

秸秆禾塑复合材料的开创者

——中国科学院宁波材料技术与工程研究所 朱锦研究员

◎文 / 张传芝

DOI:10.3772/j.issn.1673-6516.2021.06.005

中国科学院宁波材料技术与工程研究所朱锦研究员主要从事生物基高分子材料合成、加工与应用研究。他带领生物基高分子材料研究团队开发了“大豆基无醛木材胶黏剂技术”和“耐热聚乳酸淀粉复合材料”等多项科研成果,成功实现技术转移和产业化应用。2019年,该团队采用玉米秸秆、芦苇、稻草等植物纤维制备出“仿木”复合材料——禾塑复合材料,这种材料不但在物理性能上接近天然木材,还不易翘曲、变形,阻燃性好;更为关键的是,其原料多来自农林废弃物,成本很低,实现了秸秆变木头的工业魔术。

1 潜心钻研,开发健康环保的生物基胶黏剂

我国人造板年产量位居世界前列,针对人造板中甲醛等有害物质释放的主要来源——木材胶黏剂,朱锦团队开发了大豆基无醛木材胶黏剂技术,创造性地利用高分子和胶黏剂学科交叉技术,采用大豆蛋白插层蒙脱土技术,原位生成了纳米级粘土片层结构,制备得到了耐水性强的大豆蛋白胶黏剂材料;并创造性地将水性胶黏剂改为粉剂加水剂的双组份形式,克服了大豆蛋白胶黏剂粘度大、流动性差、难以分散的问题,实现了大豆蛋白胶黏剂在连续热压刨花板、纤维板生产线上的应用。

相关产品已在大自然家居(中国)有限公司、德尔国际家居股份有限公司、千年舟集团、福人集团有限责任公司、德华兔宝宝装饰新材股份有限公司、科天集团、广州百得胜家居有限公司等行业龙头企业得到大规模应用,创造的经济效益超过20亿元,为彻底解决消费者面临的室内装修甲醛污染问题提供了强有力的技术支撑和解决方案。与此同时,产品已经出口至美国、日本以及欧洲多国,每年订单数亿元,不仅推动了我国木工行业的技术进步、产品结构升级,也破解了木制产品出口的贸易壁垒。

该技术先后获得中国林业产业创新奖一等奖、2011年林业工业新产品奖、2011年中国产学研合作创新成果奖等奖励。2018年,被提名国家技术发明奖二等奖。目前,已经具备年产6万t生物基无醛木材胶黏剂的生产能力,可实现销售产值30亿元,利税达3.4亿元。

2012年,朱锦研究的另一项聚乳酸/淀粉全生物基可降解复合材料也实现了科技成果转化,该项技术被应用在一次性餐具上,主要原料是玉米、土豆等植物淀粉。技术成果的交易额为1500万元,他与购买技术的企业联合成立了宁波家塑生物材料科技有限公司。如今,这一技术成果被广泛应用于生产和生活领域。

2 变废为宝,研发禾塑复合材料

针对日渐捉襟见肘的木材资源供应状况,如何实现木材的可持续性利用是林产工业的重要课题。而我国农林废弃物如农作物秸秆每年产量超过10亿t,由于缺乏合适的应用途径,“秸秆焚烧”问题成为各级政府的困扰。

受古法黄泥墙中填入稻草增强思路的启发以及木材本身是纤维复合材料的仿生理念,朱锦研究员提出以草本植物纤维高填充塑料的“仿木材料”的思路,带领团队经过10余年的研究,开发出具有纤维状高填充“仿木”复合材料,该材料被命名为“禾塑复合材料”(Herb Plastic Composites,HPC),因为是以草本植物为原材料,因此被称为“禾”。在禾塑复合材料生产制造过程中,重点采用自主研发的新型高速混合设备与自主设计的配方和加工工艺,协同实施蓬松状天然植物纤维与塑料的高填充精确计量与快速均质化复合。该方法具有计量准、填充量高、混合时间短、无需充分干燥等特点,所得禾塑复合材料中植物纤维长度平均达到1.0cm、填充量可高达80%,材料微观结构充分体现了“钢筋混凝土”式结构的特点(图1)。此外,该技术还具有极大的包容性,

各类富含植物纤维的农作物（包括玉米、小麦、水稻等）与经济作物（棉花、芦苇、棕榈、竹子及麻等）的秸秆经简单粉碎后均可作为禾塑复合材料的原料直接使用，各类塑料（包括聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚乳酸、PBS、PBAT以及城市垃圾分类回收塑料）均可以作为树脂基体。在禾塑复合材料中，植物纤维代替木材中的纤维素纤维，塑料代替木材中的木质素和半纤维素作为粘合剂，人为合成出可与天然木材媲美的“木材”。以草本植物代替木本植物，摆脱木材对木本植物的依赖性，实现了木材的可持续利用，同时还解决了农林废弃物的再利用问题，为农作物秸秆的应用打开了出口。

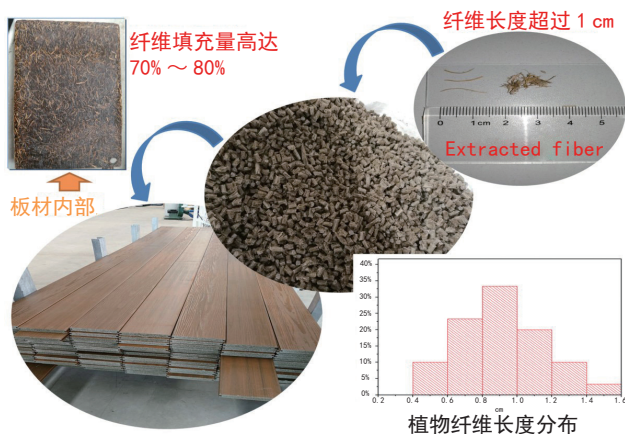


图1 禾塑复合材料及其纤维结构

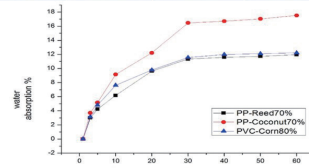
经系统检验，禾塑复合材料的综合力学性能优越，拉伸强度30~45 MPa、弯曲强度50~70 MPa、弯曲模量达到3 000~5 000 MPa、缺口冲击强度超过5 kJ/m²、密度1.14~1.20。该材料制品还具有良好的耐水性，经100℃水煮72 h无翘曲变形、无鼓泡、无裂纹，室温浸泡60 d吸水率低于20%，远低于木材发霉的吸水率（图2）。由禾塑复合材料制造的地板、装饰板、铺面材料及护栏等产品均通过国家建筑装饰材料质量监督检验中心的检验，产品的抗蠕变恢复率达到84%、握螺钉力超过2 800 N、抗冻融性弯曲破坏载荷保留率高达96%、可溶性有害重金属（包括铅、镉、铬、汞）含量全面均低于0.5 mg/kg。产品使用寿命超过30年。

与木粉填充复合得到的传统木塑复合材料（Wood Plastic Composites, WPC）相比，纤维状的禾塑复合材料制品综合性能更为优越、耐水性和握钉力更高、应用范围更广。它可广泛用于户外景观、栈道、护栏、地板，室内装饰、家具、门窗以及建筑材料（图3至图5）。

禾塑复材	拉伸强度 (MPa)	断裂伸长率 (%)	弯曲强度 (MPa)	弯曲模量 (MPa)	冲击强度 (kJ/m ²)	密度 (g/cm ³)
70%麦秆	29.74	3.21	50.12	4296	5.2	1.19
70%芦苇	30.08	3.35	49.87	3928	5.1	1.20
70%黄麻	45.69	6.32	70.57	5240	8.8	1.18
70%竹皮	33.56	5.51	57.91	3770	4.8	1.15
60%棕榈	30.58	6.48	47.36	2165	13.8	1.14



水煮72 h后



无翘曲变形、无鼓泡、无裂纹 60 d吸水率不到20%，远低于木材发霉吸水率30%

图2 禾塑复合材料的力学及耐水性

为加快禾塑复合材料技术产业化的熟化进程，朱锦研究员联合潍坊云鼎新材料科技有限公司于2020年1月成立吉林禾迪科技有限公司，专注于禾塑复合材料的研发、生产和销售。公司本着“取之于农、用之于农”的思想，充分利用吉林敦化当地的废弃生物质资源作为原材料，生产各种禾塑复合材料颗粒料、板材及型材，用于家居、护栏、栅栏、景观等人造木材制品的制造，进而支撑当地的美丽乡村建设。朱锦研究员以这种带有强烈地域特征的成功产业化模式开展技术产业化应用示范，为推动禾塑复合材料工业化技术全面走向全国乃至全世界奠定基础。

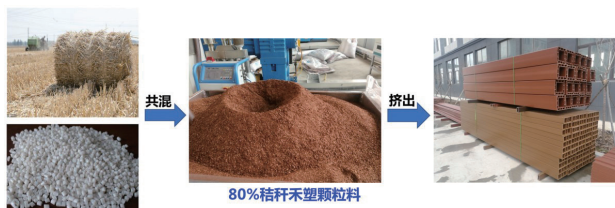


图3 禾塑复合材料产品的生产与加工



图4 禾塑复合材料产品在宁波材料所园区应用展示

3 拼搏进取，开发新型全降解禾塑复材

随着人们环保意识的不断增强和环保法规的进一步完善，高分子及其复合材料的绿色化、生态化及无害化开始成为维系新时代生态环境可持续发展的重要内容。

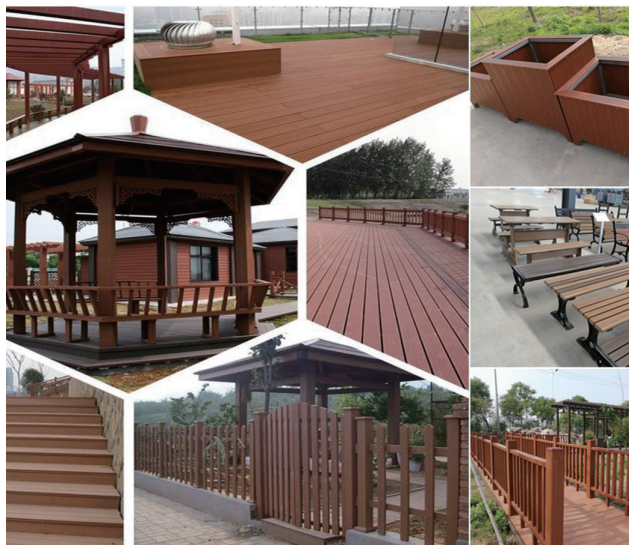


图5 禾塑复合材料人造木制品的产业应用

朱锦研究员采用聚乳酸、PBS、PBAT等可降解高分子制备的新型全降解禾塑复合材料，因加工工艺耗时短、加工温度适宜、成型过程简便，能够在加工过程中避免高分子基材的热氧老化降解，使得复合材料保持了较好的综合性能。将可降解高分子与芦苇、椰丝、黄麻、麦秆及木材纤维复合后，材料的拉伸强度超过42 MPa，最高可达70 MPa，弯曲强度和弯曲模量也分别达到66~105 MPa及4 800~7 500 MPa，缺口冲击强度为3.4~7.0 kJ/m²。以PBS作为基材纸浆与木材纤维复合也成功制备出拉伸强度为29.1~35.5 MPa、弯曲强度和模量分别为32.8~56.8 MPa及1 000~2 200 MPa、缺口冲击强度达5.5~15.9 kJ/m²



图6 新型全降解禾塑复材及其用于全降解吸管

的新型全降解禾塑复材，材料的耐热温度超过100℃。该材料能够完全满足全降解吸管类制品的加工制备，在热饮、冷饮等绿色环保餐具耗材领域具有良好的应用前景（图6）。

朱锦研究员带领团队在摸索中前行，在实践中成长，他们以农林废弃物和塑料为主要原材料制备禾塑复合材料，产品源于自然、回归自然，力求为人与自然提供更加和谐、更加健康、更加温馨的生态环境。

团队简介

中国科学院宁波材料技术与工程研究所“生物基高分子材料团队”由朱锦研究员于2009年7月组建。团队重点围绕生物基高分子材料技术与应用开展研究，主要研究方向包括生物质材料转化利用技术与应用、生物基高分子树脂新材料技术与应用、生物基助剂及新型材料加工技术与应用。

目前团队有工作人员20名，包括高级研究员1名、客聘高级研究员2名、研究员3名、正高级工程师1名、副研究员3名、高级工程师1名、高级实验师1名、博士后1名、助理研究员1名、工程师3名、科研助理1名、客聘助理研究员2名。此外，有博士研究生7名（其中国外留学生1名）、硕士研究生25名。

团队自成立以来，获得包括国家重点研发计划项目、国家自然科学基金面上项目/青年科学基金、中国科学院重点部署项目、中国科学院科技网络服务计划项目（STS项目）、中国科学院知识创新工程重要方向项目、中国科学院“一带一路”专项项目、浙江省重点研发计划项目、山东省重点研发计划项目、浙江省自然科学基金、宁波市科技创新2025专项项目及企业合作项目等150余项项目立项。实现“大豆基无醛木材胶黏剂”“耐热聚乳酸全生物降解发泡材料”“禾塑复合材料”等多项技术转移转化。出版《生物基高分子材料》《生物基呋喃聚酯》专著两部。获得“中国林业产业创新奖”“中国产学研合作创新成果奖”等多项奖励。发表论文超300篇，获得国家授权发明专利104项（一种无醛木材胶黏剂及其制备方法，ZL200710164080.4；三种基于呋喃环结构的生物基环氧树脂及其制备方法和应用，ZL201610309441.9等）。