

玉米秸秆化机浆的制备及其配抄性能的研究



作者简介：范述捷先生，硕士，工程师；主要从事制浆造纸清洁制浆及污染控制研究。

范述捷^{1,2} 陈长明^{3,*} 苏振华^{1,2,*} 倪建萍^{1,2} 张羽^{1,2} 杨彬^{1,2} 龚琛^{1,2}
(1. 中国制浆造纸研究院有限公司, 北京, 100102; 2. 制浆造纸国家工程实验室, 北京, 100102; 3. 金红叶纸业集团有限公司, 江苏苏州, 215126)

摘要：本课题以玉米秸秆为原料，以KOH预浸渍和磨浆制备玉米秸秆化学机械浆（化机浆），探讨了预浸渍废液的理化性质，研究了不同打浆转数下，玉米秸秆化机浆与慈竹半化学浆配抄比例对手抄片物理性能的影响、二者配抄时的协同效应及制备瓦楞原纸的可行性。结果表明，玉米秸秆化机浆预浸渍废液可制备有机肥和复混肥料；与慈竹半化学浆相比，玉米秸秆化机浆具有较高的松厚度，较低的抗张指数、耐破指数和环压指数。在玉米秸秆化机浆中配抄一定比例的慈竹半化学浆有助于提高手抄片强度指标，但对松厚度有负面影响。当混合浆中玉米秸秆化机浆配抄比例为50%时，纤维间的结合强度存在一定协同效应，混合浆手抄片抗张指数的实际值略高于其抗张指数的加权贡献值。在玉米秸秆化机浆（游离度<380 mL）中配抄20%慈竹半化学浆，所得手抄片各项指标均能达到瓦楞芯（原）纸规定的合格品技术指标。

关键词：玉米秸秆；化机浆；慈竹半化学浆

中图分类号：TS743 文献标识码：A DOI: 10.11980/j.issn.0254-508X.2021.08.002

Study on Preparation of Corn Stalk Chemi-mechanical Pulp and Its Papermaking Properties

FAN Shujie^{1,2} CHEN Changming^{3,*} SU Zhenhua^{1,2,*} NI Jianping^{1,2} ZHANG Yu^{1,2} YANG Bin^{1,2} GONG Chen^{1,2}
(1. China National Pulp and Paper Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100102; 2. National Engineering Lab for Pulp and Paper, Beijing, 100102; 3. Gold Hongye Paper Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu Province, 215126)

(*E-mail: chenchangming@ghy.com.cn; suzh0722@126.com)

Abstract: Corn stalk was pretreated with potassium hydroxide and refined to prepare chemi mechanical pulp. The physicochemical properties of the preimpregnation effluent, the physical properties of handsheets made by varying the ratio of corn stalk chemimechanical pulp and *Sinocalamus affinis* semi-chemical pulp, their synergistic effect and feasibility of preparing corrugated base paper at different beating revolution were discussed. The results showed that the preimpregnation effluent of corn stalk chemi-mechanical pulp could be used as organic and compound fertilizers. Compared with *Sinocalamus affinis* semi-chemical pulp, corn stalk chemi-mechanical pulp had higher bulk, lower tensile index, burst index, and ring crush index. Adding the *Sinocalamus affinis* semi-chemical pulp into the corn stalk chemi-mechanical pulp could improve the strength index of the handsheet, and reduce the handsheet bulk. When the proportion of corn stalk chemi-mechanical pulp in the mixed pulp was less than 50%, the synergistic effect affects the bonding strength between fibers, and the tested tensile index of the mixed pulp was slightly higher than the calculated value. When the proportion of *Sinocalamus affinis* semi-chemical pulp was 20% in the mixed pulp with the freeness of corn stalk chemi-mechanical pulp was less than 380 mL, the technical index of this as-prepared handsheet could reach the required standard of the qualified corrugated medium.

Key words: corn stalk; chemi-mechanical pulp; *Sinocalamus affinis* semi-chemical pulp

纤维原料供应不足一直是制约我国造纸工业可持续发展的瓶颈，根据《中国造纸工业可持续发展白皮书》的数据，我国造纸纤维原料的对外依存度高达50%以上^[1]，且受废纸进口政策的影响，2018年我国废纸进口量为1703万t，较2017年的2572万t下降

收稿日期：2021-06-07（修改稿）

基金项目：对发展中国家科技援助项目（KY201801001）。

*通信作者：陈长明，首席运营官；主要从事生活用纸节能降耗研究。苏振华，教授级高级工程师；主要从事制浆造纸清洁生产及污染控制研究。

34%，2019年废纸进口量为1036万t，较2018年下降39%，到2020年底，不再进口废纸原料，造纸原料短缺问题更加突出。因此，选择合适的造纸纤维原料替代部分木材和废纸迫在眉睫。

玉米秸秆是农作物的副产品，据2020年国家统计年鉴数据，我国2019年玉米产量为2.6亿t，按照粮秆比1:1.2计算^[2]，2019年我国秸秆产量可达3.1亿t。玉米秸秆产量大、分布广，其纤维长度较稻草纤维略长，长宽比大于45，是一种良好的造纸纤维材料^[3]。国内已有研究人员对玉米秸秆制浆进行研究，陈洪雷等人^[4]将玉米秸皮经生物预处理，再使用NaOH预浸渍后磨浆制备生物化学机械浆（以下简称化机浆），并将其与改性秸稈配抄制备瓦楞原纸进行了研究；牛司鹏等人^[5]研究了膨化预处理后玉米秸秆硫酸盐化学浆的制浆工艺。但目前对玉米秸秆化机浆的制备及其与其他纸浆配抄时的性能研究较少；且化机浆制备过程中常用钠碱作为化学药品，考虑到钠碱法化机浆废液处理成本较高，而钾碱与钠碱化学性质相近，钾又是植物生长必需的大量元素，因此，采用钾碱制浆的废液可用于制备各种类型的化肥^[6]，从而增加化机浆废液的处理和利用途径。本课题采用KOH对玉米秸秆进行预浸渍，以制备玉米秸秆化学机械浆（以下简称化机浆），分析了预浸渍废液的性质及处理方法，同时探讨了其与慈竹半化学浆配抄时的协同效应，旨在发掘我国非木材纤维原料制浆造纸的潜能，缓解我国造纸纤维原料短缺压力，实现生物资源的合理利用。

1 实验

1.1 材料

玉米秸秆取自辽宁省，晾干后贮存于密封塑料袋中，平衡水分备用；慈竹半化学浆取自某造纸企业；KOH为分析纯，购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 玉米秸秆制浆工艺

预浸渍：采用VU/E-20型多功能电热蒸煮锅（Regmed公司，巴西）对玉米秸秆进行KOH预浸渍，浸渍条件为：用碱量5.6%（以KOH计），液比1:5，浸渍温度130℃，保温时间30 min。

挤压疏解：采用自制挤碾机对浸渍后的玉米秸秆进行挤压疏解，收集预浸渍废液进行综合利用。

磨浆：采用BR30-300HB常压盘磨机（KRK公司，日本）对挤压疏解后的玉米秸秆进行三段磨浆，磨浆工艺条件为：浆浓15%~20%，各段磨浆间隙依

次为0.5、0.3、0.1 mm。

筛选：磨后浆料在80℃消潜30 min，然后采用32288型筛浆机（筛缝0.3 mm，WEVERK公司，瑞典）对浆料进行筛选，制备得到玉米秸秆化机浆。

1.2.2 预浸渍废液分析

采用F-20型pH计（北京屹源电子仪器科技公司）测定预浸渍废液的pH值；采用FP6410型火焰光度计（上海仪电分析仪器有限公司）检测预浸渍废液中元素K的含量；采用DR5000型紫外可见分光光度计（哈希公司，美国）检测预浸渍废液中元素P的含量；采用Vario EL cube型元素分析仪（Elementar公司，德国）检测预浸渍废液中元素C、N、H、S的含量；参照农业部标准NY/T 1976—2010测定预浸渍废液中有机的含量。

1.2.3 打浆、抄片及手抄片物理性能分析

使用PFI磨浆机对玉米秸秆化机浆和慈竹半化学浆进行打浆，打浆转数分别为1000 r、2000 r、3000 r、4000 r，得到不同游离度的浆料。

参照ISO 5269/2—2004，将玉米秸秆化机浆和慈竹半化学浆按一定比例配抄，抄造手抄片，定量为 (120 ± 5) g/m²。

参照国家标准测定手抄片的抗张强度（GB/T 12914—2018）、厚度（GB/T 451.3—2002）、环压强度（GB/T 2679.8—2016）、耐破度（GB/T 454—2002）。

对采用不同配抄比例的混合浆，计算其抗张指数的加权贡献值并与实际值进行对比，计算方法如式（1）所示。

$$T = T_A x + T_B (1 - x) \quad (1)$$

式中， T 为混合浆手抄片抗张指数的加权贡献值，N·m/g； T_A 为纯玉米秸秆化机浆手抄片的抗张指数，N·m/g； T_B 为纯慈竹半化学浆手抄片的抗张指数，N·m/g； x 和 $1-x$ 分别为玉米秸秆化机浆和慈竹半化学浆在手抄片中的占比。

2 结果与讨论

2.1 玉米秸秆化学成分分析

将玉米秸秆皮、稈分离，可得秸皮和秸稈。一般而言，秸皮部分含有丰富的纤维素，是较佳的制浆原料，秸稈部分半纤维素和粗蛋白含量较高^[7]，预浸渍或蒸煮过程中会消耗一定量化学药品。对玉米秸秆全秆和秸皮部位进行化学成分分析，并与麦草的化学成分进行对比，结果如表1所示。

由表1可知,玉米全秆的灰分、聚戊糖、综纤维素含量高于其秸皮部位,玉米全秆的总木质素和苯-醇抽出物含量低于其秸皮部位,这与闫贵龙等人^[8]的研究结果一致。玉米全秆综纤维素含量略低于麦草,但其灰分含量低,约为麦草灰分含量的1/2,总木质素含量约为麦草的80%。综上,本课题选择玉米全秆作为制备化机浆的原料,可省去皮、糠分离的步骤,简化制备工艺流程,降低能耗,同时也可作为预浸渍废液用作肥料及其他高值化利用提供更为丰富的有机营养物质^[9]。

2.2 玉米秸秆预浸渍废液分析

玉米秸秆预浸渍废液经浓缩后,对其进行理化性质分析,结果如表2所示。由表2可知,玉米秸秆预浸渍废液接近中性。经浓缩后的固形物中含有大量有机质和K元素、少量的N元素和P元素等,有机质含量为69.9%,由N、P、K元素含量计算得到固形物中总养分含量为15.9%,符合有机肥料标准NY 525—2012中对肥料pH值、总养分和有机质含量等指标的规定。玉米秸秆预浸渍得率为70.75%,根据物料平衡,预浸渍废液中固含量占原料的29.25%,可计算出吨浆固形物发生量为413 kg。

玉米秸秆预浸渍废液固形物也可通过补充一定量的磷酸盐、铵盐等营养物质,以制得符合国家标准的有机-无机复混肥料(GB 15063—2009)。本课题中,预浸渍废液固形物总养分含量为15.9%,中浓度的有机-无机复混肥料规定总养分含量不小于30.0%,计算得每吨玉米秸秆预浸渍废液固形物应补加308 kg磷酸铵,换算可知,生产1 t玉米秸秆化机浆可制得0.54 t(绝干质量)符合国家标准的有机-无机复混肥料。根据企业实际情况,可将钾碱预浸渍废液制成不

同形式的肥料,液态肥可在施肥季于企业附近地区直接销售,固态肥可长时间保存并销往各地。此举为制浆造纸行业和农业生产资源循环共享的体现,对两个行业的可持续发展均有促进作用。

2.3 打浆和配抄方式对手抄片物理性能的影响

图1为打浆转数对玉米秸秆化机浆(编号A,下同)和慈竹半化学浆(编号B,下同)游离度的影响。由图1可知,二者初始游离度相近,且在打浆初期(打浆转数<1000 r),二者的游离度均随着打浆转数的增大而迅速降低;打浆转数>1000 r,下降趋势有所减缓,相比于慈竹半化学浆,玉米秸秆化机浆游离度降低趋势的减缓程度更明显。当打浆转数为3000 r和4000 r时,慈竹半化学浆的游离度分别为315 mL和260 mL,低于玉米秸秆化机浆的326 mL和318 mL。同时,实验过程中也测定了二者的打浆能耗,慈竹半化学浆的游离度从550 mL降低至260 mL的能耗为1267 kWh/t,低于相同打浆转数下玉米秸秆化机浆的能耗(1357 kWh/t)。

采用相同打浆转数得到的浆料(A和B),按照不同比例配抄制备手抄片,并检测相关的物理性能,结果分别如图2~图5所示。

图2为不同打浆转数下A和B配抄比例对手抄片抗张指数的影响。由图2可知,随着打浆转数的增加,各手抄片的抗张指数均呈现先升高后趋于稳定的趋势;其中,当打浆转数从0增加到1000 r,100%A手抄片的抗张指数提高较快,后续继续增加打浆转数,其抗张指数增幅变缓;其他4组手抄片抗张指数变化趋势为:当打浆转数<2000 r时,抗张指数提高较快,之后增速变缓并趋于稳定。相同打浆转数条件下,手抄片抗张指数随着B的配抄比例增加而提高。

表1 玉米秸秆化学成分分析
Table 1 Chemical component analysis of corn stalk

名称	灰分	苯-醇抽出物	聚戊糖	综纤维素	木质素		
					酸溶	Klason	总计
全秆	4.41	9.30	21.78	66.75	4.75	11.88	16.63
秸皮	3.74	9.85	19.38	61.55	3.93	15.21	19.14
麦草 ^[8]	8.28	4.37	24.04	68.42	2.64	18.12	20.76

表2 玉米秸秆预浸渍废液的理化性能
Table 2 Physicochemical properties for preimpregnation effluent of corn stalk

pH值	含量/%								
	固含量	有机质含量	K	C	H	N	P	S	固形物发生量/kg·t ⁻¹ 浆
6.6	6.60	69.90	11.52	36.98	4.99	1.38	0.14	0.12	413

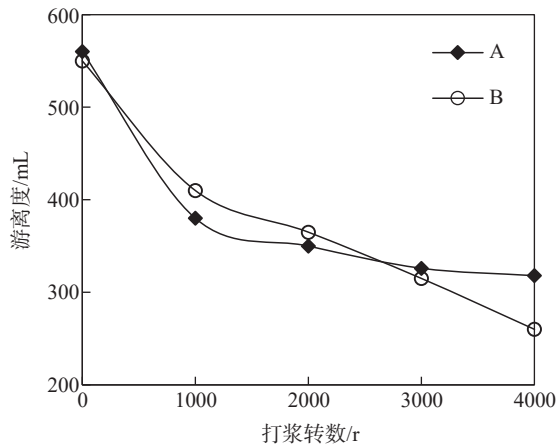


图1 打浆转数对玉米秸秆化机浆和慈竹半化学浆游离度的影响

Fig. 1 Effect of beating revolution on the CSFs of corn stalk chemi-mechanical pulp and *Sinocalamus affinis* semi-chemical pulp

通过比较各手抄片抗张指数的实际值与其抗张指数的加权贡献值可知,当B的配抄比例为20%时,手抄片的抗张指数实际值小于其抗张指数的加权贡献值,抗张指数加权贡献值的最小值出现在打浆转数为1000 r时,此时手抄片抗张指数的实际值(24.4 N·m/g)比其加权贡献值(25.9 N·m/g)低5.7%;当B的配抄比例为50%和80%时,随着打浆转数的增加,手抄片抗张指数的实际值逐渐接近并大于其抗张指数的加权贡献值。当B的配抄比例为50%、打浆转数为3000 r时,所得手抄片抗张指数的实际值(38.9 N·m/g)较其抗张指数的加权贡献值(37.3 N·m/g)高4%;说明在慈竹半化学浆中加入玉米秸秆化机浆,混合纸浆的纤维间结合强度存在一定协同效应^[10]。

图3为不同打浆转数下A和B配抄比例对手抄片松厚度的影响。由图3可知,随着打浆转数的增加,各手抄片的松厚度逐渐降低;其中100%A手抄片的松厚度最高,100%B手抄片的松厚度最低,其他3种手抄片的松厚度介于二者之间,相同打浆转数下,随着B配抄比例的提高,手抄片松厚度逐渐降低,相比于100%A手抄片,配抄了B的手抄片(20%、50%和80%)松厚度分别降低2.0%、8.0%和14.1%。

图4为不同打浆转数下A和B配抄比例对手抄片耐破指数的影响。由图4可知,随着打浆转数的增加,各手抄片的耐破指数均呈现先逐渐提高后趋于平稳的趋势。耐破度主要与纤维间的结合强度和纤维自身强度有关;打浆对纤维有一定的切断作用,但可使纤维细纤维化以增加纤维间的结合面积;也可以增加细小纤维含量,其比表面积较长纤维大很多,且能够

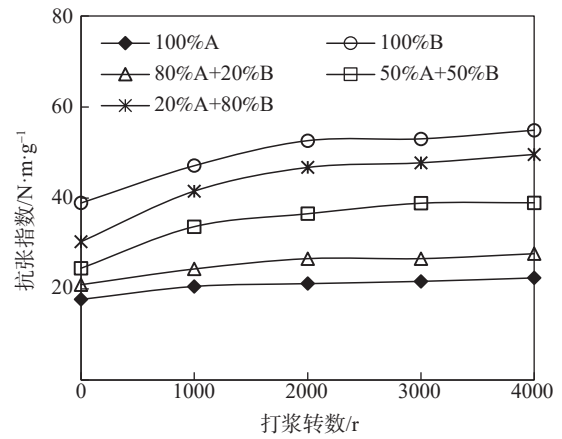


图2 不同打浆转数下A和B配抄比例对手抄片抗张指数的影响

Fig. 2 Effect of A-B ratio on tensile index of handsheets at different beating revolutions

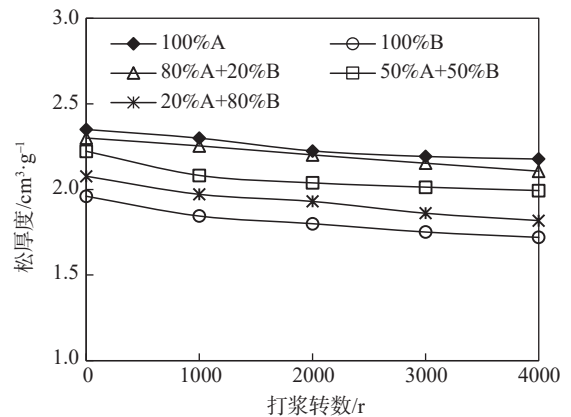


图3 不同打浆转数下A和B配抄比例对手抄片松厚度的影响

Fig. 3 Effect of A-B ratio on handsheets bulk at different beating revolutions

游离出大量羟基,在抄纸过程中促进纤维间的氢键结合,干燥过程中有助于缩短纤维间的距离,同时形成纤维间的桥连接,进而改善纤维结合和成纸强度^[11]。100%B手抄片的耐破指数远高于100%A手抄片,相同打浆转数下,100%B手抄片的耐破指数为100%A手抄片的3.6~5.4倍;随着B配抄比例的增加,各手抄片的耐破指数逐渐提高。

图5为不同打浆转数下A和B配抄比例对手抄片环压指数的影响。环压指数与手抄片的厚度和纤维间结合强度有关。由图5可知,随着打浆转数的增加,100%A手抄片和80%A+20%B手抄片的环压指数均呈缓慢提高的趋势,结合图3可知,这两种手抄片的松厚度随打浆转数增加而逐渐降低;但其纤维间结合力

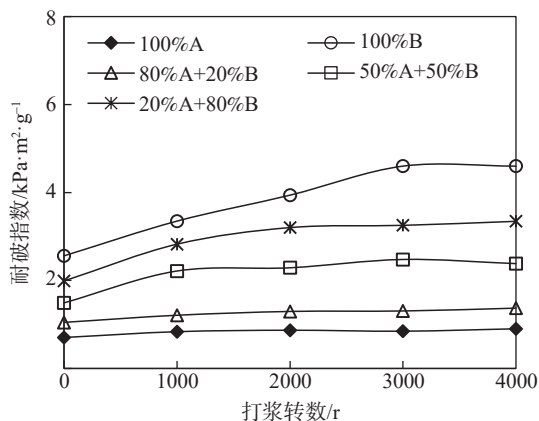


图4 不同打浆转数下A和B配抄比例对手抄片耐破指数的影响

Fig. 4 Effect of A-B ratio on burst index of handsheets at different beating revolutions

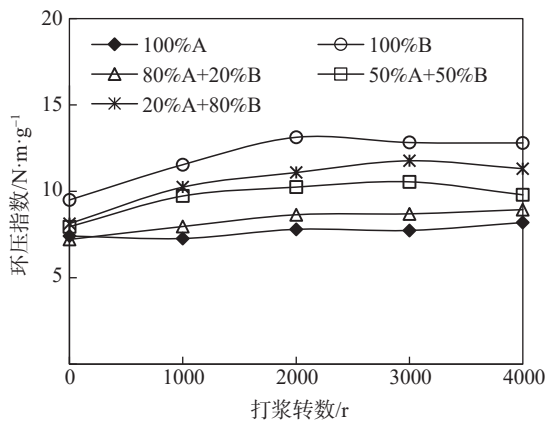


图5 不同打浆转数下A和B配抄比例对手抄片环压指数的影响

Fig. 5 Effect of A-B ratio on ring crush index of handsheets at different beating revolutions

的提高抵消了手抄片厚度降低对其环压强度的损失^[12], 100%B手抄片、50%A+50%B手抄片和20%A+80%B手抄片的环压指数均呈现先提高后降低的趋势。相同打浆转数条件下, 100%B手抄片的环压指数较100%A手抄片的提高约50%, 主要原因是B的纤维间结合强度较大。

2.4 玉米秸秆化机浆与慈竹半化学浆混合抄造瓦楞芯(原)纸

根据2.3的实验结果可知, 100%A手抄片的裂断长不能满足瓦楞原纸国家标准对该指标的要求, 结合纤维原料资源的稀缺性, 同时考虑降低生产成本等问题, 结合现有企业已有的B生产线, 考虑在A中加入

B以改善其强度性能, 使用80%A+20%B混合抄造瓦楞原纸。采用不同游离度的A与游离度315 mL的B混合(80%A+20%B)抄造手抄片, 实验结果如表3所示。

由表3可知, 相同游离度下, C系列手抄片(80%A+20%B)的紧度、环压指数及裂断长分别较100%A系列手抄片提高1.4%~4.3%、6%~20%和20%~30%, 可见, 添加一定比例B对手抄片裂断长提高最为明显。此外, 添加20%B的条件下, 随着A游离度的降低, 手抄片的紧度和裂断长逐渐提高, 环压指数整体变化不大。在游离度318~560 mL的范围内, 100%A各手抄片的紧度和环压指数均能达到瓦楞

表3 不同游离度的A与游离度315 mL的B混合抄造手抄片的物理性能

Table 3 Physical properties of handsheets made by A with different freeness and B with CSF 315 mL

编号	A 游离度/mL	B 配抄比例%	紧度/g·cm ⁻³	环压指数/N·m·g ⁻¹	裂断长/km
A0	560		0.425	7.4	1.81
A1	380		0.435	7.3	2.10
A2	350	0	0.449	7.8	2.16
A3	326		0.456	7.7	2.21
A4	318		0.459	8.2	2.29
C0	560		0.438	8.2	2.36
C1	380		0.454	8.7	2.51
C2	350	20	0.456	8.9	2.68
C3	326		0.464	8.7	2.72
C4	318		0.470	8.7	2.77
GB [*]			0.45	3.5	2.50

注 GB^{*}为GB/T 13023—2008中瓦楞芯(原)纸合格品的技术指标。

芯(原)纸规定的合格品的技术指标(GB/T 13023—2008),但断裂长未能达标。对于配抄20%B的各手抄片,除C0未达标外,其他游离度下抄造的手抄片均达标。在游离度较低时,可考虑进一步降低B的配抄比例,以降低成本。

3 结论

以玉米秸秆为原料,采用KOH预浸渍玉米秸秆、磨浆以制备玉米秸秆化学机械浆(化机浆),探讨了预浸渍废液的理化性质,研究了不同打浆转数下,玉米秸秆化机浆与慈竹半化学浆配抄比例对手抄片物理性能的影响、二者配抄时的协同效应及制备瓦楞原纸的可行性。

3.1 KOH预浸渍玉米秸秆化机浆废液固形物的各项指标符合有机肥料标准的规定;通过补充一定量的磷酸盐、铵盐等营养物质,可将玉米秸秆化机浆废液制备成符合国家标准的复混肥料。

3.2 与慈竹半化学浆相比,玉米秸秆化机浆具有较高的松厚度,较低的抗张指数、耐破指数和环压指数,玉米秸秆化机浆中配抄一定比例的慈竹半化学浆有助于提高手抄片强度指标,但对松厚度有负面影响。当玉米秸秆化机浆在混合浆中的配抄比例为50%时,两种纸浆的纤维间结合强度存在一定协同效应,混合浆手抄片的抗张指数实际值略高于其抗张指数的加权贡献值。

3.3 玉米秸秆化机浆的游离度低于380 mL时,配抄20%慈竹半化学浆(游离度315 mL),所得手抄片各项指标均能达到瓦楞芯(原)纸规定的合格品的技术指标(GB/T 13023—2008);随着玉米秸秆化机浆游离度降低,混合浆手抄片的紧度和断裂长进一步提高。因此在游离度较低时,可考虑减少慈竹半化学浆的添加量,以降低成本。

参考文献

- [1] 中国造纸协会,中国造纸学会. 中国造纸工业可持续发展白皮书[J]. 造纸信息, 2019(3): 10-19.
China Paper Association, China Technical Association of Paper Industry. White Paper on Sustainable Development of China's Paper Industry[J]. China Paper Newsletters, 2019(3): 10-19.
- [2] 刘文,王浩,李政,等. 积极利用非木材纤维资源——解决造纸工业原料短缺问题[J]. 中国造纸, 2021, 40(3): 95-100.
LIU W, WANG H, LI Z, et al. Actively Using Non-wood Fiber Resources to Solving the Problem of Raw Material Shortage in Paper-making Industry[J]. China Pulp & Paper, 2021, 40(3): 95-100.
- [3] 孙竹莹,郭升民. 玉米秸秆皮糠分离及其制浆试验[J]. 中华纸业, 2001, 22(5): 41-42.
SUN Z Y, GUO S M. Separation and Pulping of Corn Straw Husk [J]. China Pulp & Paper Industry, 2001, 22(5): 41-42.
- [4] 陈洪雷,杨桂花,陈嘉川,等. 玉米秸皮生物化机浆与改性秸糠联合抄纸的研究[J]. 中国造纸学报, 2009, 24(1): 16-19.
CHEN H L, Yang G H, CHEN J C, et al. Preliminary Study on Bio-chemimechanical Pulp of Leaf-free Corn Stalks[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2009, 24(1): 16-19.
- [5] 牛司鹏,王强,吉兴香. 膨化预处理对玉米秸秆纤维形态结构及制浆性能的影响[J]. 中国造纸, 2018, 37(9): 23-28.
NIU S P, WANG Q, Ji X X. Influence of Puffing Pretreatment on Fiber Morphology and Pulping Properties of Corn Stalk [J]. China Pulp & Paper, 2018, 37(9): 23-28.
- [6] Xiao C, Fauci M, Bezdicek D F, et al. Soil Microbial Responses to Potassium-based Black Liquor from Straw Pulping[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(1): 72-77.
- [7] 刘丽英,陈洪章. 玉米秸秆组分近红外漫反射光谱(NIRS)测定方法的建立[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(2): 275-278.
LIU L Y, CHEN H Z. Prediction of Maize Stover Components with Near Infrared Reflectance Spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(2): 275-278.
- [8] 闫贵龙,曹春梅,鲁琳,等. 玉米秸秆不同部位主要化学成分和活体外消化率比较[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(3): 76-80.
YAN G L, CAO C M, LU L, et al. Comparison of Main Chemical Components and *in vitro* Digestibility in Various Sections of Corn Stalk [J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(3): 76-80.
- [9] 范述捷,苏振华,杨彬,等. 钾碱预浸渍玉米秸秆制备化学机械浆的研究[J]. 中国造纸学报, 2020, 35(S1): 22-26.
FAN S J, SU Z H, YANG B, et al. Study on the Potash Alkali Chemimechanical Pulping of Corn Stalk [J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2020, 35(S1): 22-26.
- [10] Xu E C, Zhou Y J. Synergistic Effects Between P-RC APMP and Bleached Kraft Pulp from Canadian Aspen [J]. APPITA Journal, 2005, 58(6): 481-483.
- [11] 董和滨,张美云,王建. 高浓磨浆对杨木APMP纤维形态及成纸性能的影响[J]. 纸和造纸, 2010(10): 18-21.
DONG H B, ZHANG M Y, WANG J. Effect of High Consistency Refining on Fiber Morphology of Poplar APMP and Its Paper Properties [J]. Paper and Paper Making, 2010(10): 18-21.
- [12] 冯群策. 浅谈纸板的挺度和环压强度的影响因素[J]. 湖北造纸, 2002(3): 12-17.
FENG Q C. Discussion on Influencing Factors of Stiffness and Ring Crush Strength of Paperboard [J]. Hubei Zaozhi, 2002(3): 12-17. [CPP]

(责任编辑:杨艳)