

· 研究论文 ·

复合保存体系对浓缩天然胶乳保存效果的研究

魏小康¹ 唐珩皓¹ 于人同¹ 赵艳芳¹ 张福全² 廖禄生² 廖小雪^{1*} 戴忠峻³ 吴勇胜³

(¹海南大学材料科学与工程学院 海口 570288)

(²中国热带农业科学院农产品加工研究所 海南省天然橡胶加工重点实验室 湛江 524001)

(³云南西双版纳合盛橡胶科技有限公司 西双版纳 666100)

摘要: 天然胶乳易受微生物影响而变质,传统高氨保存胶乳虽能稳定贮存,但存在环境与气味问题,单一保存剂又导致胶乳稳定性与力学性能不足。本研究分别以吡啶硫酮钠、聚六亚甲基双胍盐酸盐、聚六亚甲基胍磷酸盐、过硫酸铵为抑菌剂,配合相关的稳定剂,结合硫磺、亚油酸,组成新型低氨复合保存体系。通过对不同复合保存体系的浓缩胶乳胶体性能和物理机械性能进行研究,并与高氨保存胶乳性能进行对比。结果表明,复合保存剂对胶乳保存效果良好,能有效保存浓缩胶乳,不同复合保存体系浓缩胶乳的pH值及黏度稳定且保持在合理区间,机械稳定度均大于950 s,整体优于高氨保存的浓缩胶乳。以聚六亚甲基双胍盐酸盐或聚六亚甲基胍磷酸盐为主的体系能有效抑制胶乳中挥发脂肪酸值生成,180天后挥发脂肪酸值仍低于0.06;不同复合保存体系浓缩胶乳随贮存时间延长,橡胶粒子平均粒径下降,粒径分散系数变窄,其硫化胶膜的物理机械性能均提升。

关键词: 浓缩天然胶乳; 胶乳保存; 复合保存体系; 胶体性能; 力学性能

Study on the Preservation Performance of Composite Systems for Concentrated Natural Rubber Latex

WEI Xiao-kang¹, TANG Heng-hao¹, YU Ren-tong¹, ZHAO Yan-fang¹, ZHANG Fu-quan²,
LIAO Lu-sheng², LIAO Xiao-xue^{1*}, DAI Zhong-jun³, WU Yong-sheng³

(¹School of Materials Science and Engineering, Hainan University, Haikou 570288)

(²Institute of Agro-Products Processing, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences & Hainan
Provincial Key Laboratory of Natural Rubber Processing, Zhanjiang 524001)

(³Yunnan Xishuangbanna Hesheng Rubber Technology Co., Ltd., Xishuangbanna 666100)

Abstract: Natural rubber latex (NRL) is prone to microbial spoilage, although conventional high-ammonia preservation ensures storage stability, it causes environmental and odor problems, while single-component preservatives often result in insufficient latex stability and mechanical performance. In this study, sodium pyrrithione (SPT), poly(hexamethylene biguanide) hydrochloride (PHMB), polyhexamethylene guanidine phosphate (PHMG-P), and ammonium persulfate were employed as antimicrobial agents, combined with corresponding stabilizers, sulfur, and linoleic acid to form novel low-ammonia composite preservative systems. The colloidal and mechanical properties of concentrated natural rubber latex (CNRL) under different composite preservative systems were investigated and compared with those of latex preserved by a high-ammonia system. The results showed that the composite preservatives exhibited excellent

2025-10-13 收稿, 2025-11-19 录用, 2026-01-15 网络出版

基金项目: 国家重点研发计划(项目号 2022YFD2301205, 2022YFD2301202), 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(项目号 1630122022006), 海南省天然橡胶加工重点实验室开放课题(项目号 HNXJ2024601), 云南省院士(专家)工作站廖建和专家工作站项目

* 通信联系人: 廖小雪, E-mail: liaoxx26@163.com

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2025.25.299

preservation performance, effectively maintaining the stability of concentrated latex; the pH and viscosity of latex remained within reasonable ranges, and the mechanical stability time (MST) exceeded 950 s, overall superior to high-ammonia preservation. Systems dominated by PHMB or PHMG-P effectively inhibited the formation of volatile fatty acids (VFA), with the VFA number remaining below 0.06 after 180 days. The average particle size of rubber particles in CNRL decreased and the particle size distribution became narrower under different preservation systems, while the mechanical properties of vulcanized natural rubber latex (VNRL) films from different composite preservative systems were all improved.

Keywords: Concentrated natural rubber latex; Latex preservation; Composite preservative systems; Colloidal properties; Mechanical properties

引用: 魏小康, 唐珩皓, 于人同, 赵艳芳, 张福全, 廖禄生, 廖小雪, 戴忠峻, 吴勇胜. 复合保存体系对浓缩天然胶乳保存效果的研究. 高分子通报, 2026, 39(2), 263–269.

Citation: Wei, X. K.; Tang, H. H.; Yu, R. T.; Zhao, Y. F.; Zhang, F. Q.; Liao, L. S.; Liao, X. X.; Dai, Z. J.; Wu, Y. S. Study on the preservation performance of composite systems for concentrated natural rubber latex. *Polym. Bull.* (in Chinese), 2026, 39(2), 263–269.

天然胶乳是巴西三叶橡胶树通过生物合成产生的橡胶烃聚合物乳液, 因其具备优异的综合性能而被广泛应用, 例如, 浸渍制品^[1]的医用手套、避孕套、气球, 海绵制品^[2]的海绵、胶乳枕头、胶乳床垫等^[3]。天然胶乳主要由橡胶烃和非胶组分构成, 其中非胶组分包含糖类、蛋白质^[4,5]和脂类物质^[6]等成分, 这些成分的存在是天然胶乳具备优异综合性能的关键因素^[7]。天然胶乳生产过程中, 由于细菌污染以及胶乳自身酶的作用, 使得胶乳易发生变质。此过程中蛋白质含量的减少导致橡胶粒子间的双电子层厚度降低, 同时碳水化合物糖类被细菌分解成甲酸、乙酸、丙酸等酸类物质, 进一步导致胶乳品质劣化, 从而对胶乳的性能产生负面影响^[8]。在生产中, 主要采用氨作为浓缩胶乳的保存剂, 然而氨的刺激性和挥发性会对人体的呼吸道黏膜造成损害, 不仅威胁工人的健康, 还引发环境污染等问题^[9,10]。因此, 研究环境友好型的保存剂在制胶工业中具有非常重要的意义。

国内外科研工作者针对低氨和无氨保存开展了诸多研究, 拉姆拉^[11]利用 TT/ZnO 复合保存剂对鲜胶乳与浓缩胶乳进行保存, 但随后的研究揭示了 TT 中潜在生成致癌物亚硝胺风险^[12]。随着研究的深入, 后续开发了弱酸性铵盐、硼酸、甲醛、碱性无机盐等保存剂^[13,14], 然而甲醛也具有潜在致癌性, 硼酸在部分区域被列为生殖毒性关注物、法规边际窄, 应用推广受到限制。近年来, 壳聚糖衍生物^[15]、硫代乙酰胺衍生物^[16]、生物型保存剂^[17]、均三嗪衍生物^[18]、异噻唑啉酮衍生物^[19–21]、

硫酮衍生物^[22]以及吗啉衍生物^[14]等新型胶乳保存剂相继出现。但壳聚糖衍生物对部分革兰阴性菌与耐碱菌效力不足, 剂量使用偏高, 硫代乙酰胺衍生物法规边际窄, 生物型保存剂的抑菌谱窄、持效期短等原因, 其应用也受到一定制约。

吡啶硫酮钠(SPT)是目前效果最强的水溶性工业防霉防腐剂, 具有高效、广谱、低毒、稳定的特点。聚六亚甲基双胍盐酸盐(PHMB)和聚六亚甲基胍磷酸盐(PHMG-P)是一种环保型多用途广谱杀菌剂^[23]。采用上述抗菌剂构建抗菌体系, 搭配月桂酸钾、氢氧化钾、十二烷基苯磺酸钠和十二烷基硫酸钠等稳定剂, 再与硫磺、亚油酸组合形成不同的复合保存体系。将其与高氨保存胶乳进行对照研究, 探究不同复合保存体系对浓缩胶乳保存效果及力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 原料

离心浓缩胶乳(总固体质量分数约为61%), 海南天然橡胶产业集团金橡有限公司金联橡胶加工公司提供; 吡啶硫酮钠(SPT), 分析纯试剂, 购自上海笛柏生物科技有限公司; 聚六亚甲基双胍盐酸盐(PHMB)、聚六亚甲基胍磷酸盐(PHMG-P), 分析纯试剂, 购自北京伊诺凯科技有限公司; 氨水(质量分数为25%~28%)、氢氧化钾, 分析纯试剂, 购自上海麦克林生化科技股份有限公司; 硬脂酸镁、过硫酸铵(APS), 分析纯试剂, 购自绿源生物科技有限公司; 干酪素, 分析纯试剂, 购自北京迈瑞达科技有限公司; 硫酸铵、浓硫酸、氢氧化

钡,分析纯试剂,购自海口科诚莱博科技有限公司;十二烷基苯磺酸钠(SDBS)、十二烷基硫酸钠(SDS),分析纯试剂,购自西陇科学股份有限公司;平平加“O”、硫磺(S)、促进剂ZDC、滑石粉(Talc)、氧化锌、月桂酸均为市售橡胶配合剂。

1.2 主要仪器设备

pH计,型号pp-25,苏州赛恩斯仪器有限公司;落球滚动黏度仪,型号VISCOBALL,西班牙FUNGLAB公司;电子万能试验机,型号AI-700-SU2,高铁科技股份有限公司;激光粒度分析仪,型号MalvernZetasizerNanoZS90,上海思白吉仪器有限公司;胶乳机械稳定度测定仪,型号Dunlop-Klaxon,英国KLAXON公司。

1.3 样品制备

1.3.1 浓缩胶乳的制备

本研究共制备了5个样品,配方如表1所示。以样品1[#]为例,具体制备步骤如下:首先称取浓缩胶乳的质量,按表1所列顺序依次加入占浓缩胶乳质量0.20%的氨水、0.04%的月桂酸钾、0.30%的KOH、0.40%的SDS、0.40%的滑石粉、0.40%的硫磺、0.05%的PHMG-P和PHMB。随后将添加保存剂的浓缩胶乳混匀、静置,得到样品1[#],样品2[#]~5[#]的制备流程与上述一致。其中,氨水、KOH、SDS、SDBS、月桂酸钾、过硫酸铵、PHMB、PHMG-P等均配制成质量分数为20%的溶液,SPT配制成质量分数为40%的水溶液,滑石粉配制成质量分数33.3%的分散体溶液、硫磺配制成质量分数50%

表1 浓缩胶乳不同复合保存体系

Table 1 Composite preservative systems for CNRL

保存剂 添加量(wt%)	试样编号				
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
氨	0.20	0.20	0.20	0.10	0.65
月桂酸钾	0.04	0.06	0.06	—	—
KOH	0.30	0.30	0.30	0.30	—
SDS	0.40	0.40		0.20	—
SDBS	—	—		0.40	—
过硫酸铵	—	—	0.20	0.20	—
亚油酸	—	—	0.04	0.04	—
滑石粉	0.40	0.40	—	—	—
硫磺	0.40	0.40	—	—	—
SPT	—	0.08	—	—	—
PHMG-P	0.05	—	0.10	0.05	—
PHMB	0.05	—	0.05	0.10	—

注:所述保存剂用量以浓缩胶乳湿重计

的分散体溶液。

1.3.2 浓缩胶乳硫化胶膜的制备

硫化胶膜的制备步骤如下:称取100 phr的不同保存体系浓缩胶乳,在匀速搅拌条件下,按表2配方所列顺序依次加入0.10 phr的KOH、0.10 phr的平平加“O”,1.00 phr的S、0.50 phr的ZDC和0.40 phr的ZnO,制得配合胶乳,将配合胶乳混合均匀后置于60℃水浴锅中预硫化,检测预硫化程度达到“二末三初”时,制得预硫化胶乳,立即进行冷却与过滤,称取适量预硫化胶乳均匀地平铺于具边框玻璃板上,室温干燥静置48 h后,于100℃的烘箱中硫化1 h,得到硫化胶膜。

表2 浓缩胶乳硫化配方

Table 2 Vulcanization formulation for CNRL

原料	质量份数(phr)
浓缩胶乳	100
KOH	0.10
平平加“O”	0.10
S	1.00
ZDC	0.50
ZnO	0.40

注:所述硫化配方以干基计

1.4 性能测试与表征

pH值的测定按照GB/T18012—2008《天然胶乳pH值的测定》,黏度值测定按照GB/T14797.2—2008《浓缩天然胶乳硫化胶乳黏度的测定》,浓缩胶乳挥发脂肪测定参照GB/T8292—2008《浓缩天然胶乳挥发脂肪酸值的测定》,机械稳定度测定参照GB/T8301—2008《浓缩天然胶乳机械稳定度的测定》。浓缩胶乳粒径采用Malvern Zetasizer Nano ZS90进行测定,将浓缩胶乳用去离子水稀释至总固体质量分数的0.03%,测试参数为折射率1.59、吸光度0.01、分散剂(水)折射率1.33。硫化胶膜定伸应力、拉伸强度测试参照GB/T528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》,撕裂强度测试参照GB/T529—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定》,拉伸速率和撕裂速率为500 mm/min。

2 结果与讨论

2.1 浓缩胶乳pH值变化

图1为不同保存体系浓缩胶乳pH值变化情况。由图1可知,除5[#]高氨保存体系外,不同复合

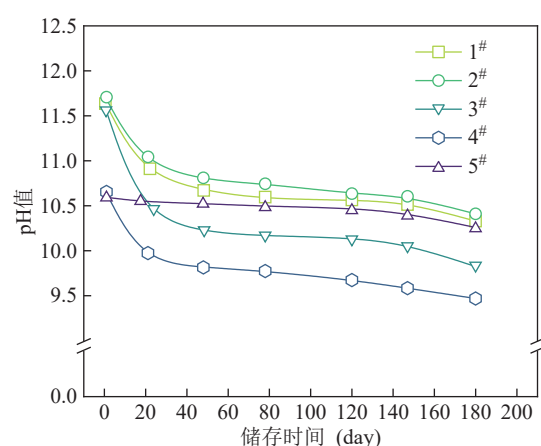


图1 不同复合保存体系浓缩胶乳 pH 值的变化

Figure 1 Variation of pH in CNRL with different composite preservative systems

保存体系浓缩胶乳 pH 值在保存初期降幅明显,随后下降幅度变缓。胶乳 pH 值与碱性组分 KOH、 NH_3 用量呈正相关,1[#]、2[#]、3[#]氨体系中,在 KOH 与 NH_3 的共同作用下,初始 pH 值超过 11.5,前期 pH 值快速下降的主要原因是 KOH、氨中和胶乳中挥发性脂肪酸,5[#]高氨体系依托 $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ 共轭对的缓冲作用, pH 降幅较小,表现出更强的缓冲稳定性。

2.2 浓缩胶乳黏度变化

图2为不同复合保存体系下浓缩天然胶乳黏度随时间的变化。各样品在贮存初期均出现黏度下降,随后随时间呈小幅波动。1[#]~4[#]样品由于有较高含量的 KOH,可通过提高体系离子强度与胶粒表面电势引发一定的增稠效应^[16],但在与 SDS、SDBS 及脂肪酸皂协同作用下,整体黏度水平仍低于 5[#]高氨浓缩胶乳。初期黏度低主要是因为熟化

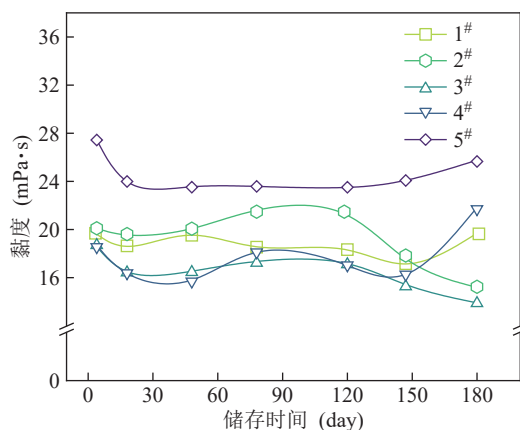


图2 不同复合保存体系浓缩胶乳黏度的变化

Figure 2 Variation of viscosity in CNRL with different composite preservative systems

过程中磷脂与脂类的水解释放了少量脂肪酸,这些脂肪酸与碱反应生成的脂肪酸皂吸附于胶粒界面,改善润湿与润滑,降低颗粒间摩擦阻力,从而导致黏度减小,这也是机械稳定度快速上升的主要原因^[6]。3[#]与4[#]体系中的月桂酸和亚油酸易在碱性条件下原位形成相应皂盐,界面调控作用更为显著,因而对应的浓乳在前中期表现出最低黏度。随储存时间增加,胶乳中部分皂盐发生分解,转化或被微生物与金属离子消耗,界面稳定贡献被削弱,4[#]样品与5[#]高氨样品后期出现黏度上升,说明其界面与胶体稳定性进入衰减阶段,与机械稳定度下降相对应。

2.3 浓缩胶乳挥发脂肪酸值变化

图3为不同复合保存体系下浓缩胶乳挥发脂肪酸值(VFA No.)随储存时间的变化。各样品的 VFA No. 总体呈先上升、后稳定的特点,其中2[#]保存体系早期增幅最大,其抑菌与稳定体系在初期对微生物代谢的抑制不足,这可能由于是较高 pH 条件下,抗菌剂的活性降低,导致水溶性碳水化合物被更快转化为短链脂肪酸。3[#]与4[#]保存体系的浓缩胶乳在全周期内的 VFA 水平及其增长幅度均较低,原因是 PHMB/PHMG-P 中胍类多聚体吸附并破坏细菌膜,APS 抑制胞外多糖/蛋白与关键代谢酶活性,二者协同作用下微生物与酶活性受到有效抑制。随着贮存时间延长,1[#]与2[#]保存体系胶乳中微生物可利用碳水化合物逐步耗尽, VFA 生成速率下降。3[#]、4[#]及5[#]保存体系在180天贮存内的 VFA 值均符合国家标准,说明该类体系能够在长期贮存条件下维持较低的挥发脂肪酸值,对胶乳的保存效果好。

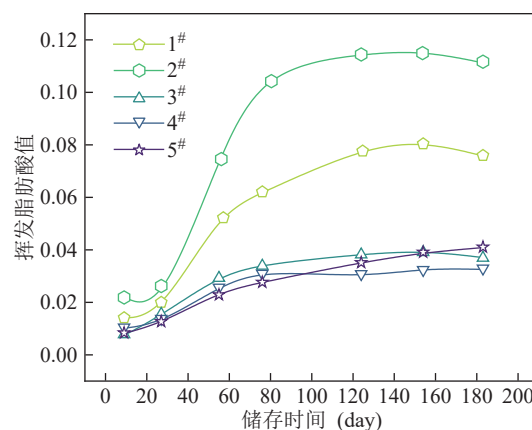


图3 不同复合保存体系浓缩胶乳挥发脂肪酸值的变化

Figure 3 Variation of the VFA No. in CNRL with different composite preservative systems

2.4 浓缩胶乳机械稳定性值变化

图4为不同复合保存体系下浓缩胶乳机械稳定性(MST)随储存时间的变化曲线。1[#]、2[#]及4[#]体系的胶乳在贮初期MST达到约250 s, 主要是加入的SDS或SDBS表面活性剂在胶粒表面被快速吸附, 显著提高了 ζ 电位和表面负电荷密度, 从而赋予体系较高的初始抗剪切破乳能力, 而未添加SDS或SDBS的3[#]与5[#]高氨保存体系初期MST偏低。

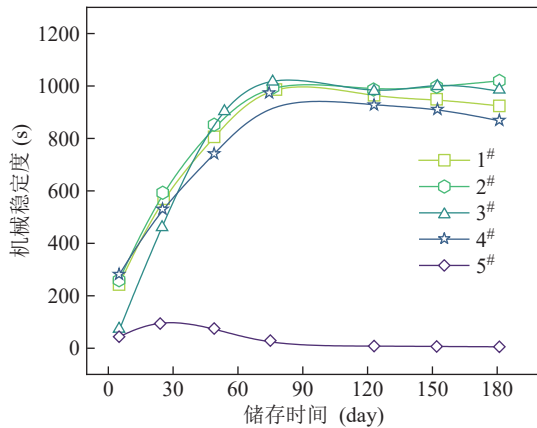


图4 不同复合保存体系浓缩胶乳机械稳定性变化

Figure 4 Variation of MST in CNRL with different composite preservative systems

随着储存时间的延长, 胶乳中的脂类逐步水解生成高级脂肪酸, 其与氨反应生成高级脂肪酸铵皂, 在界面处发挥协同稳定作用^[24], 脂肪酸皂被定向吸附在胶粒表面, 增加了胶粒表面的负电荷, 进一步提升了电位并降低颗粒碰撞后的黏附概率。蛋白质水解所得氨基酸的羧基与氨基位点可络合二价金属离子, 减弱其对双电层的压缩效应^[25]。上述机制共同驱动MST快速上升, 在中期达到约1000 s的峰值。5[#]高氨样品由于未添加表面活性剂及皂盐, 初期主要依赖胶乳中的类脂物水解产生的皂量, 形成有效界面膜的速率与程度均受限, 表现出小幅上升现象。储存时间超过90天, 胶乳保存体系中少量蛋白质发生分解消耗, 界面电位下降, MST出现小幅度的下降。

2.5 浓缩胶乳粒径变化

表3为不同复合保存体系浓缩胶乳保存初期与180天后的橡胶粒子平均粒径与分散系数变化(PDI), 图5为不同复合保存体系浓缩胶乳储存180天后的粒径强度分布。1[#]~4[#]低氨复合保存体系胶乳橡胶粒子的粒径随着时间延长而减小, KOH、脂肪酸皂及阴离子表面活性剂可抑制胶粒

表3 不同复合保存体系浓缩胶乳粒径保存180天变化

Table 3 Variation of average particle size in CNRL with different composite preservation systems during 180-day storage

试样 编号	保存时间			
	1天		180天	
	粒径(nm)	多分散系数	粒径(nm)	多分散系数
1 [#]	543.00±12.43	0.291±0.089	481.86±8.45	0.289±0.020
2 [#]	534.40±6.22	0.355±0.087	479.03±12.67	0.338±0.023
3 [#]	531.46±21.61	0.366±0.099	454.76±4.91	0.291±0.032
4 [#]	546.73±1.27	0.343±0.061	477.90±15.11	0.301±0.022
5 [#]	528.90±12.31	0.282±0.058	537.26±8.43	0.371±0.008

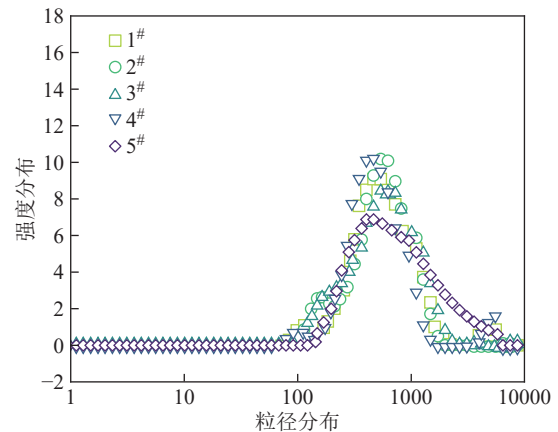


图5 不同复合保存体系浓缩胶乳储存180天后粒径分布

Figure 5 Particle-size distributions of CNRL after 180-day storage with different composite preservation systems

间粘连, 提升分散性^[16]。但在贮初期, 1[#]~4[#]低氨复合保存体系浓缩胶乳的橡胶粒子平均粒径与PDI普遍高于5[#]高氨样品的胶乳, 主要原因可能在于月桂酸皂、SDS、SDBS在胶粒表面形成带电且强水化的吸附层, 界面吸附与水化膜层会增加表观水动力学直径, 使其表现为粒径偏大、分布略宽。随着胶乳逐渐熟化, 胶粒界面逐步重排和弱絮凝结构解体, 导致平均粒径下降、PDI变小。而5[#]高氨样品仅依赖NH₃/NH₄⁺提供碱性缓冲, 在长期储存中更易发生缓慢聚集, 少量大团簇会放大散射强度, 使测得的平均粒径分布变宽, 从而表现为粒径增大和PDI增宽^[26]。

2.6 硫化胶膜物理机械性能分析

表4为不同复合保存体系浓缩天然胶乳硫化胶膜的物理机械性能参数。1[#]~4[#]保存体系硫化胶膜的拉伸强度均优于5[#]高氨保存体系。原因是1[#]、2[#]配方中的滑石粉和硫磺分散体, 分散体的加入可以使保存体系分散、填充更加均匀, 同时表面活性剂与皂盐的存在使其不容易发生团聚, 并在

表4 不同复合保存体系硫化胶膜物理机械性能

Table 4 Mechanical properties of vulcanized films with different composite preservation systems

试样编号	300%定伸应力 (MPa)	500%定伸应力 (MPa)	700%定伸应力 (MPa)	断裂伸长率(%)	拉伸强度 (MPa)	撕裂强度 (kN·m ⁻¹)
1 [#]	0.84±0.01	1.22±0.02	4.92±0.24	1071.00±20.36	31.05±0.58	46.91±1.58
2 [#]	0.94±0.12	1.38±0.15	5.62±0.17	1012.06±25.76	32.04±1.47	54.90±3.79
3 [#]	1.02±0.02	1.60±0.30	5.36±0.83	944.53±50.20	28.58±0.28	66.86±1.72
4 [#]	0.91±0.02	1.27±0.04	5.19±1.15	1023.86±49.54	31.98±0.75	57.33±3.58
5 [#]	0.97±0.06	1.38±0.16	4.69±2.30	993.8±74.99	26.44±1.23	43.23±4.75

成膜和硫化过程中提供更稳定的界面,使物理机械性能显著提升^[27]。3[#]、4[#]体系中的亚油酸在碱性下部分皂化为LA-K,其疏水链端可以嵌入NR链中缠结形成物理交联网络,羧酸端与NR极性位点和胍类阳离子形成电荷,辅助氢键与离子桥联,构筑化学网状结构,从而提升能量耗散与断裂阈值,表现出更高的撕裂强度^[28~30]。3[#]样品的撕裂强度最高,但是拉伸强度提升不明显,因为链端相连与界面作用更有利于抑制裂尖的扩展、增强抗撕裂的能力,而对均匀拉伸下的承载能力增益有限。

3 结论

低氨复合体系1[#](KOH/SDS+S/Talc)、2[#](SPT+KOH/SDS+S/Talc)、3[#](PHMG-P/APS+KOH+LA/LA-K)与4[#](PHMB/APS+KOH/SDBS+LA/LA-K)对浓缩胶乳均表现出良好的保存效果,浓缩胶乳的机械稳定性均能达到950 s以上,挥发脂肪酸含量呈先上升后变缓的趋势,3[#]与4[#](胍类+APS复配)对浓乳VFA No.的抑制更为显著。

与5[#]高氨对照相比,添加KOH、LA-K、SDS或SDBS的1[#]~4[#]保存体系胶乳的平均粒径减小,分散系数降低。

相同硫化条件下,1[#]与2[#]的硫化胶膜拉伸强度均大于30 MPa且断裂伸长率大于1000%。3[#]与4[#]的硫化胶膜撕裂强度提升,均大于50 kN·m⁻¹。5[#]高氨体系对照硫化胶膜综合力学性能较低。

参考文献

- 谭海生. 胶乳制品工艺学. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- Ramli, R.; Lee, S. Y.; Abd Rahman, M. A.; Chai, A. B.; Mustafa, A. Fabrication and characterization of latex foam shoe insoles made from novel ammonia-free natural rubber latex concentrate. *J. Rubber Res.*, **2024**, 27(1), 85–101.

- 赵立广. 避孕套专用浓缩天然胶乳的研制. 中北大学硕士学位论文, 2017.
- Wiroonpochit, P.; Sarilak, D.; Insuan, W.; Chahomchuen, T.; Chollakup, R.; Chisti, Y.; Hansupalak, N. Surfactants affect urea deproteinization and subsequent prevulcanization of natural rubber latex. *Mater. Chem. Phys.*, **2024**, 311, 128557.
- Wongkhat, J.; Pattamaprom, C. The potential of enzyme in reducing the maturation time and the use of ammonia in concentrated natural rubber latex. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, **2019**, 652(1), 012040.
- Yu, H.; Wang, Q.; Li, J.; Liu, Y.; He, D.; Gao, X.; Yu, H. Effect of lipids on the stability of natural rubber latex and tensile properties of its films. *J. Rubber Res.*, **2017**, 20(4), 213–222.
- Wei, Y. C.; Xia, J. H.; Zhang, L.; Zheng, T. T.; Liao, S. Q. Influence of non-rubber components on film formation behavior of natural rubber latex. *Colloid Polym. Sci.*, **2020**, 298(9), 1263–1271.
- 何映平. 天然橡胶加工学. 海口: 海南出版社, 2007.
- Guo, Z. W.; Mo, Y. F.; Luo, M. Y.; Xie, Y. H.; Feng, D.; Wu, F.; Mei, Y.; Xie, D. L. Low-ammonia preservation and functional reinforcement of natural rubber latex enabled by MXene-SiO₂ nanocomposites. *J. Appl. Polym. Sci.*, **2025**, 142(32), e57295.
- Wang, T.; Gui, H. X.; Zhang, W. F.; Zhang, K. X.; Yu, W. Q.; Li, Y. M.; Zeng, R. Z.; Huang, M. F. Novel nonammonia preservative for concentrated natural rubber latex. *J. Appl. Polym. Sci.*, **2015**, 132(15), 41749.
- 拉姆拉, 罗俊波. 二硫化四甲基秋兰姆/氧化锌复合保存剂的商业应用. 热带作物译丛, **1977**, (3), 21–22.
- C·PETRI, 黄克奋. 一种替代TMTD的新的天然胶乳保存剂. 热带农业工程, **2000**, (3), 33–36.
- 张鹤, 张会丰, 郑婷婷, 赵富春, 廖双泉. 月桂酸铵对浓缩天然胶乳贮存稳定性及硫化胶性能的影响. 材料导报, **2021**, 35(8), 8184–8190.
- Zhao, L. G.; Fan, R. S.; Li, P.; Ding, L.; Song, Y. Z.; Li, J. W.; Wang, Y. K.; Dai, T.; Deng, D. Y.; Gui, H. X. Impact of *N,N*-methylene-bis-morpholine on the preservation of natural rubber latex. *Int. J. Polym. Sci.*, **2023**, 2023,

- 5194052.
- 15 Loykulnant, S.; Kongkaew, C.; Chaikumpollert, O.; Sanguanthammarong, P.; Na Ubol, P.; Suchiva, K. Study of chitosan and its derivatives as preservatives for field natural rubber latex. *J. Appl. Polym. Sci.*, **2012**, 123(2), 913–921.
- 16 Zhao, L. G.; Xing, P.; Zhao, L. Y.; Yang, Q. G.; Song, Y. Z.; Ding, L.; Zhao, T.; Wang, Y. K.; Xin, Z. X.; Gui, H. X. Optimization study of a high-efficiency preservative for ammonia-free concentrated natural rubber latex. *Polymers*, **2025**, 17(2), 188.
- 17 Wu, Z. J.; Ye, L. D.; Huang, Y. Y.; Yu, C. H.; Zhang, L. L.; Zhang, X. H.; Li, Z. W.; Lu, S. R. Bagasse microcrystalline cellulose-based antibacterial preservative for natural rubber latex. *Surf. Interfaces*, **2025**, 64, 106469.
- 18 赵立广, 宋亚忠, 赵立阳, 丁丽, 李建伟, 黄红海, 王岳坤, 桂红星. 保存剂HB对胶清及胶清橡胶性能的影响. *应用化工*, **2022**, 51(3), 751–754.
- 19 Rojruthai, P.; Rodgerd, P.; Ho, C. C.; Sakdapipanich, J. The use of 1, 2-benzisothiazolin-3-one (BIT) in preparation of low-ammonia and zinc-free natural rubber latex concentrate. *J. Rubber Res.*, **2021**, 24(5), 783–795.
- 20 李艺璇, 赵立广, 李建伟, 丁丽, 黄红海, 栗秀萍, 桂红星. BCT-2无氨保存剂对浓缩天然胶乳保存效果及其性能的影响. *应用化工*, **2019**, 48(1): 86–89+92.
- 21 赵立广, 宋亚忠, 丁丽, 李建伟, 黄红海, 戴拓, 刘伟强, 李云, 桂红星. 不同保存体系低氨浓缩天然胶乳的性能研究. *热带作物学报*, **2023**, 44(3), 628–637.
- 22 赵立广, 丁丽, 赵立阳, 宋亚忠, 李建伟, 王岳坤, 吴凡, 邓大雨, 李云, 桂红星. 硫酮衍生物LS对天然胶乳保存效果的研究. *热带作物学报*, **2024**, 45(1), 144–153.
- 23 顾学斌, 王磊, 马振瀛. 抗菌防霉技术手册. 北京: 化学工业出版社, **2011**.
- 24 Sakdapipanich, J.; Kalah, R.; Nimpaboon, A.; Ho, C. C. Influence of mixed layer of proteins and phospholipids on the unique film formation behavior of *Hevea* natural rubber latex. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Aspects*, **2015**, 466, 100–106.
- 25 Karunanayake, L.; Perera, G. M. P. Effect of magnesium and phosphate ions on the stability of concentrated natural rubber latex and the properties of natural rubber latex-dipped products. *J. Appl. Polym. Sci.*, **2006**, 99(6), 3120–3124.
- 26 Farkas, N.; Kramar, J. A. Dynamic light scattering distributions by any means. *J. Nanopart. Res.*, **2021**, 23(5), 120.
- 27 Seangyen, W.; Prapainainar, P.; Sae-Oui, P.; Loykulnant, S.; Dittanet, P. Enhancing dispersion of silica nanoparticles with ammonium laurate surfactant for natural rubber latex composites. *Key Eng. Mater.*, **2019**, 821, 74–80.
- 28 Toki, S.; Che, J.; Rong, L. X.; Hsiao, B. S.; Amnuayporn Sri, S.; Nimpaboon, A.; Sakdapipanich, J. Entanglements and networks to strain-induced crystallization and stress-strain relations in natural rubber and synthetic polyisoprene at various temperatures. *Macromolecules*, **2013**, 46(13), 5238–5248.
- 29 Tarachiwin, L.; Sakdapipanich, J.; Ute, K.; Kitayama, T.; Bamba, T.; Fukusaki, E. I.; Kobayashi, A.; Tanaka, Y. Structural characterization of α -terminal group of natural rubber. 1. Decomposition of branch-points by lipase and phosphatase treatments. *Biomacromolecules*, **2005**, 6(4), 1851–1857.
- 30 Blackburn, R. S.; Harvey, A.; Kettle, L. L.; Payne, J. D.; Russell, S. J. Sorption of poly(hexamethylenebiguanide) on cellulose: mechanism of binding and molecular recognition. *Langmuir*, **2006**, 22(13), 5636–5644.