

· 中药农业 ·

采后晾晒过程中西洋参人参皂苷含量变化规律研究[△]杨小彤^{1,2}, 冉志芳^{1,2}, 林莺³, 周洁^{2*}

1. 山东中医药大学 药学院, 山东 济南 250355;

2. 济南大学 生物科学与技术学院, 山东 济南 250022;

3. 滨州医学院 药学院, 山东 烟台 264003

[摘要] 目的: 研究采后晾晒过程中西洋参6种人参皂苷含量变化规律。方法: 采用“单株切分”法研究不同干燥方法(自然晾晒、鼓风干燥和真空冷冻干燥法)和不同自然晾晒方式(整株晾晒和切片晾晒)对西洋参根部脱水速率与人参皂苷类成分含量的影响。动态检测西洋参根含水量, 计算脱水速率; 利用高效液相色谱法(HPLC)检测西洋参根中人参皂苷(Rg₁、Re、Rb₁、Rd、Rh₁和Rb₂)的含量; 运用SPSS 17.0统计软件对实验结果进行单因素方差分析、主成分分析及聚类分析。结果: 在“单株切分”法中, 自然晾晒过程中西洋参根部脱水速率较慢, 所需干燥周期为215.30 h, 其人参皂苷类成分含量大幅升高, 其中人参皂苷Rb₁、人参皂苷Rd含量均显著高于鼓风干燥法78.98% ($P<0.05$)、85.84% ($P<0.05$), 显著高于真空冷冻干燥法30.63% ($P<0.05$)、140.42% ($P<0.05$)。整株晾晒过程中西洋参根部脱水速率缓慢, 所需干燥周期为352.79 h, 其人参皂苷Rg₁、人参皂苷Re和人参皂苷Rh₁含量较切片晾晒显著提高54.97% ($P<0.05$)、17.27% ($P<0.05$)、22.73% ($P<0.05$)。主成分分析及聚类分析结果表明, 以人参皂苷Rg₁、人参皂苷Re和人参皂苷Rb₁作为主成分因子评价采后干燥处理对西洋参根中人参皂苷类成分积累的影响, 真空冷冻干燥、整株晾晒和自然晾晒法聚为一类, 鼓风干燥和切片晾晒法聚为一类。结论: 在采后晾晒过程中, 整株自然晾晒方式有利于提高西洋参根中人参皂苷类成分的含量。

[关键词] 西洋参; 晾晒; 干燥方法; 人参皂苷; 含量变化

[中图分类号] R282.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2021)08-1430-07

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20200816004

Change Rules of Ginsenoside Content in *Panax quinquefolium* during Postharvest Sun-Drying ProcessYANG Xiao-tong^{1,2}, RAN Zhi-fang^{1,2}, LIN Ying³, ZHOU Jie^{2*}

1. School of Pharmaceutical Science, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China;

2. School of Biological Science and Technology, University of Jinan, Jinan 250022, China;

3. School of Pharmacy, Binzhou Medical University, Yantai 264003, China

[Abstract] **Objective:** To study on the change rules of six ginsenosides content in *Panax quinquefolium* L. during the postharvest sun-drying process. **Methods:** The "single plant split" method was used to study the influences of different drying methods (natural air drying, forced air drying, and vacuum freeze drying) and different natural drying methods (whole plant air drying and slice air drying) on the dehydration rate and ginsenoside content in the roots of *P. quinquefolium*. The root moisture content of *P. quinquefolium* was measured dynamically for calculating the dehydration rate. The content of ginsenosides (Rg₁, Re, Rb₁, Rd, Rh₁, and Rb₂) in the roots of *P. quinquefolium* was determined by high-performance liquid chromatography (HPLC). SPSS 17.0 was used for one-way analysis of variance, principal component analysis, and cluster analysis of the experimental results. **Results:** In the "single plant cutting" method, the dehydration rate of *P. quinquefolium* roots was slow during the natural air drying process, and the required drying period was 215.30 h. The ginsenoside content was significantly increased, and the levels of ginsenosides Rb₁ and Rd were not only significantly higher than 78.99% ($P<0.05$) and 85.84% ($P<0.05$) yielded by the forced air drying, but also higher than 30.63% ($P<0.05$) and 140.42% ($P<0.05$)

[△] **[基金项目]** 国家重点研发计划项目(2017YFC1700705); 国家自然科学基金重大项目(81891014); 中医药公共卫生服务补助专项(财社〔2018〕43号)

^{*} **[通信作者]** 周洁, 教授, 研究方向: 中药资源生态学; Tel: (0531) 89736799, E-mail: zhoujie8761@163.com

resulting from the vacuum freeze drying. In the whole plant drying process, the dehydration rate of *P. quinquefolium* roots was slow, and the required drying period was 352.79 h. The levels of ginsenosides Rg_1 , Re, and Rh_1 were increased by 63.88% ($P<0.05$), 25.85% ($P<0.05$), and 29.42% ($P<0.05$) as compared with those obtained in the slice air drying. As demonstrated by the results of principal component analysis and cluster analysis, with ginsenosides Rg_1 , Re, and Rb_1 as the principal component factors for evaluating the effects of postharvest drying treatments on ginsenoside accumulation in *P. quinquefolium* roots, the vacuum freeze drying, whole plant air drying, and natural air drying were clustered into one group, while forced air drying and slice air drying into another group. **Conclusion:** In postharvest air-drying process, the natural air drying of the whole plant is beneficial to increasing the content of ginsenosides in the root of *P. quinquefolium*.

[Keywords] *Panax quinquefolium* L.; sun-cure; drying methods; ginsenosides; content change

在采后干燥过程中,尤其是早期晾晒阶段,中药材体内发生着复杂的生理生化反应,其有效成分含量变化较大。这一过程对药材质量的影响不容小觑,而这一环节往往被忽视,相关研究非常薄弱,严重影响药材质量。

西洋参为五加科植物西洋参 *Panax quinquefolium* L. 的干燥根,具有补气养阴、清热生津之功效^[1],在我国有300余年的药用历史,属名贵药材。人参皂苷类成分具有抗肿瘤、抗心律失常及抗氧化等药理活性^[2],是西洋参中主要活性成分,也是衡量药材品质的重要指标^[1,3]。前期研究发现,不同干燥方法直接影响西洋参人参皂苷类成分的含量,从而影响药材品质^[4-6]。人参皂苷作为西洋参体内的次生代谢物,是经过一系列限速酶和关键酶共同作用产生的^[7]。西洋参离开土壤进行采后干燥的过程,尤其是早期晾晒阶段,对植物体来说是一个抵御外界干旱胁迫的过程。有研究报道,适当的干旱胁迫可以增加西洋参根中人参皂苷类成分的含量^[8],说明人参皂苷在植物抵御干旱胁迫方面可能扮演着重要角色。由此推测,在采后晾晒早期过程中西洋参体内人参皂苷参与抵御干旱胁迫,其含量可能会增加。基于此,本研究以新鲜西洋参根为研究对象,采用“单株切分”法研究不同干燥方法(自然晾晒、鼓风干燥和真空冷冻干燥)对同一株西洋参根的脱水速率和人参皂苷含量积累的影响,并进一步研究不同自然晾晒方式(整株晾晒和切片晾晒)对西洋参根脱水速率及人参皂苷含量积累的影响,以期揭示西洋参采后晾晒过程中人参皂苷类成分的含量变化规律提供参考。

1 材料

1.1 试药

新鲜西洋参根于2019年10月采自山东省文登

市葛家镇(N37°5'30.97", E121°48'11.53"),由济南大学周洁教授鉴定为五加科西洋参 *Panax quinquefolium* L. 的根。采集后立即送回实验室,进行不同干燥方法(自然晾晒、鼓风干燥和真空冷冻干燥)和不同自然晾晒方式(整株晾晒和切片晾晒)处理。

对照品人参皂苷 Rg_1 (批号: DST180323-009, 纯度 $\geq 98\%$)、人参皂苷 Re (批号: DET180226-014, 纯度 $\geq 99\%$)、人参皂苷 Rb_1 (批号: DST180131-006, 纯度 $\geq 98\%$)、人参皂苷 Rd (批号: DST180302-015, 纯度 $\geq 98\%$)、人参皂苷 Rh_1 (批号: DST180905-035, 纯度 $\geq 98\%$)、人参皂苷 Rb_2 (批号: DST180426-007, 纯度 $\geq 98\%$)均购于成都曼思特生物科技有限公司;乙腈(色谱纯,美国TEDIA公司);甲醇、磷酸(分析纯,天津市富宇精细化工有限公司);超纯水为实验室自制。

1.2 仪器

U3000型高效液相色谱仪(安捷伦科技有限公司);SB-5200DT型超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司);Hei-VAP型旋转蒸发仪(德祥科技有限公司);DLSK-10/20型低温冷却液循环泵(郑州长城科工贸有限公司);SHK-Ⅲ型循环水式多用真空泵(郑州长城科工贸有限公司);FA1104型分析天平(上海恒平科学仪器有限公司);DFT-250型250克手提式高速粉碎机(温岭市林大机械有限公司);LYO-1型真空冷冻干燥机(上海东富龙科技有限公司);GFL-125型电热鼓风干燥箱(天津莱玻特仪器设备有限公司)。

2 方法

2.1 样品处理

随机挑选6株健康无损、大小均一的新鲜西洋

参根,除去表面泥沙和须根,采用“单株切分”法进行干燥处理,即分别将每株西洋参根纵切成三等份,分别采用自然晾晒法(将西洋参根平铺于室内通风处自然晾晒至质量不再变化)、鼓风干燥法(将西洋参根平铺于电热鼓风干燥箱托盘中,40℃条件下烘干至质量不再变化)及真空冷冻干燥法(将西洋参根置于真空冷冻干燥机中,-40℃条件下冻干至质量不再变化)。

随机挑选12株健康无损、大小均一的新鲜西洋参根,除去表面泥沙和须根,随机分为2组,每组6株,分别采用整株晾晒法(保持整株状态,置于室内通风处自然晾晒至质量不再变化)和切片晾晒法(将西洋参根快速切成约2 mm薄片,平铺于室内通风处自然晾晒至质量不再变化)。上述处理中,每24 h称定样品质量,待根部完全干燥后,分别粉碎,备用。

2.2 根脱水速率的测定

采用刘勇等^[9]方法按公式(1)计算西洋参根的干基含水率(M_t),采用Falade等^[10]方法按公式(2)计算西洋参根的干燥速率(DR)。

$$M_t = \frac{(w_t - m_{\text{干}})}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1)$$

$$DR = \frac{(M_t - M_{t-1})}{\Delta t} \times 100\% \quad (2)$$

上式中: w_t 为 t 时刻西洋参根的总质量; $m_{\text{干}}$ 为西洋参根的干质量;DR为干燥过程中在时间 t 和 $t-1$ 之间的干燥速率; M_t 、 M_{t-1} 分别为 t 、 $t-1$ 时刻西洋参根的干基含水率; Δt 为时间间隔。

2.3 人参皂苷的含量测定

2.3.1 对照品溶液制备 称取人参皂苷 R_{g_1} 、 R_e 、 R_{b_1} 、 R_{b_2} 、 R_d 、 R_{h_1} 对照品适量,精密称定,置于1 mL量瓶中,加入甲醇溶解并定容,配制为人参皂苷 R_{g_1} 0.21 mg·mL⁻¹、人参皂苷 R_e 0.12 mg·mL⁻¹、人参皂苷 R_{b_1} 0.21 mg·mL⁻¹、人参皂苷 R_{b_2} 0.16 mg·mL⁻¹、人参皂苷 R_d 0.21 mg·mL⁻¹、人参皂苷 R_{h_1} 0.12 mg·mL⁻¹的混合对照品溶液。

2.3.2 供试品溶液制备 参照于京平等^[11]方法配制西洋参供试品溶液,并对其稍加修改。精密称取药材粉末(过三号筛)0.5 g于25 mL量瓶中,加甲醇定容,50℃超声提取50 min,静置过夜,补足减失的甲醇,吸取上清液20 mL于圆底烧瓶,使用旋转

蒸发仪45℃挥干甲醇,加少量甲醇溶解,定容,0.22 μm微孔滤膜滤过,即得。

2.3.3 色谱条件 使用YMC-Pack ODA-A色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm),流动相为乙腈(A)-0.1%磷酸溶液(B),按照《中华人民共和国药典》2020年版一部西洋参项下流动相洗脱比例梯度洗脱^[1],流速为1.0 mg·mL⁻¹,检测波长为203 nm,柱温为40℃,进样量为20 μL,理论板数按人参皂苷 R_{b_1} 峰计算应不低于5000。

2.4 数据处理

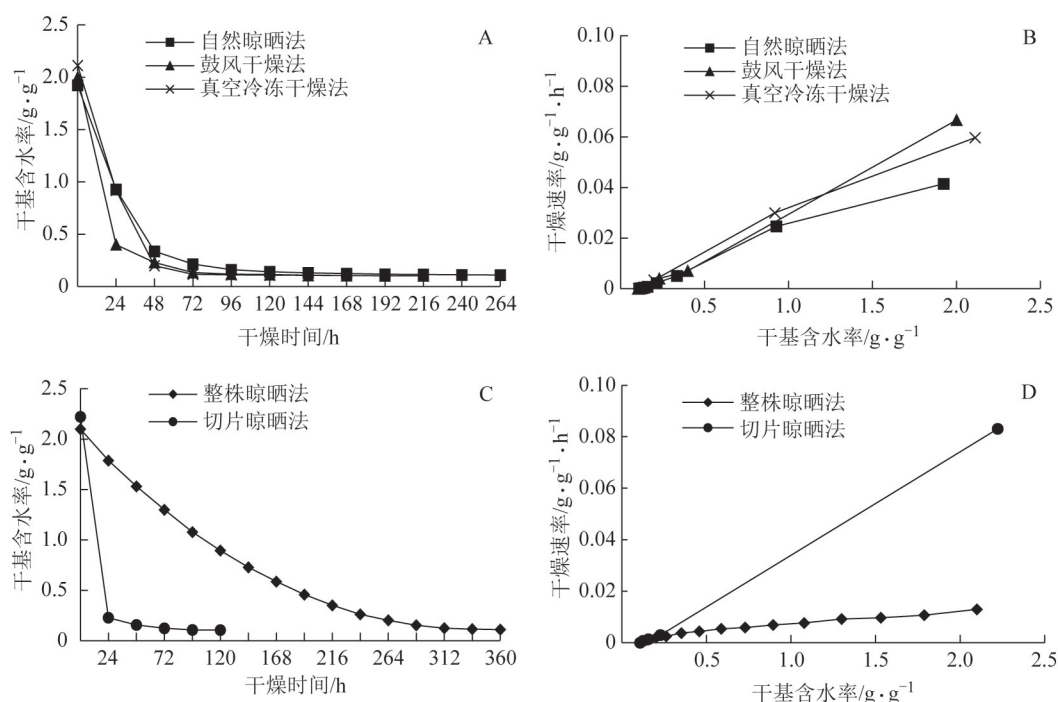
采用SPSS 17.0软件进行数据分析,利用单因素方差分析(One-way ANOVA)计算各处理间的统计学差异,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义;对实验结果进行主成分分析;利用系统聚类分析进行聚类分析,距离公式为平方欧式距离。使用Microsoft Excel 2016软件进行图表绘制。

3 结果

3.1 不同干燥方法和晾晒方式对西洋参根脱水速率的影响

不同干燥方法对西洋参根部脱水速率的影响见图1A~B。西洋参根的初始干基含水率为1.92~2.12 g·g⁻¹。自然晾晒过程中,西洋参根的干基含水率在0~96 h持续下降,96~192 h逐渐变缓,192 h后趋于平稳;鼓风干燥及真空冷冻干燥过程中,其干基含水率表现出相似的变化趋势。自然晾晒、鼓风干燥、真空冷冻干燥方法根达到安全含水率(10%)^[9]的时间分别为215.30、171.25、132.21 h。从干燥速率曲线来看,这3种干燥方法主要表现为降速干燥期及较短的恒速干燥期,无升速干燥期,自然晾晒、鼓风干燥、真空冷冻干燥方法平均干燥速率分别为0.007、0.009、0.013 g·g⁻¹·h⁻¹。

不同自然晾晒方式中西洋参根部脱水速率存在明显区别(图1C~D)。西洋参根的初始干基含水率为2.10~2.22 g·g⁻¹。整株晾晒过程中,西洋参根的干基含水率在0~312 h平缓下降,312 h后逐渐平稳,根达到安全含水率的时间为352.79 h;且干燥速率曲线主要表现为一段较长的恒速干燥期,计算可得平均干燥速率为0.006 g·g⁻¹·h⁻¹。在切片晾晒过程中,西洋参根的干基含水率呈大幅度快速下降趋势,且根达到安全含水率的时间为89.37 h,比整株



注: A. 不同干燥方法处理根部的干燥曲线; B. 不同干燥方法处理根部的干燥速率曲线; C. 不同自然晾晒方式处理根部的干燥曲线; D. 不同自然晾晒方式处理根部的干燥速率曲线。

图1 不同采后干燥处理下西洋参根部的干燥曲线和干燥速率曲线

晾晒时间缩短了74.67%;其干燥速率曲线主要表现为降速干燥期,平均干燥速率为 $0.018 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

3.2 不同干燥方法和晾晒方式对西洋参根中人参皂苷含量的影响

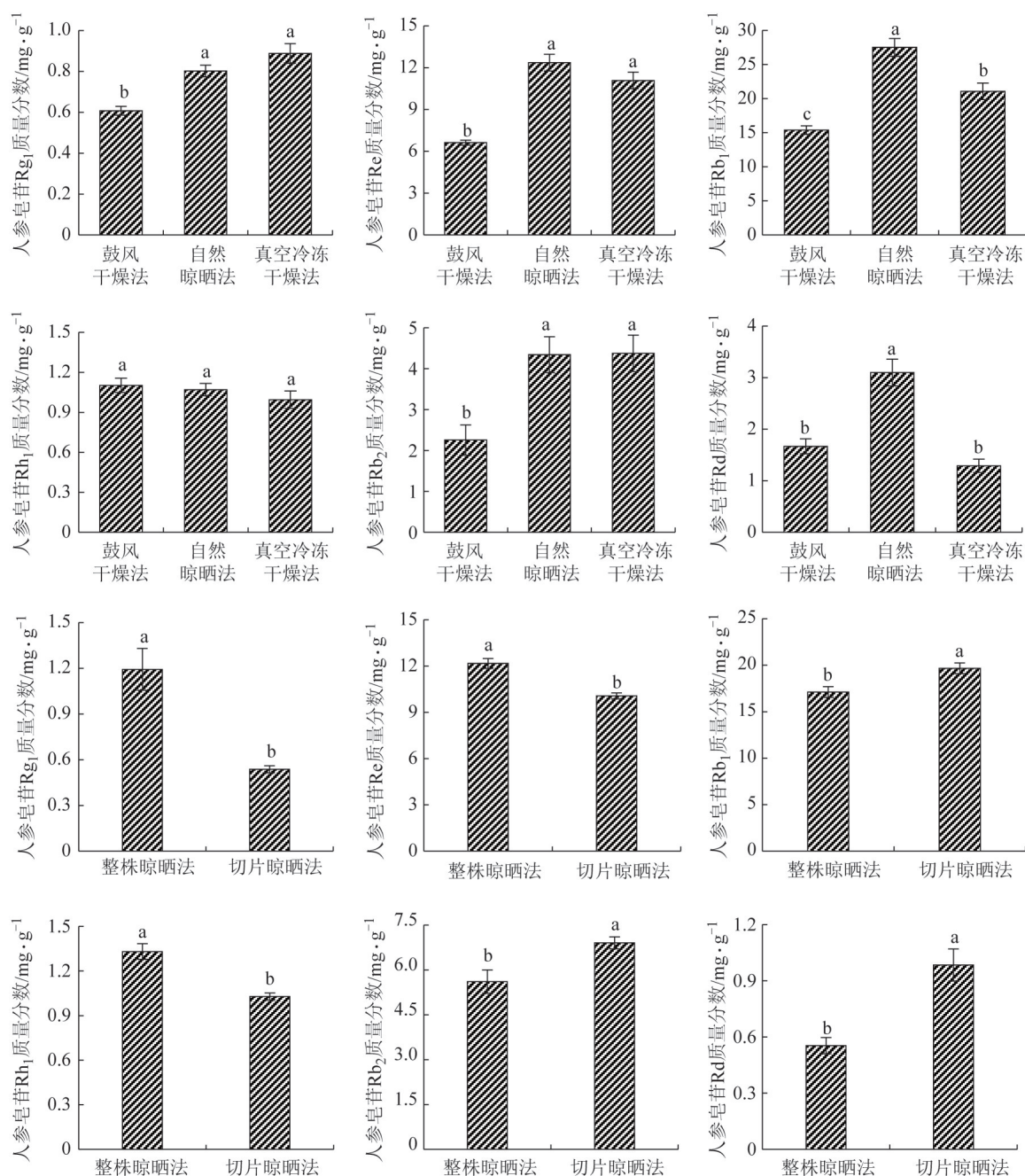
不同干燥方法对西洋参根中人参皂苷含量产生不同的影响,其结果见图2。从人参皂苷 Rg_1 、人参皂苷 Re 、人参皂苷 Rb_1 总质量分数来看,自然晾晒法较高(4.07%),真空冷冻干燥法次之(3.30%),鼓风干燥法较低(2.26%)。从单体人参皂苷(Rg_1 、 Re 、 Rb_1 、 Rb_2 和 Rd)来看,自然晾晒法中人参皂苷 Rb_1 、人参皂苷 Rd 的质量分数分别为 27.52 、 $3.10 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,显著高于鼓风干燥法78.98% ($P < 0.05$)、85.84% ($P < 0.05$),且较真空冷冻干燥法中的质量分数显著提高30.63% ($P < 0.05$)、140.42% ($P < 0.05$);自然晾晒法中人参皂苷 Rg_1 、人参皂苷 Re 、人参皂苷 Rb_2 的质量分数分别为0.80、12.36、 $4.34 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,与鼓风干燥法相比提高了32.01% ($P < 0.05$)、86.64% ($P < 0.05$)、92.65% ($P < 0.05$)。

为进一步阐述西洋参人参皂苷在采后晾晒的早期阶段参与抵御干旱胁迫,从而导致其含量增加的推测,本研究又比较了不同自然晾晒方式(整株晾

晒和切片晾晒)对西洋参根中人参皂苷含量的影响,结果见图2。整株晾晒法中西洋参根中人参皂苷 Rg_1 、人参皂苷 Re 、人参皂苷 Rb_1 的质量分数分别为1.19、12.17、 $1.33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,显著高于切片晾晒法54.97% ($P < 0.05$)、17.27% ($P < 0.05$)、22.73% ($P < 0.05$)。整株晾晒法中人参皂苷 Rg_1 、人参皂苷 Re 、人参皂苷 Rb_1 总质量分数为3.05%,略高于切片晾晒(3.03%),差异无统计学意义。可见,在采后晾晒过程中整株晾晒比切片晾晒方式更有利于提高人参皂苷类成分的积累。

3.3 聚类分析

为深入分析不同干燥方法和晾晒方式对采后西洋参根中人参皂苷含量的影响,本研究对人参皂苷 Rg_1 、人参皂苷 Re 、人参皂苷 Rb_1 、人参皂苷 Rh_1 、人参皂苷 Rb_2 、人参皂苷 Rd 进行主成分分析。Bartlett球度检验显示,相伴概率为0 ($P < 0.05$),适合做因子分析。由表1可见,前3个主成分的特征值 >1 ,表明人参皂苷 Rg_1 、人参皂苷 Re 、人参皂苷 Rb_1 这3个因子在评价西洋参人参皂苷含量中累积方差贡献率达92.630%,能够较为客观地评价指标。因此,以人参皂苷 Rg_1 、人参皂苷 Re 、人参皂苷 Rb_1 这3个主成



注: 不同小写字母表示 $P < 0.05$ 。

图2 采后干燥处理对西洋参皂苷质量分数的影响($\bar{x} \pm s, n=6$)

分进行指标评价, 分析采后不同的干燥处理方式对西洋参根中人参皂苷类成分积累的影响。基于主成分分析数据, 对3种干燥方法(鼓风干燥、自然晾晒和真空冷冻干燥法)及2种晾晒方式(整株晾晒及切片晾晒)进行聚类分析, 结果见图3。当欧式平方距离为20时, 这5种干燥处理方式聚为2类: 第Ⅰ类是真空冷冻干燥、整株晾晒和自然晾晒法, 第Ⅱ类是鼓风干燥和切片晾晒法; 当欧式平方距离

为7.5时, 第Ⅰ类又可进一步分为2个小类: 真空冷冻干燥和整株晾晒法聚为第Ⅰa类, 自然晾晒法则聚为第Ⅰb类。

4 讨论

药材的采后干燥作为中药材生产加工过程中的关键环节, 直接影响药材中活性成分的积累^[12]。为消除植株个体间差异, 本研究以同一株西洋参根为

表1 主成分的特征值及方差贡献率

主成分	初始特征值及方差贡献率			旋转后的特征值及方差贡献率		
	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	2.366	39.432	39.432	2.152	35.864	35.864
2	2.017	33.613	73.045	1.963	32.717	68.581
3	1.175	19.584	92.630	1.443	24.048	92.630

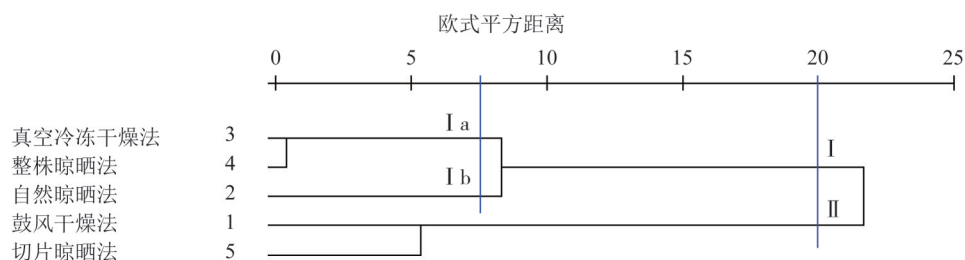


图3 采后干燥处理对西洋参皂苷含量影响的聚类分析

研究对象,采用“单株切分”法研究自然晾晒、鼓风干燥和真空冷冻干燥不同干燥方法下西洋参脱水速率和人参皂苷类成分含量的变化,并研究整株晾晒和切片晾晒等不同自然晾晒方式下,西洋参脱水速率和人参皂苷类成分含量的变化。结果显示,对同一株西洋参来说,采后自然晾晒法中人参皂苷类成分的含量明显高于鼓风干燥和真空冷冻干燥法中的含量,且西洋参整株晾晒过程中人参皂苷的含量大幅增加。目前,在西洋参生产上通常是将收获的新鲜西洋参清洗干净后,置于空旷处沥干水分后再进行鼓风干燥。沥干水分的过程实际上也是一个自然晾晒的过程。结合本实验的研究结果,建议西洋参自然晾晒时间为4 d,然后进行鼓风干燥,这有利于西洋参中人参皂苷类成分的积累。

在自然晾晒过程中,西洋参体内人参皂苷类成分的含量出现大幅度升高,这可能与植物抵御干旱胁迫有关。Lee等^[8]研究发现,在栽培过程中,适当的干旱胁迫可以提高西洋参根中人参皂苷的含量,表明人参皂苷类成分参与西洋参抗旱生理过程。对于西洋参根来说,离开土壤后的干燥过程,尤其是早期晾晒阶段,是一个抵御干旱胁迫的过程,其体内人参皂苷含量可能增加。本研究进一步研究了整株晾晒和切片晾晒对西洋参根部人参皂苷含量的影响,发现整株晾晒过程中西洋参根部人参皂苷类成分的含量明显高于切片晾晒,说明整株晾晒方式更有利于激发抗旱响应,因而更有利于促进西洋参中人参皂苷类成分的积累。本研究的结果与其他学者的研究结果相吻合。例如,周铜水^[13]研究发现,采

后干燥过程中丹参根中次生代谢产物丹酚酸B大量积累,黄芩根中次生代谢产物黄芩苷等类成分的含量明显增加;焦广睿等^[14]研究发现,黄芪在采后阴干过程中黄酮类和皂苷类成分含量明显升高。

关于采后西洋参中人参皂苷类成分积累的机制研究尚属空白。从西洋参中人参皂苷的生物合成途径来看,原人参二醇既经糖基转移酶催化生成原人参二醇型人参皂苷如人参皂苷Rb₁、人参皂苷Rb₂、人参皂苷Rd,也可被细胞色素氧化酶P450中的原人参三醇合成酶羟基化生成原人参三醇,进而生成原人参三醇型人参皂苷如人参皂苷Rg₁、人参皂苷Re、人参皂苷Rh₁等。从本研究结果来看,采后整株晾晒与切片晾晒对不同类型的人参皂苷类成分的积累产生较大影响,这与相关生物合成途径中关键酶基因的调控有关,相关机制有待深入研究。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:136-137.
- [2] 刘笑男,历凯,盛波,等. 西洋参药理学研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报,2019,21(11):112-115.
- [3] 张丹,郑开颜,吴兰芳,等. 西洋参药材的质量特征与商品规格的相关性分析[J]. 中国中药杂志,2016,41(18):3329-3335.
- [4] XIAO H W, BAI J W, XIE L, et al. Thin-layer air impingement drying enhances drying rate of American ginseng (*Panax quinquefolium* L.) slices with quality attributes considered[J]. Food Bioprod Process, 2015, 94: 581-591.

- [5] LI M, CHEN Y N, WANG X, et al. Determination of drying kinetics and quality changes of *Panax quinquefolium* L. dried in hot-blast air[J]. LWT, 2019, 116: 108563.
- [6] 陆国胜. 西洋参真空冷冻干燥工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(14): 115-119.
- [7] 王乐. 西洋参中人参皂苷相关功能基因的鉴定分析与表达研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [8] LEE J, MUDGE K W. Water deficit affects plant and soil water status, plant growth, and ginsenoside contents in American ginseng[J]. Horticult Environ Biotechnol, 2013, 54(6): 475-483.
- [9] 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.
- [10] FALADE K O, ABBO E S. Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits[J]. J Food Eng, 2007, 79(2): 724-730.
- [11] 于京平, 刘晓娜, 宋佳璇, 等. 两种西洋参人参皂苷不同提取方法的比较[J]. 滨州医学院学报, 2019, 42(4): 303-306.
- [12] 张润, 陈千良, 胡河荷. 干燥方法对秦艽药材中有效成分含量的影响[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(6): 1348-1351.
- [13] 周铜水. 丹参的主要活性成分丹酚酸B是采后干燥胁迫诱导的产物[J]. 中国现代中药, 2013, 15(3): 211-218.
- [14] 焦广睿, 周国军, 李焱, 等. 阴干过程中黄芪活性成分和抗氧化能力的增长与下降趋势[J]. 安徽医药, 2013, 17(9): 1473-1477.

(收稿日期: 2020-08-16 编辑: 戴玮)