

蕉麻纤维的特性及研究应用进展

黄 灿¹, 黄 江², 钟敬贤¹, 金 刚¹, 彭欣怡¹, 吴 密¹, 黄显雅¹, 陈 涛^{1*}

¹广西壮族自治区农业科学院, 广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西 南宁

²广西剑麻集团山圩剑麻制品有限公司, 广西 崇左

收稿日期: 2024年7月30日; 录用日期: 2024年9月4日; 发布日期: 2024年9月11日

摘 要

天然纤维在工业材料等领域有着诸多人造纤维不可替代的优势。随着社会发展趋势的变化, 天然纤维的研究和应用也在不断深入和拓展, 天然纤维复合材料发展潜力巨大。蕉麻具有耐盐性、柔韧性和耐用性等优点, 是世界上最耐用的天然纤维之一。本文主要介绍了蕉麻的种植方式、蕉麻纤维的性质和提取、蕉麻纤维的加工、蕉麻及其复合材料的研究现状, 还介绍了蕉麻纤维的改性。本文提出了蕉麻纤维在建筑、结构、纺织等领域具有巨大的应用潜力, 对推动蕉麻产业的发展具有一定价值。

关键词

蕉麻, 纤维特性, 复合材料, 研究进展

Properties of Abaca Fiber and Progress of Research Applications

Can Huang¹, Jiang Huang², Jingxian Zhong¹, Gang Jin¹, Xinyi Peng¹, Mi Wu¹, Xianya Huang¹, Tao Chen^{1*}

¹Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning Guangxi

²Guangxi Sisal Group Shanwei Sisal Product Co., Ltd., Chongzuo Guangxi

Received: Jul. 30th, 2024; accepted: Sep. 4th, 2024; published: Sep. 11th, 2024

Abstract

Natural fibers have many irreplaceable advantages of man-made fibers in industrial materials and other fields. With the changes in social development trends, the research and application of natural fibers are also deepening and expanding, and natural fiber composites have great potential for

*通讯作者。

文章引用: 黄灿, 黄江, 钟敬贤, 金刚, 彭欣怡, 吴密, 黄显雅, 陈涛. 蕉麻纤维的特性及研究应用进展[J]. 农业科学, 2024, 14(9): 1005-1011. DOI: 10.12677/hjas.2024.149126

development. Abaca has the advantages of salt resistance, flexibility, and durability, and it is one of the most durable natural fibers in the world. This paper mainly introduces the cultivation method of abaca, the nature and extraction of abaca fiber, the processing of abaca, the current status of research on abaca and its composites, and also introduces the modification of abaca fiber. This paper suggests that abaca fiber has great potential for application in the fields of construction, structure, textile and other fields, which is valuable for promoting the development of abaca industry.

Keywords

Abaca, Fiber Properties, Composites, Research Progress

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着世界科技经济的飞速发展,中国的生态文明建设也向着推绿、减污、节资的方向不断推进。现阶段的实际生产应用中,纤维材料可以分为人造纤维和天然纤维,其中人造纤维例如聚丙烯纤维、玻璃纤维、碳纤维由于不易降解,会对自然环境造成不可逆的危害,而天然植物纤维凭借其来源广、可再生、无污染、价格低等特点,具有人造纤维不可比拟的优势[1][2],天然纤维还有着可再生、重量轻和出色的机械、隔热、隔音等优势,但同时也具有热稳定性低、吸水易膨胀等缺点[3][4]。对天然纤维的探索和应用,是践行可持续发展的重要方向。

蕉麻(*Musa textilis* Née)也称马尼拉麻,属于芭蕉科、芭蕉属,产于菲律宾,目前在中国广东、云南、广西等地均有少量种植。蕉麻纤维产于其叶部,属于天然硬质纤维,长度可达3米,具有高拉伸、高折叠强度、高浮力及孔隙率、抗盐水破坏能力强等优点[5],可在一定程度上代替大部分的天然植物纤维。蕉麻还可用于绳索、纤维工艺品、纸浆和阻拦索的制作,能够生产防伪纸、茶包、卷烟纸等纸制品[6]。然而,目前蕉麻在国内的种植面积较小,国内外相关的基础研究缺乏,随着天然纤维在纺织、材料、环保等领域的优势逐渐受到重视[7]-[9],蕉麻以其独特的优势带来的需求和应用前景日益广阔[5][10]。本文旨在总结分析蕉麻纤维在建筑、结构、纺织等领域的应用潜力,探讨蕉麻纤维未来发展和研究的趋势,为今后蕉麻在不同领域的深度开发提供科学参考。

2. 蕉麻的种植

目前菲律宾和厄瓜多尔是世界蕉麻的主要生产地,其中菲律宾是世界上最大的蕉麻纤维生产国,年产量为57,000吨,供应全球约87%的需求,其次是厄瓜多尔,年产量为10,000吨。已知的蕉麻约有200多个变种和20个栽培品种[11],是菲律宾重要的经济作物,为该国人民创造了更多的就业机会[12]。蕉麻属于多年生草本植物,形似芭蕉,假茎笔直柔软,由12~30层叶鞘包裹,长度可达7m以上,叶片长圆形,螺旋排列,向顶端变窄,基部圆形,长度可达近3m,叶柄长30~62cm,以高角度向上支撑叶子[13]。蕉麻的果实平均长3~7cm,每个果实约有36~160粒种子,不宜食用[14]。

蕉麻的纤维产量和质量差异在不同的生长条件下非常显著。其中,降雨、遮荫和土壤是影响蕉麻纤维质量的重要因素[15]。过少的降雨会导致土壤水分含量的下降,进而造成蕉麻蒸腾作用的降低,影响其纤维质量,降水量超过2000毫米、湿度高达78%~88%、温度为22℃~26℃的地区最适合种植蕉麻,降雨分布均匀、没有长时间的旱季也是蕉麻生长需要的条件之一[14]。而蕉麻幼苗则需要间歇性的遮荫以获得

更加快速的生长,随着上世纪蕉麻种植面积的增加,能够给蕉麻提供的遮荫物逐渐减少,影响了幼苗的生长,在50%的遮荫培养中,蕉麻幼苗的生长明显优于遮荫较多或遮荫较少的那部分[16]。由于蕉麻还是多年生的草本植物,所以保持土壤的长期肥力也是影响蕉麻生长的关键因素。研究发现,蕉麻更倾向于肥沃、保水、通气以及具有良好排水条件的中性土壤,其中最合适蕉麻生长的是火山土壤,或近代火山冲积造成的砂质土壤,在土壤肥力下降后,蕉麻纤维的产量也会随之降低[17]。此外,在先前的研究中还发现,蕉麻需要大量的K、Ca和Mg,以保证良好的生长[14][18]。种植蕉麻的土地还应该补充其他植物起到遮荫效果,如芒果、椰子、咖啡、榴莲等一些多年生植物,能够对幼苗起到较好的遮荫效果,同时还可以间作一年生植物如花生、玉米,可以帮助调节土壤,控制杂草,防止水土流失。

3. 蕉麻纤维的性质和提取

成熟的蕉麻纤维束直径约为400 μm ,长度为2500~3000 mm,横截面均呈多边形,大部分为规则的五边形、六边形,主要由20~60根单纤维组成,单纤维中含有中空,主要成分为纤维素、木质素和半纤维素,其余为蜡质和其他表面杂质[19]。其纤维含量约为56%~63%,半纤维素含量约为20%~25%,木质素含量约为12%~13% [19][20]。蕉麻束纤维长度可达2~12毫米,直径从12~36微米不等[21],密度为1.5 g/cm^3 ,杨氏模量为9~33.6 GPa,断裂伸长率为2.7%~13.6%。蕉麻纤维的各种成分在不同温度下会发生分解。其中,半纤维素、纤维素和木质素分别在298 $^{\circ}\text{C}$ 、335 $^{\circ}\text{C}$ 和337 $^{\circ}\text{C}$ 分解,纤维的分解则发生在200至370 $^{\circ}\text{C}$ 之间[22]。蕉麻纤维还具有羟基、羧基、酯基、乙酰基等功能基团[23],这些功能基团主要存在于纤维素、半纤维素、木质素、果胶和其他粘合材料中,这些基团往往会在麻蕉纤维的化学处理过程中浸出[24]。通过热解耦合气相色谱质谱法和高温气质联用对蕉麻纤维进行分析表明,蕉麻纤维提取物主要是游离甾醇、脂肪酸和羟基肉桂酸酯,以及丁香醇、丁香醛、芥子醛和芥子醇等木质素衍生化合物[25]。由于木质素含量较高,蕉麻纤维不易被酸水解。但溶于热碱,易氧化,易与苯酚产生凝结[26]。

能够被提取的蕉麻纤维主要分布在叶鞘的外层和中层,而位于叶鞘内层的纤维目前主要用于有机肥料的制作。蕉麻在种植后的18~24个月达到成熟状态,此后每3~4个月可以进行一次纤维的收获。未成熟的蕉麻叶鞘纤维通常较为脆弱,而过熟的叶鞘则含有过多的粗纤维和褐色纤维[14]。目前蕉麻主产国菲律宾的主要产麻方式仍然以手工为主,通过人工剥离的方法仅能产生2%左右的蕉麻纤维。提取蕉麻纤维的方法是通过抽丝(tuxy)、剥离、干燥三个步骤进行,这种方法是将包含初级纤维的外鞘与次级纤维的内鞘分离的过程,再通过固定的刀片(Stripping Knife)或者石头滚筒(Decortication Drum)将树胶、维管组织和其他残留的叶子物质从纤维中分离出来。最后晒干纤维中多余的水分,相比于传统的手工提取,这种方法能够将蕉麻纤维的产率提高到3.0%~3.5%。但是目前这些提取工艺中仍然存在许多废料和废弃纤维无法利用。

4. 蕉麻纤维的加工

天然纤维通过其特有的优势受到越来越多领域的青睐,其中关于蕉麻纤维的应用和研究也在不断增加。天然纤维中具有羟基使得其本身具有一定的亲水性基[27],而纤维和聚合物基质之间的粘附性能会降低它们作为增强剂的潜力,当疏水基质中的亲水纤维吸收基质中的水分时,可能会发生“溶胀”,使其容易变弱和变质,为了获得品质更好、更稳定以及更有潜力的纤维复合材料,通常需要对天然纤维进行加工处理,目前常见的处理方式分为物理处理和化学处理[28][29],物理处理有冷等离子体、热处理、辐射处理和电晕等方式,化学处理有马来酸、有机硅烷、氢氧化钠、高锰酸钾、过氧化物和酶改性等方式[30]。研究表明,经过碱处理的蕉麻纤维吸湿性明显降低,根据碱处理程度最高可达67% [31]。氢氧化钠是常见的蕉麻纤维碱处理方法,但是其浓度、温度和时间是处理过程中的关键因素,例如浓度和温度

过高会导致纤维束的分解,纤维性能下降。研究发现,用 5% NaOH 溶液处理的蕉麻纤维的杨氏模量增加了 41%,而用 10%和 15% NaOH 溶液处理的蕉麻纤维杨氏模量分别降低了 24%和 29%,并且纤维发生了扭曲,10%以上的 NaOH 处理会导致蕉麻纤维内腔严重受损[32]。Valášek 等人的研究表明,与未经过碱处理的纤维相比,5% NaOH 进行处理的蕉麻纤维的杨氏模量提高到 90%,拉伸强度提高到 74% [33]。而在另一项研究中则发现,未经碱预处理、在 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液中浸泡 12 小时并调节 pH 为 6 的蕉麻纤维在处理过的纤维中表现出最高的拉伸强度,这是由于铝化合物的沉积使纤维表面变得更粗糙,改善了地质聚合物基体和蕉麻纤维之间的界面结合,同时保护处理过的纤维免受热降解[22]。此外,使用酶对蕉麻纤维复合材料进行改性,能够除去纤维表面一些不需要的元素,由于部分纤维成分的去除和表面积的增加导致增加界面结合,酶改性后的纤维降低 20%~45%的吸湿性,增强 5%~45%的拉伸强度和 10%~35%的弯曲强度,并且在酸碱介质中具有更好的耐受性[34],并且酶改性技术还具有降低成本、节能节水以及保护环境等优点。使用六甲基二硅氧烷(HMDS)树脂改性的蕉麻复合材料在机械和阻燃性能方面有所改善,这是由于形成的硅氧烷键与基体和织物的官能团相兼容[35]。

在纤维处理的过程中加入偶联剂也能提高纤维的机械性能或者复合材料的粘合力。使用苯重氮氯化物对蕉麻纤维进行处理发现,与未处理的复合材料相比,经过重氮处理的复合材料的拉伸强度、弯曲强度和冲击强度更高,且不含偶联剂蕉麻纤维含量为 40%的复合材料表现出最佳性能[23]。由于偶联剂的加入,蕉麻聚丙烯的机械性能和阻尼性能分别提高了 30%~80%和 30%~120%。此外,通过十六烷基三甲氧基硅烷与 MAPP 结合处理蕉麻纤维有助于蕉麻和聚丙烯复合材料的结合[36]。

5. 蕉麻及其复合材料的研究现状

蕉麻纤维及其复合材料具有价格低廉、减轻重量、可降解、不易腐烂、弯曲强度与玻璃纤维相当、增强隔热和隔音等优势,在未来有望应用于纺织产业、汽车制造、建筑材料和包装等领域[37]。

在纺织领域中,蕉麻纤维已经被证明能与人造纤维混合制造出较为舒适的床单,将 75%蕉麻纤维和 25%人造纤维进行混合制作出的床单,触感柔软光滑,并且具有高吸水性和适度的伸长率,是一种理想的护理型床单[38]。对蕉麻制作的纸纱和棉纱混合的织物进行检测发现,随着纸纱比例的增加,织物表面粗糙度增加,摩擦系数降低,接触面积减少,导热系数增加,水分扩散率增加,通过两者比例的调整,可以开发出即使潮湿也能使皮肤感到舒适的衣服[39]。在菲律宾,蕉麻纤维常被用于制作高档服装,例如巴隆衫[40]。使用软化技术能够有效降低蕉麻纤维的粗糙程度,通过棉等其他纤维进行混纺有望将蕉麻纤维运用于更多类型的服装制作[41]。目前,蕉麻纤维还是制作手工编织包、玩偶等特色工艺品的原材料[41]。

有研究表明,蕉麻纤维已经应用于汽车外部结构的制造,并且是第一种适用于制造公路车辆外部部件的天然纤维,在一些汽车底盘的保护装置中也有添加蕉麻纤维的先例[42],可以起到抗风化、抗打击和抗湿性等作用[43]。在复合材料的研究中发现,蕉麻纤维能够运用于制造环氧复合材料,通过改变添加的纤维含量,从而增加复合材料的隔热性[44]。蕉麻纤维聚丙烯复合材料还具有在冲击强度要求较低的应用中作为替代品的潜力[45]。玻璃纤维和天然纤维的复合材料也是当前研究的重要方向, Paglicawan 等人使用真空辅助树脂转移法(VARTM)制备了蕉麻与玻璃纤维的复合材料,虽然复合材料中蕉麻纤维的增加会导致层压板的拉伸强度、弯曲强度、弯曲模量和冲击强度下降,但是合适的玻璃纤维和蕉麻纤维配比显示了合适船体工业的最佳性能[46]。在 PP 复合材料的试验中发现,相比于黄麻和亚麻,蕉麻纤维聚丙烯复合材料表现出最佳的缺口夏比冲击性能和落锤冲击性能[47]。在杂化蕉麻环氧复合材料中添加赤泥后发现,随着蕉麻重量的百分比从 2.6%增加到 5.26%,再增加到 7.9%发现,复合材料的弯曲强度先降后升高,赤泥粒的增加则会降低复合材料的冲击强度[48]。

通过蕉麻和其他天然纤维进行组合杂交也能改善复合材料的机械性能。使用蕉麻和黄麻纤维和玻璃

纤维制造复合材料, 根据不同的叠层方法能够体现出材料不同的优势, 并且蕉麻含量较高的样品表现出更好的机械性能[49]。将蕉麻纤维置于黄麻纤维的两边, 再用玻璃纤维在复合材料的顶部和底部进行层压, 可以改善材料表面的光洁度并增加强度, 天然纤维在水平和垂直方向上进行排列, 能够提供各方面的强度[50]。

6. 结论和展望

本文对已有关于蕉麻纤维的研究进行了分析, 总结了蕉麻的种植方式, 其纤维的特性、处理方式、提取和加工工艺。可以看出, 蕉麻纤维由于其性质有别于其他的天然纤维, 在一定程度上能够替代剑麻、亚麻等植物纤维, 蕉麻产业的刮麻设备机械化、批量化是提高产业规模的必要手段, 但由于其规模化程度低、刮麻手段原始等因素, 蕉麻进出口市场仍然局限于部分地区。混合蕉麻复合材料比非混合蕉麻复合材料表现出更好的机械性能, 但是其性能的高低还取决于填料的百分比、填料尺寸、纤维长度、排列方式和堆叠顺序等因素。蕉麻纤维的处理方式主要还是集中于碱处理, 对于加入偶联剂和酶处理的研究尚少。

相比于亚麻、椰壳纤维、剑麻增强聚丙烯复合材料, 运用蕉麻纤维制作的复合材料的弯曲和冲击强度以及良好的拉伸强度都表明了其潜力和优势。除去传统机械性能的研究, 在隔热、抗打击、降解速度等方面也是蕉麻纤维复合材料需研究的新领域。蕉麻纤维处理也是未来研究的重要方向。从目前的研究可以看出, 偶联剂和酶具有碱处理纤维没有的优势。可以看出, 蕉麻纤维合成材料在纺织、建筑、结构、汽车工业等领域的应用有着巨大潜力, 是未来发展和研究的趋势。

基金项目

南宁剑麻试验站(2021~2025) (CARS-16-S14); 广西农业科学院基本科研业务专项资助项目, 桂农科2024YP128。

参考文献

- [1] 徐敏普, 殷勇, 沈文辉. 天然植物纤维及其加筋土体研究综述[J]. 四川建材, 2022, 48(4): 111-112.
- [2] Joshi, S.V., Drzal, L.T., Mohanty, A.K. and Arora, S. (2004) Are Natural Fiber Composites Environmentally Superior to Glass Fiber Reinforced Composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **35**, 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.016>
- [3] Dhakal, H., Zhang, Z. and Richardson, M. (2007) Effect of Water Absorption on the Mechanical Properties of Hemp Fibre Reinforced Unsaturated Polyester Composites. *Composites Science and Technology*, **67**, 1674-1683. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.06.019>
- [4] Thakur, V.K. and Thakur, M.K. (2014) Processing and Characterization of Natural Cellulose Fibers/Thermoset Polymer Composites. *Carbohydrate Polymers*, **109**, 102-117. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.039>
- [5] 姜华, 张祚, 梁洋杰, 等. 剑麻和蕉麻纤维定性鉴别[J]. 中国麻业科学, 2021, 43(2): 73-79.
- [6] 李桂珍, 龚安达, 刘润昌, 等. 非木材纤维在卷烟工业用纸中的应用[J]. 中国造纸, 2011, 30(5): 69-73.
- [7] 任泓彤, 陈小光, 马颜雪, 等. 麻文化发展与高值利用前景展望[J]. 中国麻业科学, 2021, 43(5): 272-280.
- [8] 马强, 邢文文, 李丽华, 等. 棕麻纤维加筋砂的三轴试验研究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2018, 39(2): 56-60.
- [9] 高旭, 席蓓, 马婧, 等. 天然植物纤维复合材料的研究进展[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2021, 42(4): 60-65.
- [10] Lacuna-Richman, C. (2002) The Role of Abaca (*Musa textilis*) in the Household Economy of a Forest Village. *Small-scale Forest Economics, Management and Policy*, **1**, 93-101. <https://doi.org/10.1007/s11842-002-0007-x>
- [11] Moreno, L.O. (1995) Promising Abaca Accessions in the VISCA Germplasm Collection. *Philippine Journal of Crop Science*, **20**, 23-30.
- [12] Aragon, C. (2000) Fiber Crops Program Area Research Planning and Prioritization. PIDS Discussion Paper Series.
- [13] Brewbaker, J.L., Gorrez, D.D. and Umali, D.L. (1956) Classification of Philippine Musae II. Canton and Minay Putative

- Hybrid Forms of *Musa textilis* Née and *Musa balbisiana* Colla. *Philippine Agriculturist*, **40**, 258-268.
- [14] Göltzenboth, F. and Abacá, W.M. (2010) Abacá—Cultivation, Extraction and Processing. *Industrial Applications of Natural Fibres*, 163-180.
- [15] Spencer, J.E. (1953) The Abacá Plant and Its Fiber, Manila Hemp. *Economic Botany*, **7**, 195-213. <https://doi.org/10.1007/bf02984947>
- [16] Bande, M.M., Grenz, J., Asio, V.B. and Sauerborn, J. (2013) Fiber Yield and Quality of Abaca (*Musa textilis* Var. *Laylay*) Grown under Different Shade Conditions, Water and Nutrient Management. *Industrial Crops and Products*, **42**, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.009>
- [17] Armecein, R.B. and Ferraren, A.S.A. (2001) Diagnosis of Nutrient Constraints to Abaca (*Musa textilis* Nee) among Selected Soils in Eastern Visayas [Philippines] by Nutrient Omission Pot Trial. *Asian Agriculture Congress*, Manila, 24-27 April 2001, 47.
- [18] 叶代勇, 黄洪, 傅和青, 等. 纤维素化学研究进展[J]. 化工学报, 2006(8): 1782-1791.
- [19] Armentano, I., Dottori, M., Fortunati, E., Mattioli, S. and Kenny, J.M. (2010) Biodegradable Polymer Matrix Nanocomposites for Tissue Engineering: A Review. *Polymer Degradation and Stability*, **95**, 2126-2146. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.06.007>
- [20] Armecein, R.B. and Gabon, F.M. (2008) Biomass, Organic Carbon and Mineral Matter Contents of Abaca (*Musa textilis* Nee) at Different Stages of Growth. *Industrial Crops and Products*, **28**, 340-345. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.03.014>
- [21] Vilaseca, F., Valadez-Gonzalez, A., Herrera-Franco, P.J., Pèlach, M.À., López, J.P. and Mutjé, P. (2010) Biocomposites from Abaca Strands and Polypropylene. Part I: Evaluation of the Tensile Properties. *Bioresource Technology*, **101**, 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.066>
- [22] Malenab, R., Ngo, J. and Promentilla, M. (2017) Chemical Treatment of Waste Abaca for Natural Fiber-Reinforced Geopolymer Composite. *Materials*, **10**, Article 579. <https://doi.org/10.3390/ma10060579>
- [23] Punyamurthy, R., Sampathkumar, D., Ranganagowda, R.P.G., Bennehalli, B. and Srinivasa, C.V. (2017) Mechanical Properties of Abaca Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Chemical Treatment by Benzenediazonium Chloride. *Journal of King Saud University—Engineering Sciences*, **29**, 289-294. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2015.10.004>
- [24] Sinha, A.K., Narang, H.K. and Bhattacharya, S. (2020) Experimental Investigation of Surface Modified Abaca Fibre. *Materials Science Forum*, **978**, 291-295. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.978.291>
- [25] del Río, J.C. and Gutiérrez, A. (2006) Chemical Composition of Abaca (*Musa textilis*) Leaf Fibers Used for Manufacturing of High Quality Paper Pulps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **54**, 4600-4610. <https://doi.org/10.1021/jf053016n>
- [26] Vijayalakshmi, K., Neeraja, C.Y.K., Kavitha, A., et al. (2014) Abaca Fibre. *Transactions on Engineering and Sciences*, **2**, 16-19.
- [27] Shalwan, A. and Yousif, B.F. (2013) In State of Art: Mechanical and Tribological Behaviour of Polymeric Composites Based on Natural Fibres. *Materials & Design*, **48**, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.07.014>
- [28] Wambua, P., Ivens, J. and Verpoest, I. (2003) Natural Fibres: Can They Replace Glass in Fibre Reinforced Plastics? *Composites Science and Technology*, **63**, 1259-1264. [https://doi.org/10.1016/s0266-3538\(03\)00096-4](https://doi.org/10.1016/s0266-3538(03)00096-4)
- [29] Mohanty, A.K., Khan, M.A. and Hinrichsen, G. (2000) Influence of Chemical Surface Modification on the Properties of Biodegradable Jute Fabrics—Polyester Amide Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **31**, 143-150. [https://doi.org/10.1016/s1359-835x\(99\)00057-3](https://doi.org/10.1016/s1359-835x(99)00057-3)
- [30] Srivastav, A.K., Behera, M.K. and Ray, B.C. (2007) Loading Rate Sensitivity of Jute/Glass Hybrid Reinforced Epoxy Composites: Effect of Surface Modifications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **26**, 851-860. <https://doi.org/10.1177/0731684407076735>
- [31] Ramadevi, P., Sampathkumar, D., Srinivasa, C.V. and Bennehalli, B. (2012) Effect of Alkali Treatment on Water Absorption of Single Cellulosic Abaca Fiber. *BioResources*, **7**, 3515-3524. <https://doi.org/10.15376/biores.7.3.3515-3524>
- [32] Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A.N., Katoh, M., Ueki, T., Waterhouse, G.I.N., et al. (2015) Influence of Alkali Treatment on Internal Microstructure and Tensile Properties of Abaca Fibers. *Industrial Crops and Products*, **65**, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.048>
- [33] Valášek, P., Müller, M., Šleger, V., Kolář, V., Hromasová, M., D'Amato, R., et al. (2021) Influence of Alkali Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Coir and Abaca Fibers. *Materials*, **14**, Article 2636. <https://doi.org/10.3390/ma14102636>
- [34] Bledzki, A.K., Mamun, A.A., Jaszkiwicz, A. and Erdmann, K. (2010) Polypropylene Composites with Enzyme Modified Abaca Fibre. *Composites Science and Technology*, **70**, 854-860. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.02.003>
- [35] Ahmed, S.N., Prabhakar, M.N., Siddaramaiah, and Song, J. (2017) Influence of Silane-Modified Vinyl Ester on the Properties

- of Abaca Fiber Reinforced Composites. *Advances in Polymer Technology*, **37**, 1970-1978. <https://doi.org/10.1002/adv.21855>
- [36] Vilaseca, F., Valadez-Gonzalez, A., Herrera-Franco, P.J., Pèlach, M.À., López, J.P. and Mutjé, P. (2010) Biocomposites from Abaca Strands and Polypropylene. Part I: Evaluation of the Tensile Properties. *Bioresource Technology*, **101**, 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.066>
- [37] Punyamurthy, R., Sampathkumar, D., Ranganagowda, R.P., Bennehalli, B., Badyankal, P. and Venkateshappa, S.C. (2014) Surface Modification of Abaca Fiber by Benzene Diazonium Chloride Treatment and Its Influence on Tensile Properties of Abaca Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, **26**, 142-149. <https://doi.org/10.1016/j.ctmat.2015.03.003>
- [38] Enomae, T., Asakawa, R., Onabe, F., Yoshizaki, M., Fukasawa, H., Hiyoshi, K., *et al.* (2006) Development of Nursing Care Sheets of Cellulosic Nonwoven Fabrics for Aging Society. *Textile Research Journal*, **76**, 41-48. <https://doi.org/10.1177/0040517506053912>
- [39] Karasawa, Y., Mizuhashi, H., Uemae, M., Yoshida, H. and Kamijo, M. (2022) Comfort Properties of Fabrics Knitted from a Two-Ply Yarn Derived from Abacá and Cotton. *Textile Research Journal*, **92**, 4325-4341. <https://doi.org/10.1177/00405175221102638>
- [40] Unal, F., Avinc, O. and Yavas, A. (2020) Sustainable Textile Designs Made from Renewable Biodegradable Sustainable Natural Abaca Fibers. In: Muthu, S.S. and Gardetti, M.A., Eds., *Sustainable Textiles: Production, Processing, Manufacturing & Chemistry*, Springer International Publishing, 1-30. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37929-2_1
- [41] Simbaña, E.A., Ordóñez, P.E., Ordóñez, Y.F., Guerrero, V.H., Mera, M.C. and Carvajal, E.A. (2020) Abaca: Cultivation, Obtaining Fibre and Potential Uses. In: Kozłowski, R.M. and Mackiewicz-Talarczyk, M., Eds., *Handbook of Natural Fibres*, Elsevier, 197-218. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818398-4.00008-6>
- [42] Sinha, A.K., Narang, H.K. and Bhattacharya, S. (2017) Mechanical Properties of Natural Fibre Polymer Composites. *Journal of Polymer Engineering*, **37**, 879-895. <https://doi.org/10.1515/polvorg-2016-0362>
- [43] Hintermann, M. (2005) Automotive Exterior Parts from Natural Fibers. RIKO.
- [44] Liu, K., Zhang, X., Takagi, H., Yang, Z. and Wang, D. (2014) Effect of Chemical Treatments on Transverse Thermal Conductivity of Unidirectional Abaca Fiber/Epoxy Composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **66**, 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2014.07.018>
- [45] Gironès, J., Lopez, J.P., Vilaseca, F., Bayer R., J., Herrera-Franco, P.J. and Mutjé, P. (2011) Biocomposites from *Musa textilis* and Polypropylene: Evaluation of Flexural Properties and Impact Strength. *Composites Science and Technology*, **71**, 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.10.012>
- [46] Paglicawan, M.A., Emolaga, C.S., Sudayon, J.M.B. and Tria, K.B. (2021) Mechanical Properties of Abaca-Glass Fiber Composites Fabricated by Vacuum-Assisted Resin Transfer Method. *Polymers*, **13**, Article 2719. <https://doi.org/10.3390/polym13162719>
- [47] Bledzki, A.K., Mamun, A.A. and Faruk, O. (2007) Abaca Fibre Reinforced PP Composites and Comparison with Jute and Flax Fibre PP Composites. *Express Polymer Letters*, **1**, 755-762. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2007.104>
- [48] Sinha, A.K., Bhattacharya, S. and Narang, H.K. (2019) Experimental Determination and Modelling of the Mechanical Properties of Hybrid Abaca-Reinforced Polymer Composite Using RSM. *Polymers and Polymer Composites*, **27**, 597-608. <https://doi.org/10.1177/0967391119855843>
- [49] Vijaya Ramnath, B., Manickavasagam, V.M., Elanchezian, C., Vinodh Krishna, C., Karthik, S. and Saravanan, K. (2014) Determination of Mechanical Properties of Intra-Layer Abaca-Jute-Glass Fiber Reinforced Composite. *Materials & Design*, **60**, 643-652. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.061>
- [50] Vijaya Ramnath, B., Junaid Kokan, S., Niranjan Raja, R., Sathyanarayanan, R., Elanchezian, C., Rajendra Prasad, A., *et al.* (2013) Evaluation of Mechanical Properties of Abaca-Jute-Glass Fibre Reinforced Epoxy Composite. *Materials & Design*, **51**, 357-366. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.102>