 但是与色差仪测定获得的 L^* 值有显著相关。由于 L^* 值代表的是亮度, L^* 越大表示越白, L^* 越小表示越黑^[19], 所以对于麦冬来说, L^* 值越大, 色泽越浅, 水分越高, 说明麦冬的色泽在一定程度上受水分含量的影响。

全部 17 份麦冬样品, 表面色泽均为淡黄或灰黄, 断面色泽均为白色或黄白色, 粉碎后则是白色、黄白色、土黄色。这种色泽的不同, 与 5-HMF 的含量之间无显著相关性。这种现象, 与龙眼肉^[13]、牛膝^[14] 因为色泽加深而引起 5-HMF 含量升高的现象是不一致的。

8 和 11 号样品均购自河北祁一堂药业有限公司, 11 号样品是从 8 号样品中挑选出来的已经走油了的麦冬, 5-HMF 的含量虽有升高, 但不显著。这与天冬^[20] 因为走油引起 5-HMF 含量升高显著的现象也是不一致的。

麦冬属于多年生植物,本实验所收集的样品均不能确定其生长年限。从结果看,5-HMF 的含量更多的是和产地加工有关,与生长年限之间的关系应该不大。我们之前进行了龙眼肉^[13]、牛膝^[14]、天冬^[20]等中药材的研究,结果显示,5-HMF 的含量与采收加工、贮藏之间具有相关性,没有发现与生长年限之间的相关性。

参考文献

- Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China Vol I (中华人民共和国药典:第一部)[M]. Beijing:China Medical Science Press,2010:155.
- Ishibashi H, Mochidome T, Okai J, et al. Activation of potassium conductance by ophiopogonin-D in acutely dissociated rat paratracheal neurons[J]. British J Pharmacol,2001,132:461-466.
- Li ZY, Tang CA. Experimental study on effects of *Ophiopogonis japonicas* polysaccharides on the alleviation of alcoholism and protection of liver[J]. J Xiangnan Univ:Med Sci(湘南学院学报:医学版),2017,19(4):20-24.
- Kuo XN, Zhu N, Liu SQ. Study on chemical constituents of *Ophiopogon Japonicus*[J]. China Pharm(中国药业),2018,27(2):19-22.
- Wang QH, Li X, Wang JH. Study on the constituents of *Ophiopogonis tuber*[J]. Mod Chin Med(中国现代中药),2009,11(11):21-22.
- Yan JZ, Chen C, Chu C, et al. Separation and source of 5-hydroxymethylfurfural in Shengmaiyin(dangshenfang)[J]. J Zhejiang Univ Tech(浙江工业大学学报),2015,43:379-382.
- Du ZY, Qi J, Yu BY. Simultaneous determination of seven components in Zengye decoction by HPLC[J]. Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志),2014,20(10):76-79.
- Wang C, Wang C, Li Q, et al. Progress in Maillard reaction in the field of traditional Chinese medicine[J]. China Pharm(中国药房),2011,22:1038-1040.
- Wang MY, Zhao FM, Peng HY, et al. Investigation on the morphological protective effect of 5-hydroxymethylfurfural extracted from wine-processed *Fructus corni* on human L02 hepatocytes[J]. J Ethnopharmacol,2010,130:424-428.
- Xia Y, Li ZP, Zhu DN, et al. A research on chemical dynamic changes and drug efficacy of SMS compound prescription chemical researches on SMS prescription[J]. China J Chin Mater Med(中国中药杂志),1998,23:230-231.
- Uubricht RJ, Northup SJ, Thomas JA. A review of 5-hydroxymethylfurfural(HMF) in parenteral solutions[J]. Fundam Applied Toxicol,1984,4:843-853.
- Somoza V. Five years of research on health risks and benefits of Maillard reaction products:an update[J]. Mol Nutr Food Res,2005,49:663-672.
- Wu C, Ma YC, Chao ZH. Dynamic analysis between physicochemical indexes of Longan Arillus and temperature-integral of two kinds of warehouse[J]. J Basic Chin Med(中国中医基础医学杂志),2017,23:1158-1161.
- Wu C, Ma YC, Jin WH, et al. Monthly dynamics of physical and chemical indexes of *Achyranthes Bidentatae Radix* stored in simple and cool warehouses[J]. Chin Pharm J(中国药理学杂志),2017,52:2151-2156.
- Wu FM, Yang RS, Li M, et al. Quality comparison of the main varieties of *Ophiopogonis Radix*[J]. Chin Pharm J(中国药理学杂志),2017,52:447-451.
- Wu FM, Zhang SD, Zeng J. Determination of the 4 representative components in Maidong from different producing areas by HPLC-ELSD method[J]. Chin J Pharm Anal(药物分析杂志),2016,36:1370-1376.
- Shi L, Yang HB. Analysis and comparison of trace elements in *Radix Liriope* from different origins[J]. J Practical Tradit Chin Med(实用中医药杂志),2004,20:217.
- Tan MS, Chen JL, Zou LS, et al. Effects of different drying methods on multiple bioactive constituents of *Ophiopogonis Radix*[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2019,31:100-109.
- Hidayat W, Qi Y, Jang JH, et al. Color change and consumer preferences towards color of heat-treated Korean white pine and royal paulownia woods[J]. J Korean Wood Sci Tech,2017,45:213-222.
- Wu C, Ma YC, Xu L, et al. Analysis of factors related to oil-spilling and establishment of limit standards of *Asparagi Radix*[J]. China J Chin Mater Med(中国中药杂志),2019,44:106-111.