

# 基于针刺压力传感器的人参润制“药透水尽” 科学内涵研究

连传运<sup>1</sup>, 徐冰<sup>1\*</sup>, 赵亚楠<sup>1</sup>, 戴胜云<sup>2</sup>, 侯金才<sup>3</sup>, 张燕玲<sup>1</sup>, 乔延江<sup>1\*</sup>

(1. 北京中医药大学 中药信息学系, 北京 102400; 2. 中国食品药品检定研究院, 北京 100050;  
3. 神威药业集团有限公司, 河北 石家庄 051430)

**[摘要]** 采用质构仪针刺式压力传感器对人参润制“药透水尽”进行客观化表征。先采用单因素轮换试验, 考察穿刺速度、穿刺深度和穿刺部位对穿刺力和做功的影响。按照《中国药典》人参炮制方法, 选择直径约1 cm和2 cm的人参药材, 在设定的测定时间点进行穿刺试验, 测定人参的硬度、吸水率和穿刺针做功随时间的变化, 结合经验判断制订人参软化过程终点阈值, 并进行验证。为反映人参软化过程药材内部真实情况, 穿刺深度优选为70%, 穿刺速度为30 mm·min<sup>-1</sup>。人参润制过程中, 软化硬度变化符合一级动力学方程  $y = a \times \exp(-k \times x)$ , 1 cm和2 cm的人参药材的0 h初始硬度  $a$  分别为289.8, 1 227 N, 速率常数  $k$  分别为0.149 4, 0.100 7 N·h<sup>-1</sup>。人参完全软化后, 穿刺所需力为10 N, 可以作为“药透”的标准, 此时人参的吸水率70%~100%。直径1 cm人参软化时间为20~22 h, 直径2 cm人参软化时间为40~46 h。采用针刺式压力传感器, 有助于精确判断人参润制软化过程终点, 减少有效成分损失。研究结果为其他干燥根及根茎类药材软化过程动力学研究和过程智能监控提供参考。

**[关键词]** 人参; 润制过程; 药透水尽; 压力传感器; 一级动力学

## Mechanism of "herb soaking with exact amount of water" during moistening process of ginseng based on needle pressure sensor

LIAN Chuan-yun<sup>1</sup>, XU Bing<sup>1\*</sup>, ZHAO Ya-nan<sup>1</sup>, DAI Sheng-yun<sup>2</sup>, HOU Jin-cai<sup>3</sup>, ZHANG Yan-ling<sup>1</sup>, QIAO Yan-jiang<sup>1\*</sup>

(1. Department of Chinese Medicine Information Science, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 102400, China;  
2. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China; 3. Shenwei Pharmaceutical Group Co., Ltd., Shijiazhuang 051430, China)

**[Abstract]** In this study, the texture analyzer acupuncture pressure sensor was used to objectively characterize the "herb soaking with exact amount of water" for moistening process of ginseng. The single factor rotation experiment was used to investigate the effects of puncture speed, puncture depth and puncture site on puncture force and work. According to ginseng processing method in *Chinese Pharmacopoeia*, ginseng medicinal materials with diameters of about 1 cm and 2 cm were selected, and puncture experiments were carried out at the set measurement time to determine the hardness, work and water absorption of the ginseng moistening process. The end-point threshold for the ginseng softening process was determined and verified. To reflect the actual internal conditions of the ginseng softening process, the puncture depth was preferably 70%, and the puncture speed was 30 mm·min<sup>-1</sup>. In the ginseng moistening process, the softening hardness and the puncture work were in accordance with the first-order kinetic equation  $y = a \times \exp(-k \times x)$ . The 0 h initial hardness  $a$  of 1 cm and 2 cm ginseng herbs were 289.8 N and 1 227 N, and the rate constants  $K$  were 0.149 4 N·h<sup>-1</sup> and 0.100 7 N·h<sup>-1</sup>, respectively. After the ginseng was completely softened, the force required for puncture was 10 N, which can be used as the

**[收稿日期]** 2019-07-19

**[基金项目]** 北京中医药大学科研项目(2019-JYB-JS-015); 国家自然科学基金项目(81403112)

**[通信作者]** \* 徐冰, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为中药质量和先进工艺控制, Tel: (010) 53912117, E-mail: xubing@bucm.edu.cn;

\* 乔延江, 教授, 博士生导师, 研究方向为中药信息学研究, Tel: (010) 53912116, E-mail: yjqiao@263.net

**[作者简介]** 连传运, Tel: (010) 84738650, E-mail: sglzd@bucm.edu.cn

standard for "drug penetration". At this time, the water absorption rate of ginseng was 70%–100%. The softening time of ginseng with a diameter of 1 cm was about 20–22 h, and the softening time of ginseng with a diameter of 2 cm was about 40–46 h. A needle-type pressure sensor was used to accurately determine the end point of the softening process of ginseng and reduce the loss of active ingredients. The study results provide reference for the softening process kinetics and the process intelligent monitoring of other dried roots and rhizomes.

**[Key words]** ginseng; moistening process; herb soaking with exact amount of water; pressure sensor; first order dynamics

doi: 10.19540/j.cnki.cjcm.20191219.305

为方便中药饮片切制,常需将净选后的中药材进行软化,使干燥药材的质地由硬变软。对于质地较为坚硬的药材,常采用润法进行软化。润药得当,可减少有效成分损失,保证切制饮片整齐、平坦且完整,有“七分润工、三分切工”之说。检查药材软化程度的方法通常包括弯曲法、指掐法、穿刺法、手捏法、刀劈法等。例如以穿刺法评价,需将药材软化至以铁扦能刺穿而无硬心感<sup>[1]</sup>。润药时间长短则应综合考虑药材体积、质地和季节等因素,并坚持“软硬适度”“药透水尽”和“避免伤水”的原则<sup>[2]</sup>。上述指标在实际应用中多依靠药工感官评价,存在较大的主观性和个体差异<sup>[3-4]</sup>。

人参为五加科植物人参 *Panax ginseng* 的干燥根和根茎,《中国药典》规定人参炮制需润透,切薄片,干燥。《北京市中药饮片炮制规范》(2008年版)规定取原药材,除去芦头,洗净,闷润 24~48 h,至内外湿度一致,切薄片,干燥<sup>[5]</sup>。药典收录的人参炮制规格有生晒参和红参<sup>[6]</sup>、但其炮制工艺并未统一,参数尚未明确<sup>[7]</sup>,除药典收录炮制规格外还有糖参、活性参、大力参、黑参等炮制规格<sup>[8]</sup>,目前人参炮制研究主要集中在人参的不同炮制规格和不同辅料炮制人参<sup>[9-11]</sup>,缺少对人参润制软化过程的研究。

本研究将物性分析工具质构仪<sup>[12-14]</sup>用于中药人参软化过程评价,采用针刺式测量附件,测定软化过程人参药材硬度变化,对人参润制过程品质进行数字化表征,比较不同规格人参软化终点的硬度大小,并制定评价标准,用客观数据阐释人参润制“药透水尽”科学内涵。研究结果预期为中药饮片润制过程隐性知识的显性化和客观化提供新的思路和方法。

## 1 材料

质构仪(TMS-Touch food technology corporation Co., Ltd. United States)。

人参(批号 RS180313,吉林通化)、人参(批号

1709272,吉林靖宇)和验证试验用人参(批号 KH171013,吉林集安)均由神威药业集团有限公司提供,经北京中医药大学中药资源与鉴定系刘春生教授鉴定,符合《中国药典》2015年版一部“人参”项下有关规定。

## 2 方法

### 2.1 人参润制过程

将人参药材按照直径大小分档,洗净清除杂质,置于烧杯中,盖2层纱布,以喷壶均匀喷洒加水适量,烧杯口以PE袋膜覆盖,闷润软化至内无硬心,可折弯。

### 2.2 质构仪穿刺试验条件考察

为保证硬度测量精度和准确性,经预试验考察,选择1000 N质构仪感应元件,起始力设定为1.5 N。采用单因素考察法,分别依次对穿刺速度、穿刺深度、穿刺部位进行优化。

**2.2.1 穿刺速度** 固定穿刺部位为距离芦头1 cm处,穿刺深度至人参该部位直径的70%。质构仪穿刺针最大穿刺速度为50 mm·min<sup>-1</sup>,因此,分别选取20,30,40 mm·min<sup>-1</sup>,考察不同穿刺速度对人参硬度和穿刺做功的影响。

**2.2.2 穿刺深度** 固定穿刺部位为距离芦头1 cm处,在最优穿刺速度下,控制穿刺深度至人参该部位直径的30%,50%,70%,考察不同穿刺深度对人参硬度和穿刺做功的影响。

**2.2.3 穿刺部位** 在最优穿刺速度和穿刺深度条件下,将每根人参平均分成前、中、后3个部位,每个部位选择4个穿刺点,每个穿刺点相距0.5 cm。考察不同穿刺部位对硬度和做功的影响。

### 2.3 人参软化过程硬度和吸水率测定

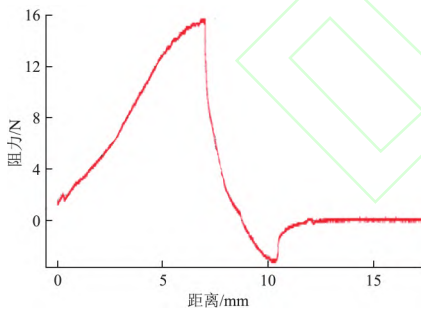
为模拟“药透”过程,采用质构仪穿刺针测量附件,结合力量感应元件,采集人参炮制过程硬度变化信息。同时,测定人参润制过程吸水量的变化,为“水尽”提供量化数据支撑。按照2.1项下方法,对人参药材进行闷润软化,测定不同软化时间点下人

参的硬度和吸水率。

根据前期预试验结果,不同直径的人参软化时间的快慢不同,以直径 $(10\pm 1)$ 、 $(20\pm 1)$  mm 人参为代表。直径 $(10\pm 1)$  mm 人参硬度和吸水率测定时间点: 6, 12, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 36, 48 h; 直径 $(20\pm 1)$  mm 人参硬度和吸水率测定时间点: 6, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52 h。

## 2.4 数据采集与处理

采用针刺式压力传感器测定人参软化程度可获得参数有: 样品高度(mm)、硬度(N)、最大硬度时位移(mm)、做功( $N\cdot mm$ )。质构仪测定过程见图1, 横坐标 $X$ (mm)为穿刺针移动的距离,纵坐标 $Y$ (N)为穿刺针移动过程中遇到的阻力。当起始力设置为1.5 N时,穿刺针受到1.5 N阻力时,开始穿刺样品,此时穿刺针的高度距离样品台的高度差即为样品高度(mm),穿刺过程中记录穿刺阻力随穿刺距离变化的曲线,曲线平均值即为硬度(N),曲线最高点时对应的穿刺针移动距离即为最大硬度时的位移(mm),曲线下的面积即为穿刺过程做功( $N\cdot mm$ )。图中所示测定曲线出现在纵坐标负值区域是由于穿刺完成后,穿刺针回程过程中人参挤压穿刺针造成。



以2 cm 直径人参软化26 h 测定曲线为例。

图1 穿刺阻力随穿刺距离变化曲线

Fig. 1 An example curve of needle penetration resistance versus needle movement distance

## 3 结果与讨论

### 3.1 穿刺试验条件优选

**3.1.1 不同穿刺速度条件优选** 选择9根人参,分别用A、B和C表示不同穿刺速度,1、2、3表示每组不同的人参,按照2.1项下方法进行润制,至24 h时,按照2.2.1项下试验设计安排,进行性质构仪穿刺速度的考察,结果见表1。在20、30、40  $mm\cdot min^{-1}$  穿刺速度下,测得硬度平均值分别为7.2、6.9、7.2

N 做功平均值分别为28.3、26.4、29.3  $mm\cdot min^{-1}$ 。以硬度为指标进行方差分析, $F$ 为0.02, $P$ 为0.9801;以最大硬度时位移为指标进行方差分析, $F$ 为0.71, $P$ 为0.5276;以做功为指标进行方差分析, $F$ 为2.1, $P$ 为0.2030。按照显著性水平0.05, $P$ 均大于0.05,表明不同穿刺深度下的硬度和做功差异无统计学意义,不同穿刺速度对测定结果无影响。

表1 不同穿刺速度下穿刺人参的硬度和做功

Table 1 Results at different needle penetration speeds

试验编号	样品高度/mm	穿刺速度/ $mm\cdot min^{-1}$	最大硬度时的位移/mm	硬度/N	做功/ $N\cdot mm$
A1	9.2	20	7.0	5.4	23.0
A2	9.1	20	7.0	5.7	23.0
A3	10.5	20	6.9	10.6	38.8
B1	9.1	30	6.9	7.6	28.0
B2	10.3	30	5.3	5.5	20.7
B3	10.2	30	7.0	7.5	30.6
C1	10.5	40	6.9	10.2	44.5
C2	8.8	40	6.7	6.1	28.3
C3	8.5	40	5.0	5.2	15.0

注: 试验编号A、B和C表示为不同穿刺速度;1、2、3表示每组不同的人参。

**3.1.2 不同穿刺深度条件优选** 选择9根人参,分别用D、E和F表示不同穿刺深度,1、2、3表示每组不同的人参,按照2.1项下方法进行润制,至24 h时,按照2.2.2项下试验设计安排,进行性质构仪穿刺深度的考察,结果见表2。在刺深度至人参该部位直径的30%、50%和70%时,测得硬度平均值分别为4.6、4.9、7.9 N,做功平均值分别为8.6、13.9、28.2  $N\cdot mm$ 。以硬度为指标进行方差分析, $F$ 为2.58, $P$ 为0.1553;以最大硬度时位移为指标进行方差分析, $F$ 为2.64, $P$ 为0.1503;以做功为指标进行方差分析, $F$ 为3.62, $P$ 为0.0933。按照显著性水平0.05,按照显著性水平0.05, $P$ 均大于0.05,表明不同穿刺深度下的硬度和做功差异无统计学意义,不同穿刺深度对测定结果无影响。

**3.1.3 不同穿刺部位条件优选** 选择3根人参,分别用G1、G2、G3表示不同的人参,按照2.1项下方法进行润制,至24 h时,按照2.2.3项下试验设计安排,进行不同穿刺部位的考察,结果见表3。穿刺部位分别为前部、中部和后部时,测得硬度平均值分别为6.2、6.7、6.1 N,做功平均值分别为17.9、18.5、17.6  $N\cdot mm$ 。以硬度为指标进行方差分析, $F$

表2 不同穿刺深度下穿刺人参的硬度和做功

Table 2 Results at different needle penetration depths

试验 编号	样品高度 /mm	穿刺深度 /%	最大硬度时 的位移/mm	硬度 /N	做功 /N·mm
D1	9.1	30	3.0	6.4	11.1
D2	10.0	30	2.9	4.3	8.5
D3	9.6	30	3.0	3.1	6.1
E1	8.5	50	2.7	4.9	9.1
E2	9.0	50	5.0	5.1	17.3
E3	9.2	50	5.0	4.8	15.4
F1	9.1	70	6.9	7.6	30.6
F2	9.8	70	6.9	10.6	43.0
F3	10.7	70	3.3	5.4	10.9

注: 试验编号 D、E 和 F 表示为不同穿刺深度; 1、2、3 表示每组不同的人参。

表3 不同穿刺部位下穿刺人参的硬度和做功

Table 3 Results at different needle penetration sites

穿刺部位	最大硬度时位移/mm			硬度/N			做功/N·mm		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	G1	G2	G3
前	5.6	7.0	6.7	7.3	4.9	9.5	24.5	21.6	33.0
	7.0	6.9	6.8	7.9	5.4	6.7	36.8	21.3	28.1
	6.4	7.0	6.8	7.3	6.4	6.1	29.0	26.7	28.3
	6.3	6.9	6.9	6.1	7.2	7.0	24.2	28.0	29.9
中	2.9	7.0	6.8	3.9	7.2	6.1	8.2	27.7	26.0
	6.8	7.0	6.9	6.4	9.3	6.6	29.6	35.7	28.7
	7.0	6.9	6.9	6.4	8.4	5.8	26.9	34.7	23.2
	6.6	6.9	7.0	5.2	8.4	6.3	22.4	34.8	23.0
后	6.8	6.9	6.9	4.9	8.1	5.5	24.8	33.5	20.2
	6.9	6.6	6.9	6.3	8.2	5.8	26.6	30.6	22.5
	6.7	6.9	6.7	4.8	7.2	5.5	19.5	27.3	18.8
	6.8	6.9	6.7	4.9	6.4	9.7	21.5	24.9	30.0

注: 试验编号 G1、G2、G3 表示不同的人参。

### 3.2 人参软化过程硬度测定

预试验结果表明不同直径人参软化所需要的时间不同,直径 1 cm 的人参闷润软化所需时间约为 24 h,直径在 1 cm 以下的人参闷润软化所需时间更短,直径 2 cm 的人参闷润软化所需时间约为 48 h,与《北京市中药饮片炮制规范》(2008 年版)规定的人参闷润 24~48 h 描述基本一致。本文分别选择 6 根 1 cm 和 6 根 2 cm 直径的人参,在 2.3 项设定的每个测定时间点下进行穿刺试验。为反映人参软化过程中药材内部真实情况,穿刺深度选为 70%,穿刺速度为  $30 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,每个时间点下人参分别在前、中、后 3 个部位各选择一个穿刺点。结果见图 2 随着软化时间延长,药材外部水分徐徐渗入药材组织内部,人参硬度和穿刺做功逐渐下降,硬度 SD

为 2.58,  $P$  为 0.155 3; 以最大硬度时位移为指标进行方差分析,  $F$  为 2.64,  $P$  为 0.150 3; 以做功为指标进行方差分析,  $F$  为 3.62,  $P$  为 0.093 3。按照显著性水平 0.05,  $P$  均大于 0.05,表明不同穿刺部位下的硬度和做功差异无统计学意义,不同穿刺部位对测定结果无影响。

综上,人参润透软化后,在不同穿刺速度、穿刺深度和穿刺部位试验条件下进行测定,测定结果进行方差分析,  $P$  均大于 0.05,表明差异无统计学意义,质构仪在不同穿刺速度、穿刺深度和穿刺部位进行穿刺试验对测定结果无影响,方便人参润制软化过程中测量条件的选择。

和做功 SD 都亦逐渐下降,表明经过润制过程,不同的人参之间和不同部位之间的质地差异减小,方便后续切制工序的开展。

当人参润制过程达到平稳时,1 cm 直径人参硬度 RSD 为 4.1%,做功 RSD 为 3.3%,2 cm 直径人参硬度 RSD 为 10.4%,做功 RSD 为 14.8%,人参直径的变化导致做功的 RSD 变化范围较大。在相同质地下,做功大小与穿刺针在药材中移动的距离长短有关,因此对不同直径规格的人参,无法用统一做功数值标准对软化程度进行描述。而硬度为穿刺针在药材内部移动过程中穿刺阻力的平均值,因此不同直径规格的人参,可采用硬度值进行质地软硬程度的比较。当药材全被浸透,达到内外湿度一致后,人参硬度趋于平稳。结合弯曲、手捏等经验方法,对

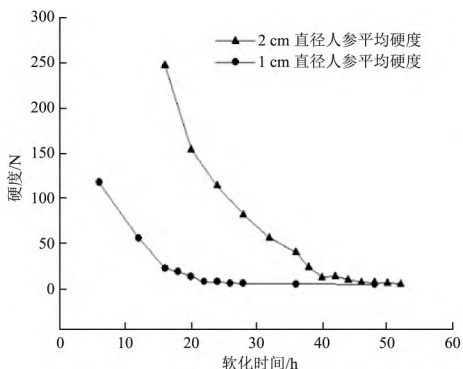
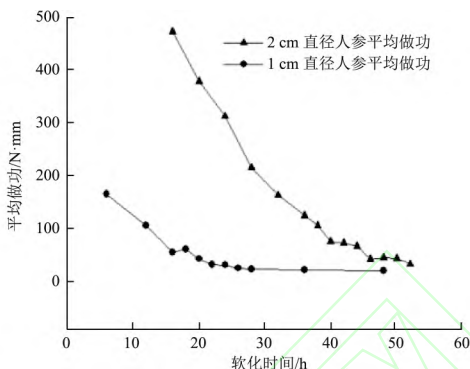


图2 人参不同软化时间下平均硬度和平均做功( $n=6$ )

Fig. 2 Average hardness and average work of ginseng at different softening times ( $n=6$ )



人参“药透”程度进行判断,随着润制时间的延长,人参的可弯曲程度增加,见图2,在穿刺平均硬度 $<10\text{ N}$ 时,人参已经软化完全,且可折弯。因此,可定义穿刺硬度值 $<10\text{ N}$ 作为人参润制过程“药透”的标准。在此限度条件下,直径 $1\text{ cm}$ 人参软化时间约为 $20\sim 22\text{ h}$ ,直径 $2\text{ cm}$ 人参软化时间约为 $40\sim 46\text{ h}$ 。直径 $2\text{ cm}$ 人参软化时间的个体间差异较大,在实际炮制过程中应适当增加取样,以提高“药透”判断的准确性。

采用 MATLAB R2016b(美国 MathWorks 公司)对人参软化过程进行动力学方程拟合,不同规格人参软化动力学方程拟合的 $R^2$ 和调整 $R^2$ 均达到 $96\%$ 以上,表明拟合效果较好,人参软化过程硬度和做功随时间变化的曲线符合一级动力学方程: $y = a \times \exp(-k \times x)$ 。人参软化过程硬度一级动力学方程拟合见表4,其中 $a_1$ 为 $0\text{ h}$ 初始硬度, $k_1$ 为硬度下降速率常数, $1\text{ cm}$ 直径人参 $a_1$ 为 $289.8\text{ N}$ ,速率常数 $k_1$ 为 $0.1494\text{ N}\cdot\text{h}^{-1}$ ;  $2\text{ cm}$ 直径人参 $a_1$ 为 $1227\text{ N}$ ,速率常数 $k_1$ 为 $0.1007\text{ N}\cdot\text{h}^{-1}$ , $1\text{ cm}$ 直径人参 $0\text{ h}$ 初始硬度 $a_1$ 明显小于 $2\text{ cm}$ 直径人参,但速率常数 $k_1$ 大于 $2\text{ cm}$ 人参。人参软化过程做功一级动力学方程拟合见表5,其中 $a_2$ 为 $0\text{ h}$ 初始硬度穿刺做功, $k_2$ 为做功下降速率常数, $1\text{ cm}$ 直径人参 $a_2$ 为 $288.6\text{ N}\cdot\text{mm}$ ,速率常数 $k_2$ 为 $0.09283\text{ N}\cdot\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ;  $2\text{ cm}$ 直径人参 $a_2$ 为 $1513\text{ N}\cdot\text{mm}$ ,速率常数 $k_2$ 为 $0.07046\text{ N}\cdot\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ , $1\text{ cm}$ 直径人参 $0\text{ h}$ 初始硬度穿刺做功 $a_2$ 明显小于 $2\text{ cm}$ 直径人参,但速率常数 $k_2$ 大于 $2\text{ cm}$ 人参,硬度下降的速度和做功减少速度随着硬度的下降而变慢。

### 3.3 人参软化过程吸水率测定

人参的吸水率随着时间的延长而增加,见图3。

表4 人参软化过程硬度一级动力学方程拟合

Table 4 Fitting the first-order kinetic equation of ginseng softening process hardness

响应变量	$a_1/\text{N}$	$k_1/\text{N}\cdot\text{h}^{-1}$	$R^2$	校正 $R^2$
1 cm 人参硬度	289.8	0.1494	0.9896	0.9885
2 cm 人参硬度	1227.0	0.1007	0.9928	0.9922

表5 人参软化过程做功一级动力学方程拟合

Table 5 Fitting the first-order kinetic equation of ginseng softening process puncture working energy

响应变量	$a_2/\text{N}\cdot\text{mm}$	$k_2/\text{N}\cdot\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$	$R^2$	校正 $R^2$
1 cm 人参做功	288.6	0.09283	0.9661	0.9624
2 cm 人参做功	1513.0	0.07046	0.9913	0.9906

直径 $1\text{ cm}$ 人参在 $0\sim 6\text{ h}$ 内吸水速率增加缓慢,在 $6\sim 28\text{ h}$ 吸水速率未发生变化(几乎呈直线),在 $28\sim 48\text{ h}$ 吸水速率逐渐下降,最后吸水率趋于稳定。直径 $2\text{ cm}$ 人参在 $0\sim 46\text{ h}$ 吸水速率未发生变化(几乎呈直线),在 $46\sim 52\text{ h}$ 吸水速率减低,并趋于稳定。

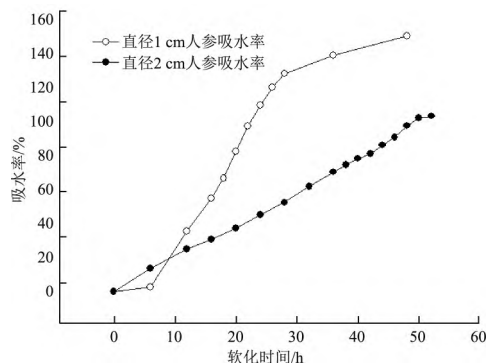


图3 直径 $1\text{ cm}$ 和直径 $2\text{ cm}$ 人参吸水率

Fig. 3 Water absorption rate of ginseng with  $1\text{ cm}$  and  $2\text{ cm}$  in diameter

以达到平均硬度 $<10\text{ N}$ 的时间为标准,见表6,直径1 cm的人参吸水率为97%,直径2 cm的人参吸水率为91%,此时人参已经润透,继续润制人参

仍然可以持续吸水膨胀,但长时间润制会导致药材“伤水”,有效成分损失,且吸水过多不利于人参切制及干燥。

表6 直径1 cm和直径2 cm人参软化过程吸水率

Table 6 Water absorption rate of ginseng softening process with a diameter of 1 cm and 2 cm

闷润时间/h	直径1 cm			直径2 cm		
	人参质量/g	吸水质量/g	吸水率/%	人参质量/g	吸水质量/g	吸水率/%
0	45.9	0	0	96.9	0	0
6	50.8	4.9	3	110.1	13.2	14
12	65.9	15.1	36	121.1	24.3	25
16	74.7	8.8	55	126.8	30.0	31
18	80.0	5.4	66	-	-	-
20	87.2	7.2	82	133.0	36.1	37
22	94.0	6.8	97	-	-	-
24	99.6	5.6	109	140.6	43.7	45
26	104.5	4.9	120	-	-	-
28	108.2	3.7	128	147.6	50.7	52
32	-	-	-	156.7	59.8	62
36	113.2	4.9	139	164.9	68.0	70
38	-	-	-	169.0	72.2	74
40	-	-	-	172.5	75.7	78
42	-	-	-	175.2	78.3	81
44	-	-	-	180.1	83.3	86
46	-	-	-	184.7	87.8	91
48	118.4	5.3	150	191.1	94.3	97
50	-	-	-	195.4	98.5	102
52	-	-	-	196.6	99.7	103

注:吸水率=(吸水后的质量-吸水前质量)/吸水前质量 $\times 100\%$ (表7同)。

此外,由于人参直径和质量等差异性,不同人参完全软化吸水率差异较大,人参末端较细支根处吸水较多,且在平均硬度 $<10\text{ N}$ 之前,已有单根人参和部位硬度 $<10\text{ N}$ ,因此吸水率范围不应过窄,吸水率70%~100%以作为“水尽”标准。每次室温和人参之间差异等也会导致人参润制时间发生变化,但“药透”时所需的穿刺力比较稳定,平均硬度 $<10\text{ N}$ ,吸水率70%~100%可作为“水尽”标准,为加水量提供参考。

中药材加水软化过程中,水分沿着植物细胞壁或微小空隙壁面进行缓慢流动或渗透,质地由硬变软。软化开始后吸水速率基本保持稳定;当药材内部水分接近饱和,吸水速率降低。药材体积越大,水分渗透时间越长,药材内部的空气还会阻碍水的流动或渗透,延长软化时间,而且含水量不均匀。传统认为药材内部各部分水分的渗透速率为零,即药材的各个部位含水量相同为“药透水

尽”,本实验发现药材软化完全后仍可继续缓慢吸水,即此时吸水速率大于零,若继续软化,药材中的有效成分开始由细胞内向闷润的水溶液中转移,导致有效成分减少。因此在润制过程中应避免长时间润制发生药材“伤水”。

#### 4 验证试验

选取直径1.5 cm人参4根按照2.1项下人参润制方法进行润制,穿刺深度选为70%,穿刺速度为 $30\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ,测定时间点下人参分别在前、中、后3个部位各选择一个穿刺点。验证结果见表7,当穿刺硬度 $<10\text{ N}$ ,直径1.5 cm人参软化所需时间为42~46 h,吸水率为59%~72%。当硬度 $<10\text{ N}$ 时,以传统弯曲、横切、手捏和纵切法进行软化程度检查,发现软化药材可折弯而不断,切开后无干心,内外湿度一致,证明药材已经完全软化,表明软化硬度判断阈值可靠。直径1.5 cm的人参软化时间接近2 cm的人参,提示不能单纯以直径大小来判断软

化时间,而以客观化评价指标硬度来判断软化时间和程度较为可靠。

表7 人参软化过程验证试验

Table 7 Verification test of ginseng softening process

软化 时间/h	硬度/N				人参质 量/g	吸水 量/g	吸水 率%
	J1	J2	J3	J4			
38	14.0	34.3	75.2	64.4	127.2	44.8	54
40	11.0	26.7	41.7	24.8	129.1	46.7	57
42	9.5	16.7	38.8	22.9	130.7	48.3	59
44	10.2	18.2	11.9	12.4	133.0	50.6	61
46	8.2	8.5	8.6	9.4	142.1	59.7	72

注: J1, J2, J3, J4 为不同人参。

## 5 结论

本研究采用质构仪针刺式压力附件,模拟人参润制软化过程中药材硬度在线监控。参数优选为穿刺深度为70%,穿刺速度 $30\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ,并选择前部、中部、后部3个穿刺点。考察了直径分别为1 cm和2 cm的人参软化过程中硬度和做功随时间变化的规律,人参润制过程硬度和做功变化符合一级动力学,不同直径人参软化所需时间差异较大,相同直径人参软化时间亦存在差异,直径2 cm的人参的软化时间个体间差异较大。结合经验判断方法,当穿刺硬度 $<10\text{ N}$ 时,不同直径人参均满足“药透”要求,可作为软化终点判断标准。采用针刺式压力传感器,有助于精确判断人参润制软化过程终点,减少有效成分损失,精准控制润制软化时间。研究结果为其他干燥根及根茎类药材软化过程动力学研究和过程智能监控提供参考<sup>[15]</sup>。

## [参考文献]

- [1] 陆兔林,胡昌江. 中药炮制学[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2014: 124.
- [2] 蔡宝昌. 中药炮制工程学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 41.
- [3] 杜小伟,闫海霞,范妙璇,等. 京、津、冀三地中药炮制规范比较研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2018, 25(6): 9.
- [4] 秦昆明,石芸,谈献和,等. 现代仪器分析技术在中药炮制机理研究中的应用[J]. 中国科学: 化学, 2010, 40(6): 668.
- [5] 中国药典. 一部[S]. 2015: 8.
- [6] 黄鑫,王妮,张娜,等. 基于神经化学分析研究炮制对人参和西洋参药性的影响[J]. 分析化学, 2019, 47(6): 957.
- [7] 张森,秦昆明,李伟东,等. 人参炮制过程中化学成分变化及机制研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(19): 3701.
- [8] 赵晋红. 人参的加工炮制及药理研究进展[J]. 山西中医, 2012, 28(3): 54.
- [9] 孙媛媛. 椴制人参炮制原理研究[D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2010.
- [10] 陈秀媛. 平性人参炮制工艺的研究[D]. 沈阳: 辽宁中医学院, 2004.
- [11] 王丽娜. 蜜制平性人参炮制工艺研究[D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2006.
- [12] MO L, CHEN J, WANG X. A novel experimental set up for in situ oral lubrication measurements [J]. Food Hydrocolloid, 2019, 95: 396.
- [13] VIDYARTHI S K, EL MASHAD H M, KHIR R, et al. Quasi-static mechanical properties of tomato peels produced from catalytic infrared and lye peeling[J]. J Food Eng, 2019, 254: 10.
- [14] WETCHAKAMA S, PRACHAYAWARAKORN S, SOPONRON-NARIT S. Change of mechanical properties related to starch gelatinization and moisture content of rice kernel during fluidized bed drying[J]. Dry Technol, 2019, 37(9): 1173.
- [15] 徐冰,史新元,罗赣,等. 中药工业大数据关键技术与应用[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(2): 221.

[责任编辑 孔晶晶]