FOOD & MACHINERY 食品与机械

DOI:10.13652/j.issn.1003－5788.2018.07.044

基于 S400 残烟机的烟丝回收工艺优化

Improvement of the cut tobacco recovery process of S400 machine

李成刚[1]　许克静[1]　王爱霞[1]　徐　珂[2]

LI Cheng-gang[1]　*XU Ke-jing*[1]　*WANG Ai-xia*[1]　*XU Ke*[2]

张婷婷[1]　袁岐山[1]

ZHANG Ting-ting[1]　*YUAN Qi-shan*[1]

(1. 河南中烟工业有限责任公司技术中心,河南 郑州　450001;
2. 中国烟草总公司郑州烟草职工进修学院,河南 郑州　450001)

(1. *China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou, Henan* 450001, *China*;
2. *China Tobacco Corporation Staff Training College, Zhengzhou, Henan* 450001, *China*)

摘要:为提高卷包车间残烟烟丝回收率,采用响应面试验设计,对 S400 残烟机处理回收残烟丝的关键工艺参数进行了优化。结果表明:① 带输送机频率、Ⅰ级风机频率、Ⅱ级风机频率等因素对烟丝回收率具有显著影响;② 最佳工艺条件为输送机频率 25 Hz,Ⅰ级风机频率 53.4 Hz,Ⅱ级风机频率 35 Hz;③ 工艺改进后,S400 残烟机烟丝回收率由 47.1% 提升到 56.1%,且回收烟丝整丝率没有显著变化,质量稳定。

关键词:残烟;烟丝;回收

Abstract: In order to improve the cut tobacco recovery efficiency of deposed cigarettes in its manufacturing department, the processing parameters of S400 tobacco recovery machine were optimized by using response surface methodology. The results indicated that belt conveyor speed, frequency of draught fan (Ⅰ) and (Ⅱ) were determined as the significant influencing factors for the tobacco recovery efficiency. The optimized parameters were improved as followed: belt conveyor frequency was 25 Hz; the draught fan (Ⅰ) frequency was 53.4 Hz; the draught fan (Ⅱ) frequency was 35 Hz. After improving, tobacco recovery efficiency was increased from 47.1% to 56.1%. Mereover no significant change on the long strands proportion of the recovered cut tobacco was found and a stable quality of it was obtained.

Keywords: deposed cigarettes; cut tobacco; recovery

卷烟生产是重要的食品加工过程,对国民经济具有重要作用。在烟支生产过程中,废烟的产生不可避免。为了提高烟丝的利用率,需要采用残烟回收设备对卷烟生产过程中产生的废烟进行回收。常用的残烟处理工艺有:湿纸法[1-3]、膨胀法[4-7]、切搓法[8]、剖切法[9-10]、风选法[11]。河南中烟工业有限责任公司黄金叶生产制造中心所采用的残烟处理机 S400 为意大利进口设备,属于风选法,自动化程度高、处理效率高。通过设备改造方法能提高残烟回收率[12-13],但往往需要高额的设备改造费用。残烟回收设备的输送速度、蒸汽量、风速等通常是影响残烟回收质量和效率的主要因素[14],且各因素之间相互影响。但目前关于残烟设备工艺参数优化的研究[10,14],通常忽略了工艺参数之间的交互作用,难以确定最佳工艺条件。在实际工艺生产中,一旦某个工艺参数发生偏移,其他参数难以做出有效的配合调整,适应性较差。河南中烟的 S400 残烟机自投入使用以来,经历数次工艺优化,仍存在烟丝回收率低、烟丝造碎偏高等问题,造成一定程度的浪费。为提高残烟回收质量和效率,本研究拟通过响应曲面试验设计,对 S400 残烟机的工艺参数进行优化处理,旨在充分考虑主要工艺参数间的交互作用,获得优化参数组合,以期提高烟丝回收率,减少浪费。

1　材料与方法

1.1　主要仪器与材料

残烟处理机:S400 型,意大利 GD 公司;

小地磅:SCS-2 V8 型,上海友中恒电子有限公司;

烟丝振动分选筛:YQ-2 型,郑州恒德通用机械有限公司;

电子天平:ED124S-0CE 型,德国 Sartorius 公司;

残烟:长度 84 mm,圆周 24.4 mm 的常规废弃烟支,重量为 0.9 g/支,由河南中烟工业有限责任公司黄金叶生产制造中心卷包车间收集。

作者简介:李成刚,男,河南中烟技术中心工程师。
通信作者:许克静(1988－),男,河南中烟技术中心工程师,博士。
E-mail: kj_xu@qq.com

收稿日期:2018-01-22

1.2 方法

1.2.1 残烟回收 卷包车间收集加工过程中的残次烟支，通过带输送机投入 S400 残烟回收机，先经蒸汽回潮预处理保证烟丝含水率适中，降低造碎；随后依次进入一级和二级风选系统，分离烟支辅材收集烟丝。S400 残烟回收设备的参数设定及采集可通过操作面板直接获得，主要采集参数有蒸汽压力、带输送机频率、Ⅰ级风机频率和Ⅱ级风机频率；烟丝及废料的称重通过小地磅或电子天平完成。

1.2.2 残烟回收率的计算 烟丝回收率按式(1)计算：

$$Y = \frac{A}{B} \times 100\% , \quad (1)$$

式中：

Y——烟丝回收率，%；

A——回收烟丝的重量，kg；

B——残烟中所含烟丝的重量，kg。

1.2.3 数据分析处理 采用 Minitab 16.1.0 统计软件对检测数据进行分析，中心复合设计坐标已将各因子代码化，相应的数据归一化处理由软件完成。

2 结果与讨论

2.1 响应面优化试验设计

应用 Minitab 软件，采用中心复合设计方法(Central Composite Design，CCD)，在前期单因素试验的基础上，对 S400 残烟回收效率的关键影响因子进行优化设计。对应的因素水平设计见表 1。

为了获得最佳的结果，制订了以调整蒸汽压力、带输送机频率、Ⅰ级风机频率、Ⅱ级风机频率的试验，通过电控柜设定系列参数。

试验设计及数据见表 2。

2.2 拟合选定模型

由表 3 可知，主效 P 值为 0.000，说明选定模型中主效应总体是显著的；弯曲 P 值只有 0.009，显示响应变量有明显的弯曲趋势。试验数据有明显的弯曲，表明进行的试验区域可能已经达到响应变量的最佳区域了。这时对响应变量单纯拟合一阶线性方程已不适用，需再补充些“星号点”，构成一个完整的响应曲面设计，拟合一个含有二阶项的方程以解决问题。在各方面条件与上次试验相同的情况下补做 12 次试验，数据见表 4。

2.3 建立中心复合序贯设计

利用 Minitab 创建中心复合序贯设计(Central composite circumscribed，CCC)见表 5。

表 1 试验因素及参数水平设置

Table 1 Experimental parameters and level setting

水平	A 蒸汽压力/ MPa	B 带输送机频率/ Hz	C Ⅰ级风机频率/ Hz	D Ⅱ级风机频率/ Hz
−1	0.30	30	40	40
0	0.35	35	45	45
1	0.40	40	50	50

表 2 试验数据

Table 2 Test data

运行序号	A	B	C	D	Y/ %
1	−1	−1	−1	1	50.2
2	−1	−1	1	1	52.5
3	0	0	0	0	53.2
4	1	1	1	−1	51.3
5	0	0	0	0	52.6
6	1	1	−1	−1	49.5
7	1	−1	−1	1	50.5
8	−1	1	1	1	50.2
9	−1	1	−1	−1	48.9
10	−1	−1	−1	−1	53.0
11	−1	1	1	−1	51.2
12	1	−1	−1	−1	53.5
13	−1	1	−1	1	47.6
14	1	−1	1	1	53.2
15	1	−1	1	−1	58.2
16	1	1	1	1	51.2
17	1	1	−1	1	48.3
18	−1	−1	1	−1	57.9
19	0	0	0	0	53.8

表 3 因子分析†

Table 3 Factors analysis

来源	自由度	Adj SS [a]	Adj MS [b]	F	P
模型	11	139.419	12.674 5	28.21	0.000
线性	4	121.498	30.374 4	67.61	0.000
A	1	1.103	1.102 5	2.45	0.161
B	1	59.290	59.290 0	131.97	0.000
C	1	36.603	36.602 5	81.47	0.000
D	1	24.502	24.502 5	54.54	0.000
双因子交互作用	6	12.238	2.039 6	4.54	0.034
AB	1	0.022	0.022 5	0.05	0.829
AC	1	0.000	0.000 0	0.00	1.000
AD	1	0.090	0.090 0	0.20	0.668
BC	1	1.562	1.562 5	3.48	0.104
BD	1	9.923	9.922 5	22.09	0.002
CD	1	0.640	0.640 0	1.42	0.272
弯曲	1	5.684	5.684 2	12.65	0.009
误差	7	3.145	0.449 3		
失拟	5	2.425	0.485 0	1.35	0.478
纯误差	2	0.720	0.360 0		
合计	18	142.564			

† S=0.670 288；$R\text{-}Sq$=97.79%；$R\text{-}Sq$(调整)=94.33%；$R\text{-}Sq$(预测)=81.45%；*a*. 调整后的偏差平方和；*b*. 调整后的平均偏差平方和。

由表 5 可知,模型 P 值为 0.000,说明模型是有效的;失拟 P 值为 0.303>0.05,说明模型没有失拟。多元全相关系数 $R\text{-}_{Sq}$为 96.94%,调整后的 $R\text{-}_{Sq}$为 94.26%,二者已很接近,说明拟合效果较好。因子蒸汽压力以及与蒸汽压力相关项对烟丝回收率的效应不显著,删减后重新拟合模型。

表 4　增补试验数据

Table 4　Supplementary test data

运行序	A/MPa	B/ Hz	C/ Hz	D/ Hz	Y/ %
20	0.25	35	45	45	53.2
21	0.45	35	45	45	53.5
22	0.35	25	45	45	55.3
23	0.35	45	45	45	49.5
24	0.35	35	35	45	48.2
25	0.35	35	55	45	54.2
26	0.35	35	45	35	53.7
27	0.35	35	45	55	48.6
28	0.35	35	45	45	52.6
29	0.35	35	45	45	52.8
30	0.35	35	45	45	52.2
31	0.35	35	45	45	52.5

表 5　中心复合序贯设计因子分析†

Table 5　Central composite circumscribed design factors analysis

来源	自由度	Adj SS [a]	Adj MS [b]	F	P
模型	14	192.375	13.741 1	36.18	0.000
线性	4	167.968	41.992 1	110.58	0.000
A	1	0.960	0.960 0	2.53	0.131
B	1	74.907	74.906 7	197.25	0.000
C	1	54.602	54.601 7	143.78	0.000
D	1	37.500	37.500 0	98.75	0.000
平方	4	12.169	3.042 3	8.01	0.001
A^2	1	0.182	0.181 9	0.48	0.499
B^2	1	0.711	0.711 5	1.87	0.190
C^2	1	5.991	5.991 5	15.78	0.001
D^2	1	6.323	6.323 2	16.65	0.001
双因子交互作用	6	12.238	2.039 6	5.37	0.003
AB	1	0.022	0.022 5	0.06	0.811
AC	1	0.000	0.000 0	0.00	1.000
AD	1	0.090	0.090 0	0.24	0.633
BC	1	1.562	1.562 5	4.11	0.060
BD	1	9.923	9.922 5	26.13	0.000
CD	1	0.640	0.640 0	1.69	0.213
误差	16	6.076	0.379 8		
失拟	10	4.388	0.438 8	1.56	0.303
纯误差	6	1.689	0.281 4		
合计	30	198.451			

† $S=0.616\ 242$;$R\text{-}_{Sq}=96.94\%$;$R\text{-}_{Sq}$(调整)$=94.26\%$;$R\text{-}_{Sq}$(预测)$=86.11\%$;*a*. 调整后的偏差平方和;*b*. 调整后的平均偏差平方和。

2.4　改进中心复合序贯设计

由表 6 可知,重新拟合选定模型,对应回归项的 P 值为 0.000(即<0.001),表明拒绝原假设,可以判定本模型有效。失拟项的 P 值为 0.329,远大于临界值 0.05,表明无法拒绝原假设,可判定删除蒸汽压力一项后,不会造成失拟现象。

表 6　改进中心复合序贯设计因子分析†

Table 6　Improved central composite circumscribed design factors analysis

来源	自由度	Adj SS [a]	Adj MS [b]	F	P
模型	7	189.681	27.097 3	71.07	0.000
线性	3	167.008	55.669 4	146.00	0.000
B	1	74.907	74.906 7	196.46	0.000
C	1	54.602	54.601 7	143.20	0.000
D	1	37.500	37.500 0	98.35	0.000
平方	2	11.188	5.594 0	14.67	0.000
C^2	1	5.918	5.917 9	15.52	0.001
D^2	1	6.251	6.251 1	16.39	0.000
双因子交互作用	2	11.485	5.742 5	15.06	0.000
BC	1	1.562	1.562 5	4.10	0.055
BD	1	9.922	9.922 5	26.02	0.000
误差	23	8.770	0.381 3		
失拟	17	7.081	0.416 5	1.48	0.329
纯误差	6	1.689	0.281 4		
合计	30	198.451			

† $S=0.322\ 0$;$R\text{-}_{Sq}=95.58\%$;$R\text{-}_{Sq}$(调整)$=94.24\%$;$R\text{-}_{Sq}$(预测)$=91.99\%$;*a*. 调整后的偏差平方和;*b*. 调整后的平均后的偏差平方和。

拟合得到的回归方程为:

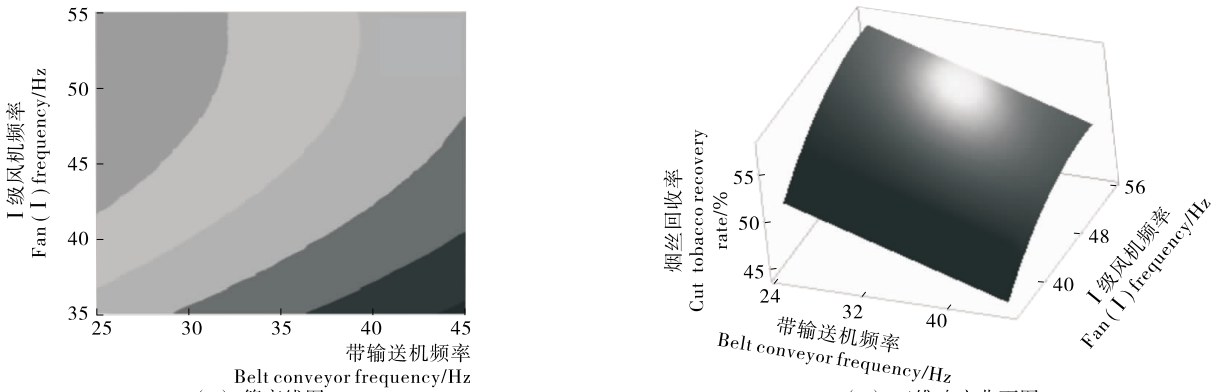
$$Y=18.757\ 5-1.208\ 33B+2.360\ 03C+0.313\ 365D-0.018\ 009\ 6C^2-0.018\ 509\ 6D^2-0.012\ 5BC+0.031\ 5BD。\quad(2)$$

2.5　响应曲面及等值线图的分析

根据以上分析,利用响应曲面法分析带输送机频率、Ⅰ级风机频率和Ⅱ级风机频率对烟丝回收率的影响,相应的等高线图和响应曲面见图 1~3。

从图 1 可以看出,当带输送频率不变的情况下,随着Ⅰ级风机频率增大,相应的烟丝回收率出现一定程度的提高。同时当带输送频率处于较低水平时,Ⅰ级风机频率越大,越有利于烟丝回收。说明在烟丝处理量较低的情况下,较大的Ⅰ级风机频率有利于烟丝与卷烟纸和滤棒的分离。

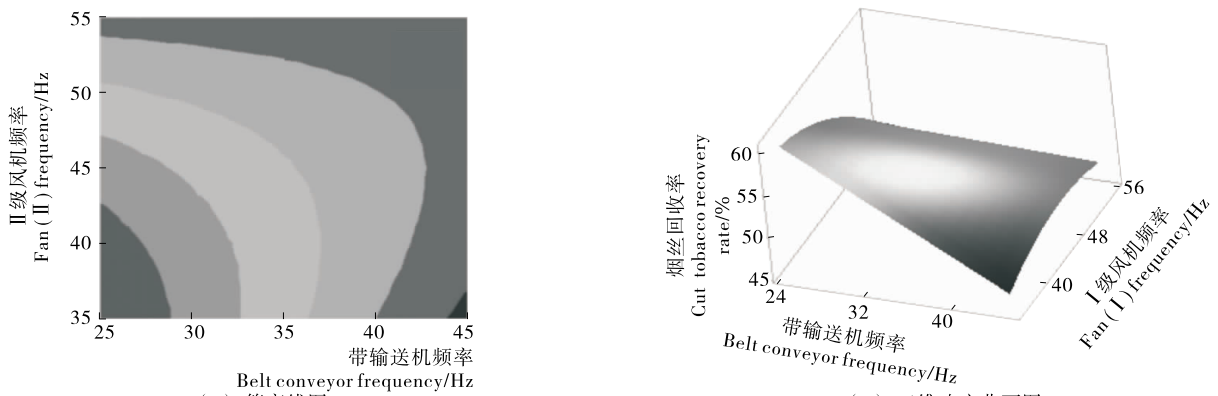
从图 2 可以看出,当带输送频率不变的情况下,Ⅱ级风机频率较小时,有利于烟丝回收。同时说明当Ⅰ级和Ⅱ级风机维持不变时,带输送机频率取较低值,有利于残烟回收率的提高。



（a）等高线图　　（b）三维响应曲面图

图 1　带输送机频率和Ⅰ级风机频率对残烟回收率交互影响

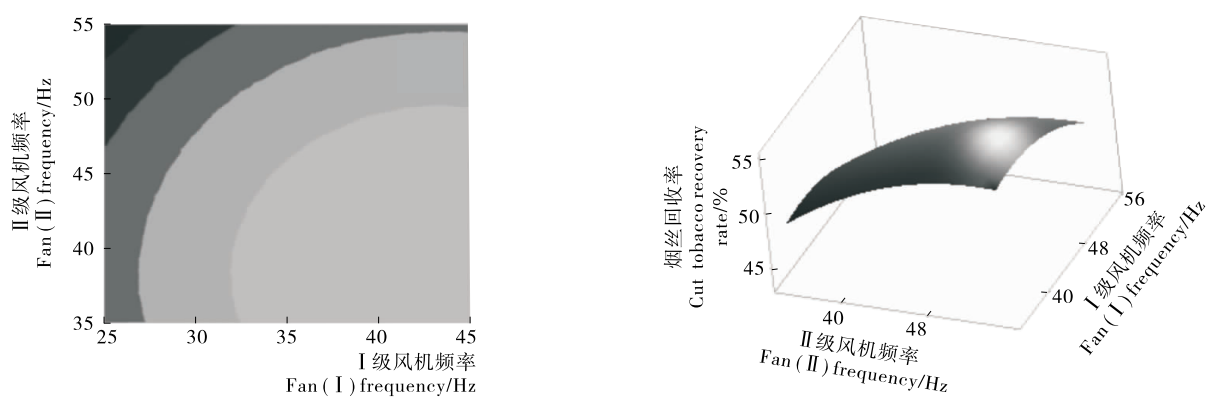
Figure 1　Interaction between the frequency of belt conveyor and the frequency of fan (Ⅰ) on the recovery rate of deposed cigarettes



（a）等高线图　　（b）三维响应曲面图

图 2　带输送机频率和Ⅱ级风机频率对残烟回收率交互影响

Figure 2　Interaction between the frequency of belt conveyor and the frequency of Ⅱ grade fan on the recovery rate of deposed cigarettes



（a）等高线图　　（b）三维响应曲面图

图 3　Ⅰ级风机频率和Ⅱ级风机频率对残烟回收率交互影响

Figure 3　Interaction between the frequency of Ⅰ grade fan and Ⅱ grade fan on the recovery rate of deposed cigarettes

从图 3 可以看出，当带输送频率不变的情况下，Ⅰ级风机频率和Ⅱ级风机频率对烟丝回收率的作用相反。表现为较大Ⅰ级风机频率有利于烟丝回收率的提高，而较大的Ⅱ级风机频率不利于烟丝回收率的提高。可能是Ⅰ级风机较大时，有利于烟丝与卷烟材料的分离；而Ⅱ级风机频率较大时，容易造成卷烟材料与烟丝相互混杂，不利于分离。

通过响应变量优化器优化可以得出最佳的工艺参数，当带输送机频率取 25 Hz，Ⅰ级风机频率取 53.4 Hz，Ⅱ级风机频率取 35 Hz 时，预测烟丝回收率最大值为 63.15%，优化后实测烟丝回收率为 61.34%，二者较为接近。

将上述优化后的工艺参数应用于实际生产中，取得了良好的效果。参数优化前，S400 残烟机长期稳定运行的烟丝

回收率平均值为 47.1%；优化后，设备稳定运行的烟丝回收率平均值提升为 56.1%，同时整丝回收率基本不变，设备运转稳定。长期稳定运行的烟丝平均回收率低于短期试验中最优结果，说明长期运行工况更为复杂，可能仍有其他影响因素需要综合考察，该工艺过程优化仍存在进一步改进的空间。

3　结论

本研究通过响应曲面试验设计对 S400 残烟回收工艺进行了优化，研究了主要工艺参数的影响，充分考虑各因素之间的交互作用，结果表明：① 在考察工艺条件范围内，蒸汽压力对烟丝回收率的影响不显著；② 通过响应变量优化器优化得到的主要工艺参数的优化组合为：带输送机频率 25 Hz，Ⅰ级风机频率 53.4 Hz，Ⅱ级风机频率 35 Hz；③ 应用优化工艺参数后残烟机稳定运行的烟丝回收率显著改善，由 47.1%提高到 56.1%。上述研究结果对残烟处理机 S400 的工艺优化提供了重要依据，利于进一步改进卷烟加工过程，促进企业降本增效。但应用优化参数后的烟丝回收率略低于理论预测值，说明该工艺过程优化可能仍存在进一步改进的空间。

参考文献

[1] 马小明. MS-2 型残烟处理机[J]. 烟草科技，1995(6)：23-25.

[2] 王慧，丘琪，华一昆，等. TR400 型残次烟支处理机的工艺改进[J]. 烟草科技，2001(7)：10-11.

[3] 罗光志. 水湿残烟处理机：中国，92226995.5[P]. 1993-05-05.

[4] 黄毅华. HYT4 型残次烟处理生产线[J]. 轻工机械，1992(1)：57-58.

[5] 贾玉鑫，贾磊. 膨胀式残烟处理机的改进与提高[C]// 烟草机械学术研讨会征集论文汇编：下册. 北京：中国烟草学会，2006：897-899.

[6] 宋国华. 一种新型的残烟处理工艺与设备[J]. 烟草科技，1991(6)：8-9.

[7] 冯钢柱，盛守义. 高温蒸汽膨胀式处理残烟的尝试[J]. 烟草科技，1995(2)：6-7.

[8] 王宏明，周雁麓. 一种新型的残次烟支纸丝分离装置[J]. 机械设计，2000(1)：42-43.

[9] 刘莉莉. 新型残次烟支处理机的研制[J]. 轻工机械，2003(2)：73-75.

[10] 娄琦，李爱景. 降低 FY1115 残烟处理机纸中含丝率[J]. 山东工业技术，2017，18(23)：28.

[11] 张昌柱. S200 型残烟处理机除尘系统的改进[J]. 中国设备工程，2007(1)：70-72.

[12] 蔡培良，李明，杨剑锋，等. PROTOS-M5 型卷接机组残烟自动回收分类装置的设计[J]. 烟草科技，2017，50(4)：88-92.

[13] 陈平. 气吹式残烟支烟丝回收机的设计研究[J]. 机械工程师，2013(8)：38-39.

[14] 王汉岭. 提高 S200 型废烟回收机回收细长烟支残烟效率[J]. 工业技术，2012(11)：100-101.

（上接第 157 页）

[12] BRITO A S，ARIMATÉIA D S，SOUZA L R，et al. Anti-inflammatory properties of a heparin-like glycosaminoglycan with reduced anti-coagulant activity isolated from a marine shrimp[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry，2008，16(21)：9 588-9 595.

[13] ALVES M G D C F，NOBRE L T D B，MOURA G E D D D，et al. Effects of heparinoids from algae on hemostasis and their action on the cycle cell[J]. Biomedicine & Preventive Nutrition，2012，2(3)：163-168.

[14] 熊双丽，金征宇. 硫酸化糖胺聚糖的简易分光光度测定法[J]. 光谱实验室，2005，22(6)：1 294-1 297.

[15] 孙诗清，孙永军，张儒. 生物分离实验技术[M]. 北京：北京理工大学出版社，2017：13.

[16] 张晓娟，熊双丽，周涛. 肝素钠效价测定方法的筛选[J]. 食品工业科技，2014，35(12)：66-69.

[17] BITTER T，MUIR H M，陈祥娥. 一种改进的糖醛酸咔唑反应[J]. 食品与药品，2010，12(3)：147-149.

[18] WAGNER W D. Amore sensitive assay discriminatinggalactosamine and glucosamine in mixture[J]. Analytical Biochemistry，1979，94(2)：394-396.

[19] DODGSON K S，PRICE R G. A note on the determination of the estersulphate content of sulphated polysaccharides[J]. Biochemical Journal，1962，84(1)：106.

[20] 上官新晨，吴少福，蒋艳，等. 不同浓度中性盐、醇溶液对籽粒苋蛋白质溶解度影响研究[J]. 江西农业大学学报，2000，22(5)：76-78.

[21] ARUMUGAM M，SHANMUGAM A. Extraction of heparin and heparin-like substance from marine mesogastropod mollusc Turritella attenuata (Lamarck，1779)[J]. Indian Journal of Experimental Biology，2004，42(5)：529.

[22] BALAMURUGAN K，NAGAR A. Isolation and Identification of Heparin like Substances from the body Tissue of Conus musicus[J]. International Journal of Pharmtech Research，2009，1(4)：1 650-1 653.

[23] 河北常山生化药业股份有限公司. 肝素钠下脚料制备类肝素工艺：中国，201610598231.6[P]. 2016-11-23.

[24] 杭州惠顺生物科技有限公司. 一种从肝素副产物废蛋白中分离类肝素的方法：中国，201510394022.5[P]. 2015-11-11.

[25] OPOKU G，QIU Xiang-dong，DOCTOR V. Effect of oversulfation on the chemical and biological properties of kappa carrageenan[J]. Carbohydrate Polymers，2006，65(2)：134-138.

[26] 文丹丹. 岩藻糖化硫酸软骨素抗凝作用机制及构效关系研究[D]. 广州：中山大学，2012：23-26.

[27] SAYARI N，BALTI R，MANSOUR M B，et al. Anticoagulant properties andcytotoxic effect against HCT116 human colon cell line of sulfated glycosaminoglycans isolated from the Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) shell[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy，2016，80：322-330.

[28] ANDRADE G P，LIMA M A，DE SOUZA JUNIOR A A，et al. A heparin-like compound isolated from a marine crab rich in glucuronic acid 2-*O*-sulfate presents low anticoagulant activity[J]. Carbohydrate Polymers，2013，94(1)：647-654.

[29] GONZALES J N，KIM K，ZEMSKOVA M A，et al. Low anticoagulant heparin blocks thrombin-induced endothelial permeability in a PAR-dependent manner[J]. Vascular Pharmacology，2014，62(2)：63.