

姜小苓,张强涛,田红玉,等. 面团流变学特性分析方法比较及其主要参数相关性分析[J]. 江苏农业科学,2013,41(7):257-261.

面团流变学特性分析方法比较及其主要参数相关性分析

姜小苓¹, 张强涛², 田红玉², 于红彩¹, 茹振钢¹

(1. 河南科技学院小麦中心, 河南新乡 453003; 2. 中粮(新乡)小麦有限公司, 河南新乡 453000)

摘要:选用 8 个筋力不同的小麦品种(系)为试验材料,分析研究微型粉质仪、Brabender 粉质仪、东方孚德粉质仪, Brabender 拉伸仪、东方孚德拉伸仪以及揉混仪测试参数间的精确度和相关性。结果表明:3 种粉质仪的参数间均存在极显著正相关关系,2 种拉伸仪的参数间也存在极显著正相关关系;粉质仪、拉伸仪和揉混仪测定的主要参数间存在极显著相关性,其中粉质仪测定的形成时间、稳定时间,拉伸仪测定的拉伸曲线面积、最大拉伸阻力,揉混仪测定的峰值面积、尾高和 8 min 尾高等各指标间呈极显著或显著正相关。微型粉质仪(4 g)可以用来判断小麦材料的品质特性,以满足育种早期世代材料量少的科研需求。

关键词:小麦;面团流变学;粉质仪;拉伸仪;揉混仪

中图分类号: TS211.2;S512 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)07-0257-04

面团流变学特性是小麦品质的主要指标之一,是小麦面粉加水面团耐揉性和黏弹性的综合指标^[1],是目前国内育种和品质检测单位的首要分析指标,决定着面包、馒头、面条等最终产品的加工品质^[2-7],可以给小麦粉的分类和应用提供一个实际的、科学的依据。目前国内分析面团流变学特性的仪器主要有德国 Brabender 公司生产的粉质仪、拉伸仪,美国 National 公司生产的揉混仪,北京东方孚德技术发展中心的粉质仪、拉伸仪。近几年瑞典 Perten 公司推出的全自动微型粉质仪 Micro-dough lab 也可用于测定面粉吸水率、形成时间、稳定时间等面团流变学指标,该仪器具有用量少(4 g)、操作简便等优点,适用于育种早期世代材料的品质筛选,但在国内使用得较少。

有关 Brabender 粉质仪、拉伸仪以及 National 揉混仪品质指标之间相关关系的研究,前人已有报道。刘艳玲等以 27 个筋力不同的小麦品种(系)为材料研究了 Brabender 粉质仪、拉伸仪以及 National 揉混仪指标之间的相关性^[2]。申小勇等用 241 份材料研究了这 3 种仪器指标间的相关性^[8]。魏益民等以 3 种不同筋力的面粉标准样品为材料,以不同实验室的 17 台粉质仪和 11 台拉伸仪(包括 Brabender 和东方孚德公司生产的仪器)为对比仪器,分析研究了不同实验室的粉质仪和拉伸仪在测定面团流变学特性方面的准确度和精确度^[9]。然而关于 Brabender 粉质仪、拉伸仪、National 揉混仪、东方孚德粉质仪、拉伸仪以及 Perten 微型粉质仪品质指标间相关关系的研究尚未见报道。因此,本研究以 8 个不同筋力的小麦品种(系)为试验材料,分析研究了 6 种仪器测定的粉质参数、拉伸参数以及揉混参数间的相关关系,旨在为我国小麦品质分析检

测、小麦育种工作以及品质仪器的利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用 8 个小麦品种(系),其中 02-1、APH、DNS、979、济南 17 为强筋小麦,郑麦 366 为中强筋小麦,矮抗 58 为中筋小麦,PIN1 为弱筋小麦,以上材料均由中粮(新乡)小麦有限公司和河南科技学院小麦中心提供。

1.2 试验方法

1.2.1 磨粉 磨粉用的仪器为试验磨粉机 LRMM8040-3-D(江苏无锡),出粉率 65% 左右。

1.2.2 水分的测定 面粉水分的测定依据 GB/T 21305—2007《谷物及谷物制品水分的测定 常规法》/ISO712:1998。

1.2.3 面团流变学指标测定 (1)粉质参数。分别用 4 g 微型粉质仪(Micro-dough lab,瑞典 Perten 公司生产)、50 g 粉质仪(820604,德国 Brabender 公司生产)、300 g 粉质仪(JFZD,北京东孚久恒仪器技术有限公司)测定面团的吸水率、形成时间和稳定时间等粉质参数,方法参照 GB/T 14614—2006《小麦粉

面团的物理特性 吸水量和流变学特性的测定 粉质仪法》/ISO 5530-2:1997。(2)拉伸参数。分别用 Brabender Extensograph-E 型电子式拉伸仪和 JMLD150 面团拉伸仪(北京东孚久恒仪器技术有限公司)测定拉伸曲线面积、延伸度和最大拉伸阻力等拉伸参数,方法参照 GB/T 14615—2006《小麦粉面团的物理特性 流变学特性的测定 拉伸仪法》/ISO 5530-2:1997。(3)揉混参数。用 National 10 g 揉混仪测定和面时间、峰值面积、峰高、尾高和 8 min 尾高等揉混参数,方法参照国际标准 AACC-08-01《Ash-Basic Method》。

1.3 数据分析

试验数据均为 2 次重复的平均值,且均由同一人完成。采用 SPSS 数据处理软件和 Excel 系统进行分析。

2 结果与分析

2.1 面团流变学主要指标变异

由表 1 可以看出,在粉质仪参数中,面团吸水率的平均值

收稿日期:2012-12-17

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2011BAD07B02);河南省重大科技专项(编号:111100110100);河南科技学院高层次人才科研启动基金(编号:201010610004)。

作者简介:姜小苓(1982—),女,山东泰安人,博士,讲师,从事小麦营养与品质育种研究与教学工作。E-mail:xiao_ling_jiang@163.com。
通信作者:茹振钢,教授,硕士生导师。E-mail:rzgh58@163.com。

为 63.1%，变幅最小(59.4%~69.8%)，变异系数也最小，仅为 5.4%；面团形成时间平均为 6.1 min，变幅较大，为 3.2~11.3 min，变异系数为 53.4%；面团稳定时间的平均值为 12.0 min，变幅为 1.7~21.5 min，变异系数高达 65.2%，说明品种间差异较大；弱化度的平均值为 44.4 BU，变幅较大，为 12.5~111.2 BU，变异系数最大(87.9%)。

在拉伸仪的参数中，拉伸曲线面积平均为 114.9 cm²，变异幅度较大(45.0~191.5 cm²)，变异系数为 42.1%；延伸度

平均为 143.0 mm，变异幅度较小，为 108.5~174.5 mm，变异系数也较小，只有 14.9%；最大拉伸阻力平均为 642.0 EU，变异幅度较大，为 198.5~1115.0 EU，变异系数较高，达 42.4%。

在揉混仪参数中，和面时间和峰值面积的变异系数较大，分别为 34.1%、30.9%，说明品种间的变异较大；峰高、尾高和 8 min 尾高的变异系数较小，分别为 12.0%、10.9%、11.5%，说明品种间的变异比较小。

表 1 参试材料面团流变学指标的特征表现

指标	粉质仪参数				拉伸仪参数			揉混仪参数				
	面团吸水率(%)	面团形成时间(min)	面团稳定时间(min)	弱化度(BU)	拉伸曲线面积(cm ²)	延伸度(mm)	最大拉伸阻力(EU)	和面时间(min)	峰值高度(%)	峰值面积(%·TQ·min)	尾高(%)	8 min 尾高(%)
平均值	63.1	6.1	12.0	44.4	114.9	143.0	642.0	4.1	47	144.1	34.9	37.2
标准差	3.4	3.2	7.8	39.0	48.4	21.3	272.3	1.4	5.6	44.6	3.8	4.3
变幅	59.4~69.8	3.2~11.3	1.7~21.5	12.5~111.2	45.0~191.5	108.5~174.5	198.5~1115.0	1.5~6.0	38.1~56.9	56.0~207.3	29.4~40.7	30.7~43.6
变异系数	5.4%	53.4%	65.2%	87.9%	42.1%	14.9%	42.4%	34.1%	12.0%	30.9%	10.9%	11.5%

2.2 3 种粉质仪测定结果的比较

分别取 3 种粉质仪测定结果的平均值，计算每个参试材料的变异系数，用来表示其准确度，变异系数越小，说明 3 种仪器测定结果间的差异越小，也就是结果的精确度越高；反之，说明结果的精确度越低。由表 2 可以看出，吸水率的变异系数最小，平均仅为 1.8%；面团形成时间的变异系数最大，每个参试材料的变异系数均大于 25.0%，平均为 40.0%，说明 3 个仪器的测定结果间差异较大；面团稳定时间的变异系数也较小，但参试材料间的差异较大，其中弱筋小麦 PIN1 的变异系数最大，为 24.1%，说明不同筋力的小麦对仪器结果间的精确度也有影响；弱化度的变异系数在不同参试材料间的变化幅度较大，为 2.5%~28.2%，说明弱化度的测定结果较不稳定。

表 2 3 种粉质仪测定结果的精确度

小麦材料	变异系数(%)			
	吸水率	面团形成时间	面团稳定时间	弱化度
02-1	1.4	48.6	10.4	26.7
DNS	1.7	28.7	5.2	28.2
济南 17	3.4	39.8	3.9	2.5
西农 979	2.9	60.3	8.3	18.0
郑麦 366	2.1	36.4	4.5	24.8
APH	0.4	26.2	17.3	25.2
矮抗 58	0.9	33.1	11.7	7.1
PIN1	1.8	46.5	24.1	18.7
平均值	1.8	40.0	10.7	18.9

以 8 个参试材料在 3 种粉质仪上测定结果的平均值作折线图(图 1)，可表示 3 种粉质仪测定结果的变化趋势。由图 1

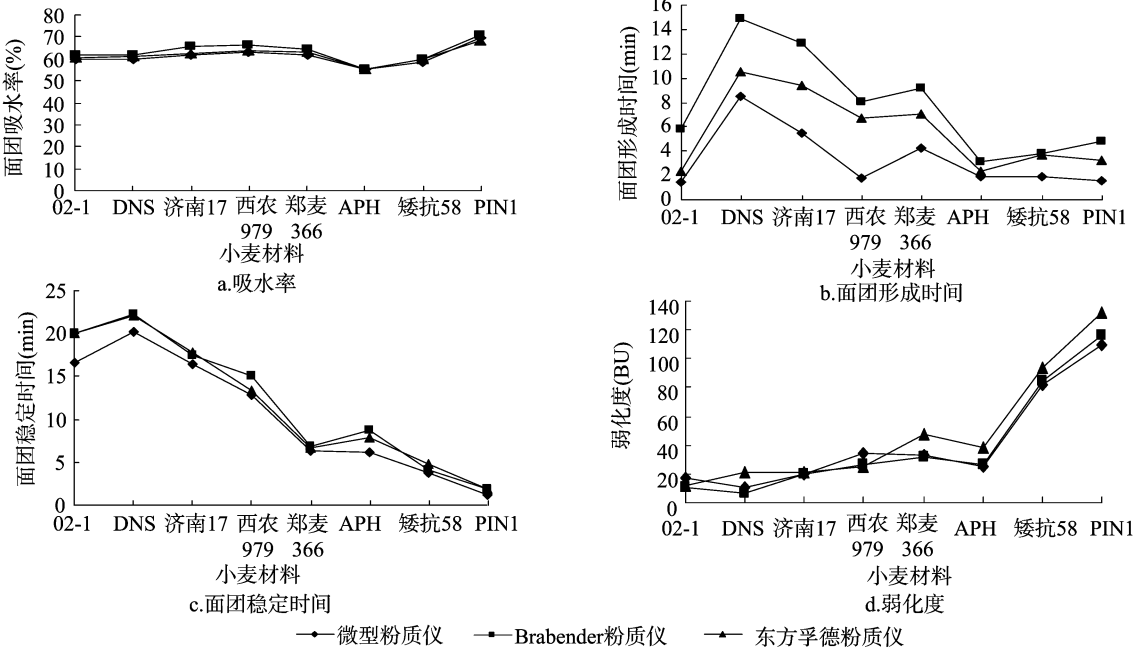


图 1 3 种粉质仪测定结果的变化趋势图

可以看出,3 种仪器测定的面团粉质参数的变化趋势基本一致,但每个材料的参数值之间有差异。用 Brabender 粉质仪测定的 8 个材料的面团吸水率和形成时间均最高,东方孚德粉质仪的次之,微型粉质仪的测定值最低。3 个仪器测定的面团稳定时间和弱化度没有明显的规律性,但 8 个材料测定值的变化趋势基本一致。3 种仪器测定的面团吸水率之间吻合度最好,面团形成时间之间的差异最大。

通过 3 种粉质仪参数间的相关性分析结果(表 3)可知,3 种粉质仪测定的吸水率、形成时间、稳定时间和弱化度等 4 个参数间的相关性均达到极显著正相关,其中吸水率间的相关系数最大,均大于 0.998;面团形成时间的相关性最低,但也均达到了极显著正相关水平。说明 3 种粉质仪都可用于评价面团的筋力、耐搅性,可以准确地评价和确定面粉的品质和适用范围。

表 3 3 种粉质仪参数间的相关性

指标	相关系数											
	吸水率 I	吸水率 II	吸水率 III	形成时间 I	形成时间 II	形成时间 III	稳定时间 I	稳定时间 II	稳定时间 III	弱化度 I	弱化度 II	弱化度 III
吸水率 I	1.000											
吸水率 II	0.998 **	1.000										
吸水率 III	0.999 **	0.999 **	1.000									
形成时间 I	-0.107	-0.085	-0.084	1.000								
形成时间 II	0.240	0.277	0.264	0.867 **	1.000							
形成时间 III	-0.022	0.018	0.001	0.885 **	0.928 **	1.000						
稳定时间 I	0.121	0.150	0.144	0.587	0.755 *	0.595	1.000					
稳定时间 II	0.123	0.149	0.145	0.514	0.684 *	0.507	0.993 **	1.000				
稳定时间 III	0.071	0.097	0.094	0.552	0.691 *	0.520	0.993 **	0.994 **	1.000			
弱化度 I	0.408	0.384	0.385	-0.499	-0.442	-0.443	-0.705 *	-0.719 *	-0.721 *	1.000		
弱化度 II	0.363	0.337	0.339	-0.467	-0.448	-0.436	-0.737 *	-0.755 *	-0.751 *	0.995 **	1.000	
弱化度 III	0.394	0.365	0.371	-0.400	-0.411	-0.413	-0.743 *	-0.761 *	-0.757 *	0.978 **	0.988 **	1.000

注:数据后“*”、“**”分别表示显著相关、极显著相关。I 表示微型粉质仪的测定结果,II 表示 Brabender 粉质仪的测定结果,III 表示东方孚德粉质仪的测定结果。表 4、表 5 同。

2.3 2 种拉伸仪的测定结果比较

以 8 个参试材料在 2 种拉伸仪上测定结果的平均值作折线图(图 2),表示 2 种仪器测定结果的变化趋势。由图 2 可以看出,2 种仪器所测面团延伸度的变化趋势基本一致,说明延伸度在 2 个仪器间的稳定性较好;2 种仪器所测的拉伸曲线面积和最大拉伸阻力的变化趋势也基本一致,但稍有差异,说明拉伸曲线面积和最大拉伸阻力在不同仪器间的稳定性没有延伸度好,其中 Brabender 拉伸仪测定的最大拉伸曲线面积大都高于东方孚德的测定值。

通过 2 种拉伸仪参数间相关分析(表 4)可看出,2 种拉伸仪所测定的拉伸曲线面积、延伸度和最大拉伸阻力等 3 个拉伸参数间的相关性均达到极显著正相关水平,其中拉伸曲线面积的相关系数为 0.987,延伸度的相关系数为 0.920,最大拉伸阻力间的相关系数为 0.975。以上结果说明,2 种拉伸仪的拉伸指标均可以用来评价面团的强度、弹性和延伸性,并可以准确地评价面粉的品质状况。

2.4 面团流变学指标间的相关性分析

用 Brabender 粉质仪、Brabender 拉伸仪和揉混仪测定参数的平均值分析各面团流变学指标间的相关性(表 5)。由表 5 可以看出,粉质仪测定的面团形成时间与拉伸仪测定的拉伸曲线面积、揉混仪测定的尾高和 8 min 尾高之间均呈极显著正相关;面团稳定时间与拉伸仪测定的拉伸曲线面积、最大拉伸阻力和揉混仪测定的峰面积、尾高和 8 min 尾高之间呈极显著正相关,与和面时间呈显著正相关。

拉伸仪测定的拉伸面积与最大拉伸阻力之间,与粉质仪测定的面团形成时间、稳定时间和揉混仪测定的尾高、8 min 尾高之间呈极显著正相关;最大拉伸阻力与粉质仪测定的面

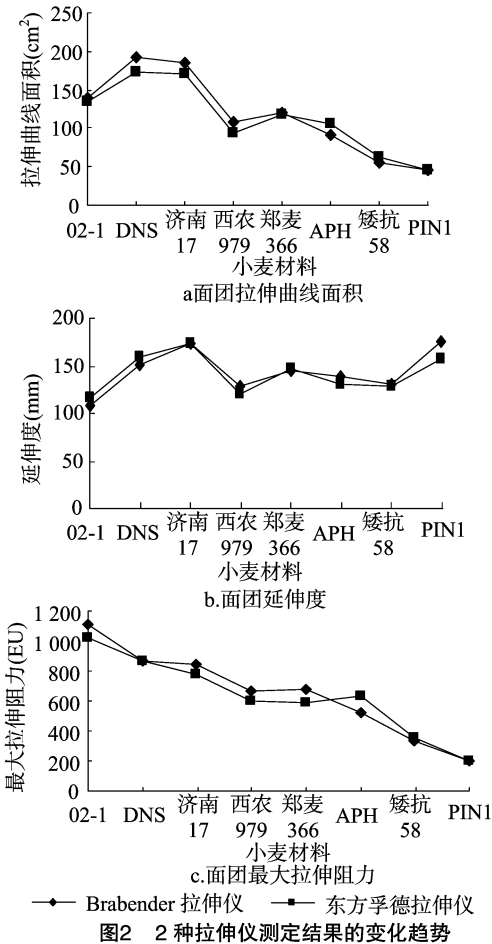


图2 2 种拉伸仪测定结果的变化趋势

表 4 2 种拉伸仪参数间的相关性

参数	相关系数					
	拉伸曲线面积Ⅱ	拉伸曲线面积Ⅲ	延伸度Ⅱ	延伸度Ⅲ	最大拉伸阻力Ⅱ	最大拉伸阻力Ⅲ
拉伸曲线面积Ⅱ	1.000					
拉伸曲线面积Ⅲ	0.987 **	1.000				
延伸度Ⅱ	0.068	0.029	1.000			
延伸度Ⅲ	0.397	0.367	0.920 **	1.000		
最大拉伸阻力Ⅱ	0.842 **	0.845 **	-0.396	-0.080	1.000	
最大拉伸阻力Ⅲ	0.838 **	0.865 **	-0.414	-0.099	0.975 **	1.000

注:Ⅱ表示 Brabender 粉质仪的测定结果,Ⅲ表示东方孚德粉质仪测定结果。

表 5 面团流变学指标间的相关性

参数	相关系数											
	吸水率	形成时间	稳定时间	弱化度	拉伸曲线面积	延伸度	最大拉伸阻力	和面时间	峰高	峰面积	尾高	8 min 尾高
吸水率	1.000											
形成时间	0.259	1.000										
稳定时间	-0.142	0.671	1.000									
弱化度	0.412	-0.539	-0.845 **	1.000								
拉伸曲线面积	-0.078	0.867 **	0.889 **	-0.836 **	1.000							
延伸度	0.537	0.370	-0.245	0.366	0.068	1.000						
最大拉伸阻力	-0.191	0.536	0.903 **	-0.884 **	0.842 **	-0.396	1.000					
和面时间	-0.434	0.337	0.736 *	-0.812 *	0.538	-0.560	0.619	1.000				
峰高	0.559	0.523	0.305	-0.052	0.483	0.466	0.385	-0.383	1.000			
峰面积	-0.360	0.521	0.843 **	-0.879 **	0.703	-0.478	0.738 *	0.972 **	-0.182	1.000		
尾高	-0.047	0.866 **	0.891 **	-0.796 *	0.958 **	0.111	0.748 *	0.614	0.386	0.756 *	1.000	
8 min 尾高	-0.064	0.853 **	0.905 **	-0.817 *	0.945 **	0.051	0.754 *	0.678	0.321	0.807 *	0.996 **	1.000

团稳定时间之间呈极显著相关,与揉混仪测定的峰面积、尾高、8 min 尾高之间均呈显著正相关。

揉混仪测定的和面时间与峰面积之间、尾高和 8 min 尾高之间呈极显著正相关,峰面积与尾高和 8 min 尾高之间、和面时间与粉质仪测定的稳定时间之间均呈显著正相关;峰面积与粉质仪测定的稳定时间之间呈极显著正相关,与拉伸仪测定的最大拉伸阻力之间呈显著正相关;尾高、8 min 尾高与粉质仪测定的形成时间、稳定时间及拉伸仪测定的拉伸曲线面积之间均呈极显著正相关,与最大拉伸阻力、峰面积间呈显著正相关。

此外,粉质仪测定的吸水率与其他各流变学指标间的相关性均不显著,弱化度与拉伸仪测定的拉伸曲线面积、最大拉伸阻力和揉混仪测定的峰面积之间均呈极显著负相关,与和面时间、尾高和 8 min 尾高之间呈显著负相关;拉伸仪测定的延伸度与其他各流变学指标间的相关性均不显著;揉混仪测定的峰高与其他各流变学指标间的相关性也未达到显著水平。

3 结论与讨论

目前,国内普遍采用的粉质仪是 Brabender 粉质仪和东方孚德粉质仪,而微型粉质仪的用户较少。本研究对 3 种粉质仪的测试参数进行比较后发现,3 种仪器测定的面团吸水率、面团形成时间、面团稳定时间和弱化度等 4 个粉质参数均存在极显著正相关性,说明微型粉质仪可用于准确评价小麦面团的品质。同时,由于微型粉质仪所需样品量少(4 g),操作简便,特别适用于在育种研究初期各项粉质指标的测定。

此外,Brabender 拉伸仪和东方孚德拉伸仪测定的拉伸曲线面积、延伸度和最大拉伸阻力等指标间均存在极显著正相关关系,说明 2 种拉伸仪均可以用来评价小麦面团的拉伸性能。

国际上常用检测面团流变学特性的粉质仪、揉混仪和拉伸仪已在小麦育种、小麦专用粉加工及面食品制作等方面起到了重要的作用^[10-11]。其中,粉质仪测定的主要是加水生面团的流变学特性,拉伸仪测定的主要是醒发面团的流变学特性,而揉混仪参数与烘焙试验的相关性很高^[12]。本研究表明,粉质仪、拉伸仪和揉混仪测定的主要参数间存在显著的相关性,其中粉质仪测定的面团形成时间与拉伸仪测定的拉伸曲线面积、揉混仪测定的尾高和 8 min 尾高之间均呈极显著正相关;面团稳定时间与拉伸仪测定的最大拉伸阻力和揉混仪测定的峰面积、尾高和 8 min 尾高之间呈极显著正相关,与和面时间呈显著正相关,这与刘艳玲等的测定结果^[2]基本一致。

本研究中 6 种仪器测定的面团流变学参数间存在极显著或显著正相关性关系,因此在小麦育种过程中,可以根据某一种仪器的分析结果粗略判断小麦材料的品质特性,从而节省时间和人力。同时,微型粉质仪的测定结果与 Brabender 粉质仪和东方孚德粉质仪测定结果之间的相关性也达到了极显著水平,完全可用于小麦品质的检测,从而满足育种早期因世代材料量少而形成的少量样品分析的科研需求。

参考文献:

[1] 蔚 然. 面团流变学特性品质分析方法比较与研究[J]. 中国粮油学报,1998,13(3):10-12.

冷一欣,武玉真,黄春香,等. 利用农林废弃物杉木屑制备糠醛的工艺[J]. 江苏农业科学,2013,41(7):261-263.

利用农林废弃物杉木屑制备糠醛的工艺

冷一欣,武玉真,黄春香,张云

(常州大学石油化工学院/江苏省精细化工重点实验室,江苏常州 213164)

摘要:以杉木屑为原料,采用两步法用固体酸 $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$ 水解制备糠醛,考察相关因素对杉木屑中半纤维素水解及戊糖脱水制备糠醛反应的影响。结果表明,半纤维素水解的最佳工艺条件为:乙二醇质量分数 80%、液固比 11:1($m:m$)、反应时间 3.0 h、固体酸用量 1.5 g,该条件下戊糖收率为 83.61%;戊糖脱水制备糠醛的最佳工艺条件为:反应温度 150 ℃、固体酸用量 1.0 g、反应时间 1.0 h,该条件下糠醛收率达 53.24%。

关键词:农林废弃物;固体酸;戊糖;糠醛

中图分类号:0636.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2013)07-0261-03

我国是农业大国,每年约产生 10 亿 t 农林废弃物,其中约有 7 亿 t 标准煤的农林废弃物可以被有效利用^[1]。如果充分利用目前的农林生物质资源,每年可新增 5 亿 t 左右标准煤的能源,约占全国一次能源生产总量的 24%^[2]。目前我国农林废弃物的利用率约为 33%,其中有 23% 用作饲料,0.5% 用作沼气,37% 用作农村能源,15% 是收集期间损失,而经过加工处理后利用的农林废弃物仅占约 2.6%^[3]。大部分农林废弃物被弃置于自然环境或露天焚烧,既浪费了自然资源,又污染了大气、土壤,破坏生态平衡。因此,开发利用农林废弃物资源,对保护环境,促进经济发展,缓解全球能源危机,增加农村就业具有多重意义。

糠醛是一种由可再生资源直接生产的呋喃族杂环化合物^[4],主要用于生产化学中间体、溶剂、添加剂等^[5-6],在药物、尼龙、塑料、汽油、喷气燃料等行业被广泛应用^[7-8]。糠醛的主要衍生物与石油的部分下游产品重叠^[9],因此对糠醛及其下游产品的开发利用,能在一定程度上缓解化石燃料危机,具有广阔发展前景。目前糠醛只能由植物纤维水解生成,采用两步法^[10]制备糠醛不仅可以提高糠醛收率,减少污染及设备腐蚀^[11-12],又能充分利用生物质中的纤维素与木质素,减

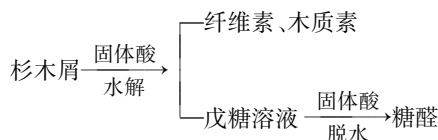
少原料浪费。固体酸催化剂因其稳定性好、廉价易得、催化活性高、选择性高等优点而受到关注,在各种有机反应中得到广泛应用。目前用固体酸作催化剂两步法生产糠醛的工艺未见报道。以往有关两步法硫酸催化竹黄制备糠醛的研究中,戊糖收率只有 67.95%^[13]。本研究以杉木屑为原料,采用两步法对糠醛生产工艺进行研究,以期优化杉木屑中半纤维素水解及戊糖生成糠醛的工艺条件。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

杉木屑取自江苏省常州市,自然风干后过 20 目筛,置于 105 ℃ 烘至绝干备用。试验试剂包括: $\text{Zr}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、浓硫酸、氨水、乙二醇、溴酸钾、溴化钾、硫代硫酸钠、碘化钾、氢氧化钠、可溶性淀粉、乙酸、苯胺,均为分析纯。试验设备包括:100 mL 高压反应釜,Waters 515 型高效液相色谱仪(美国 Waters 公司)。

1.2 利用杉木屑制备糠醛的工艺流程



1.3 固体酸 $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$ 的制备

称取一定量 $\text{Zr}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 加入 250 mL 四口烧瓶中,加入适量水溶解,滴加 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 调节 pH 值至 8~10,室温

收稿日期:2013-01-11

作者简介:冷一欣(1961—),女,江苏常州人,博士,教授,主要从事绿色化学及药物中间体研究。Tel:(0519) 86330356; E-mail:rxslyxcn@yahoo.com.cn.

- [2] 刘艳玲,田纪春,韩祥铭,等. 面团流变学特性分析方法比较及与烘烤品质的通径分析[J]. 中国农业科学,2005,38(1):45-51.
- [3] 王光瑞,周桂英,王瑞. 焙烤品质与面团形成和稳定时间相关分析[J]. 中国粮油学报,1997,12(3):1-6.
- [4] Chung O K, Ohm J B, Caley M S, et al. Prediction of baking characteristics of hard winter wheat flours using computer-analyzed mixograph parameters[J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(4):493-497.
- [5] 白建民,刘长虹,张运欢. 面团流变学特性与馒头体积之间的关系[J]. 粮油加工,2009(12):114-116.
- [6] 李宁波,王晓曦,于磊,等. 面团流变学特性及其在食品加工中的应用[J]. 食品科技,2008,33(8):35-38.
- [7] 吕军仓. 面团流变学及其在面制品中的应用[J]. 粮油加工与食

- 品机械,2006(2):66-68.
- [8] 申小勇,阎俊,陈新民,等. 和面仪参数与粉质仪、拉伸仪及面包成品加工品质主要参数的关系[J]. 作物学报,2010,36(6):1037-1043.
- [9] 魏益民,张波,关二旗,等. 面团流变学特性检测仪器比对试验分析[J]. 中国农业科学,2010,43(20):4265-4270.
- [10] 王凤成,张玮,陈万义. 揉混仪及其在小麦粉品质检测中的应用[J]. 粮食与饲料工业,2004(12):10-12.
- [11] 王光瑞,周桂英,王瑞. 焙烤品质与面团形成和稳定时间相关分析[J]. 中国粮油学报,1997,12(3):1-6.
- [12] 田纪春. 谷物品质测试理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2006.