

蚕沙的多元化利用研究进展

蒋勇兵 黄仁志 蒋诗梦 秦志雄 李章宝*

(湖南省蚕桑科学研究所,湖南长沙 410127)

摘 要 蚕沙是养蚕的副产物,主要用作农家肥或为动物提供饲料。近年来通过对蚕沙在成分、结构、特性等方面的深入研究,蚕沙的许多优良特性被发掘并利用,蚕沙资源多元化创新利用丰富了蚕桑产业的内涵。本文从蚕沙作栽培材料用、作药用、作化工原料用、作肥料用、作饲料用、作环保材料用等 6 个方面阐述了蚕沙的应用现状,并提出了蚕沙资源多元化利用的意见和建议。

关键词 蚕沙 多元化利用 生物炭 饲料 堆肥

DOI:10.19443/j.cnki.1673-9922.2019.01.001

我国的蚕桑生产因劳动强度大、科技含量和劳动效率相对较低、基础条件较为薄弱、技术装备不先进、蚕桑专业人才稀少等特点,在科技不断发展的今天受到较大冲击。实现蚕桑产业可持续、创新发展的重要有效途径之一即开展蚕桑资源综合利用,走蚕桑产业多元化发展道路^[1]。作为丝绸的发源地和主产国,我国每年养蚕约 1 500 万张蚕种,蚕沙产量约为 450 万 t,产量巨大^[2]。目前对蚕沙资源利用最多的是作为农家肥,少量蚕沙作为原材料被高效利用,如提取叶绿素、作为药材等。多数蚕区的蚕沙没有被充分高效利用,许多农村地区的蚕沙被随意丢弃。为充分利用蚕沙资源,减少因随意丢弃蚕沙对环境的污染,增加蚕农收入,本文对蚕沙资源的利用现状作一总结,以期对蚕沙的多元化利用提供一些参考。

1 蚕沙资源

蚕沙,又名原蚕沙、原蚕屎、晚蚕沙、马鸣肝、晚蚕矢,是养蚕过程中由蚕的幼虫所排泄的固体粪便、食剩的残桑、蚕体消毒剂以及蚕座中垫料的统称^[3-6]。蚕沙呈短圆柱形,长 2~5 mm,直径 1.5~3 mm,表面灰黑色,粗糙,有 6 条明显的纵棱及 3~4 条横向的浅纹。两端略

平坦,呈六棱形,质坚而脆,受潮后易散碎发霉,微有青草气味^[3]。

蚕沙是一种富含粗蛋白和碳水化合物的多组分物质。干蚕沙中含粗蛋白 15.4%,粗脂肪 3.88%,无氮浸出物 36.2%,粗纤维 19.6%,钙 0.58%,磷 0.82%,还含铜、铁、锌等微量元素,并含少量生物碱,类肾上腺皮质激素,维生素 A(V_A),维生素 B(V_B),维生素 C(V_C),维生素 D(V_D),维生素 E(V_E)和烟酸等,还含有一种未知促生长因子^[7,8]。不同龄期蚕的蚕沙组分稍有差别,如蚕沙中有机物和氮素含量幼蚕多于壮蚕,而灰分和碳素含量幼蚕少于壮蚕^[9,10]。

蚕沙主要被用于堆肥回田,也可经过筛、烘干后作为搭配畜禽精料饲喂肉兔、育肥猪、黑山羊和鹅等,可降低养殖成本和改善畜禽肉品质,还也可经发酵(添加发酵剂)或烘干成颗粒后替代肉牛精饲料^[11]。蚕沙传统上只用作普通肥料和饲料,产生的经济效益较低^[10]。随着社会的发展、科技的进步,加上蚕沙本身结构和含有的丰富营养物质和药用成分,蚕沙多元化利用前景广阔。

资助项目:现代农业产业技术体系建设专项(编号 CARS-18);湖南省国土资源厅科技项目(编号 2014-06);蚕桑种质资源多元化应用研发创新团队项目(编号 2017XC01)

作者简介:蒋勇兵(1987—),男,硕士,助理研究员。

通信作者:李章宝(1965—),男,大学本科,研究员。E-mail: lzb1165@163.com

2 蚕沙多元化利用

2.1 作栽培材料用

蚕沙含有丰富的营养成分,可作为食用菌、花卉植物及园艺植物的栽培材料。对于养蚕业发达地区,蚕沙产量相对较高,且蚕沙本身的成分与麦麸等食用菌栽培辅料相类似,因此为蚕沙制作食用菌辅料提供了很大发展利用空间^[12]。张剑飞等^[14]利用桑枝和蚕沙分别作为主、辅料,对大球盖菇成功地进行了室外栽培。同样地,白兴荣等^[15]和卓金亮等^[16]以蚕沙为原料分别在杏鲍菇、金针菇栽培上取得了较好的效果。陈秀月等^[9]用以蚕沙、泥炭、煤渣、过磷酸钙和硫磺粉为原料配制的基质栽培植物,发现观叶植物生长性能好于对照组(常用盆栽基质),叶色浓绿,株型健壮而挺拔;观果植物的长势也优于对照,株高、冠幅、分枝数、叶量等均比对照组高出0.5~1.5倍;观花植物的营养生长量也高于对照组,且花量高出对照组1~2倍。同时也可以将蚕沙发酵后用于食用菌的培养,既降低了食用菌生产成本,又实现了资源的良性循环^[13]。

2.2 作药用

蚕沙,性温,味甘、辛,归肝、脾、胃经,功能祛风除湿、和胃化湿。《名医别录》:“主肠鸣,热中,消渴,风痹,癰疹。”《本草纲目》:“治头风、风赤眼,其功亦在去风收湿也”。蚕沙在我国是一种的传统的抗风湿药物^[17]。在《本草求原》中有“原蚕沙,为风湿之专药,凡风湿瘫痪固宜,即血虚不能养经络者,亦宜加入滋补药中”的记载^[18]。黑大豆和蚕沙合用(一般用量黑大豆10~20g,蚕沙20g)能祛风解毒,行气和血,利湿化浊,是治疗慢性肾衰竭的常用药对之一^[18]。

蚕沙保健枕,是一种具有高附加值、高科技含量、高市场需求的“三高”产品。它不仅可以去风化湿、降血压等功能,还对因血热引起的头昏、头痛以及脑血管疾病等都起到很好的辅助治疗效果。蚕沙保健枕还可以预防和缓解风湿性关节炎和各种中风症状的发生,是一款延年益寿的良品^[19]。有资料指出将蚕沙与多味中草药(如牛角花、草决明、薄荷、五味子、丹参等)配合制作成的蚕沙药枕,有明目、降压、疏通经

络之功效,对头晕、失眠具有很好的治疗效果^[20]。

2.3 作化工原料用

叶绿素对人体无毒、无副作用,是食品工业上取代合成色素的重要绿色添加剂,不但能促进新陈代谢和血红蛋白的合成,还具有护肤、洁齿、除臭和抑菌作用^[13]。风干蚕沙中的叶绿素含量高达0.8%~1.0%,是提取叶绿素和制备叶绿素衍生物较为理想的原料^[6,21]。但是提取后的叶绿素稳定性降低,通常将其进一步制成相对稳定的金属盐。目前蚕沙叶绿素产品主要有糊状叶绿素、铜代叶绿素和叶绿素铜钠盐^[6,13]。叶绿素铜钠盐具有色泽亮丽、性能稳定、使用安全等特点,且具有一定的营养价值和保健功能,是一种比叶绿素更为理想的天然色素^[22]。同时叶绿素铜钠盐具有治疗慢性溃疡、外科创伤、中耳炎、水田皮炎、脉管炎、肝炎、胃炎、白细胞减少等疾病的功效,是“肝宝”、“新血宝”、“胃甘绿”等药物的主要成分。陈智毅等^[23]以2龄、3龄幼蚕的蚕沙为主要原料制成的桑蚕虫茶,经测定发现含有较高的1-脱氧野尻霉素(DNJ),具有较显著的降血糖作用。

蚕沙中一般含有10%~15%的果胶,在干蚕沙中含量更高^[6]。果胶具有抗菌、止血、降血脂、防便秘、促消化等药理作用,可单独或与其他药物配合用于治疗冠心病、动脉硬化、高血脂等一些疾病^[6,13]。除此之外,以蚕沙为原料,可提取黄酮类化合物^[6,24,25]、叶蛋白^[6]、类胡萝卜素^[26,27]、叶酸^[28]、DNJ^[29]、1-三十三烷醇^[30]、生物碱^[31]和植物醇^[32]。综上所述,蚕沙是一种价廉物美,含有多种功能组分的资源。

2.4 作饲料用

蚕沙的营养价值比较丰富,有机质(OM)含量40%~45%,粗蛋白(CP)含量为10.65%~17.64%,粗脂肪(EE)含量为1.94%~5.24%,粗纤维(CF)含量为17.37%~18.34%,粗灰分为9.85%~9.95%^[33],还有Cu、Fe、Zn等微量元素,具有极高的饲料相对值(relative feed value)和粗饲料分级指数(grading index),且营养价值高于常规饲料原料苜蓿(干粉)、米糠和麦麸^[11,34]。且蚕沙中的活性物质含量相对较高,如黄酮类化合物、叶绿

素、果胶,其质量分数分别为 1.66%、0.8%、11%。这些活性物质对于动物的生长有着积极作用。例如蚕沙中包含的黄酮类化合物具有较强的抗氧化性、抗肿瘤功能,可以使动物在食用蚕沙后更加茁壮成长^[35]。因此,将蚕沙用于替代畜禽精饲料可降低养殖成本,改善畜禽肉品质(表 1)。

但是蚕沙中的果胶、亚硝酸盐会影响饲用的安全性。果胶进入动物胃、肠道内,能与水分子作用增加食糜黏度,产生抗营养作用,阻碍机体对营养物质的吸收^[36]。赵凤至等^[36]通过试验发现饲料中的果胶对鹅的生长性能、体尺性状、屠宰性能等具有不良影响。因此在使用蚕沙作为动物饲料原料时应严格把控使用量。而亚硝酸盐为强氧化剂,进入动物体内后,可使血液中血红蛋白失去携氧能力,致使组织缺氧,可视粘膜及白色皮肤发绀,严重者发生死亡。陈乐乐等^[34]通过收集 4 种常用养蚕模式产生的蚕沙,辅以玉米粉、麦麸、豆粕,用乳酸杆菌、酿酒酵母和枯草芽孢杆菌进行发酵,分析了发酵后蚕沙中亚硝酸盐含量的变化。结果表明,蚕沙经过发酵处理 32~40 h 后能有效降低蚕沙中的亚硝酸盐含量。

2.5 作肥料用

蚕沙干物质中的有机物质量分数为 83%~90%,灰分 10%~15%,含氮物质为 2%~4%^[37],理论上计算,100 kg 干蚕沙的肥效相当于 14 kg 硫酸铵、6 kg 过磷酸钙、5 kg 硫酸钾,是一种养分较为全面的有机肥料^[8]。蚕沙是养蚕生产中的主要有机废弃物,同时也是家蚕病原物的主要载体之一。蚕沙的随意丢弃,不仅会造成环境污染,还会对当地的蚕桑生产造成严重威胁。堆肥处理是目前处理农业生产中固体有机废弃物的一种经济有效方法^[38]。堆肥发酵所产生的高温可灭活蚕沙中的病原菌,且发酵腐熟后的蚕沙可成为优质的有机肥,长期施用能提高土壤肥力和改良土壤结构^[39-40]。蚕沙发酵有机肥不仅可提高小白菜产量、营养养分、维生素含量,减少硝酸盐的积累量,提高土壤 pH 值,增加土壤速效养分和有机质含量,增强土壤酶活性^[41],还能有效提高杭白菊的存株率、增加了植株株高、分枝数和药材产量^[42],提

高连作杭白菊的根际土壤细菌多样性水平,促进功能菌和有益菌的生长,改善微生态环境,从而达到了缓解连作障碍的目的^[43]。

另外,增施蚕沙有机肥可明显促进大白菜的生长发育,增加产量,对软腐病有一定预防效果^[52]。蚕沙发酵有机肥能有效提高烟草植株叶片的生物量,增加烟叶中 N、P、K 的吸收量(分别比对照组高出 68.51%、59.15% 和 100.32%),提高烟叶中水溶性总糖量 30.17%^[53]。

尽管蚕沙有机肥养分丰富,但肥效相对较低且释放较慢,推广应用有一定难度^[54]。广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所已建立一套蚕沙无害化及肥料化处理的技术规程,并利用蚕沙开发出了纯有机肥、有机无机复混肥和微生物菌肥等产品,走在蚕沙肥料产业化的前端^[2]。比如蚕沙有机无机复混肥——天蚕优地,该肥料利用蚕沙中的微生物多样性,以现代生物技术改良菌株、提高目标菌株的功效为目标,通过活化土壤 N、P、K,以提高肥料利用率。唐茂荣等^[54]分别施天蚕优地有机复混肥和普通桑树专用复混肥在桑树上进行应用试验,结果表明桑树施用天蚕优地后 667 m² 桑园年产量比普通桑树专用复混肥增产 930.69 kg,增幅为 33.2%,这对探索开展蚕沙多元化利用和对合理处理蚕沙、拓宽生物菌肥原料并进行资源化利用等具有重要意义。

2.6 作环保材料用

蚕沙是一种农业废弃有机物料,来源广泛、价格低廉,同时富含各类营养物质、微量元素以及少量生物碱等,既能够改善土壤酸度,提高土壤养分,改良土壤结构,还可以显著降低土壤中的有效态 Cd、Pb 含量^[55,56]。林李华等^[57]通过试验发现在蚕沙土壤调理剂(蚕沙 50%、贝壳 40%、氧化镁 10%)的作用下,酸性土壤 pH 上升了 0.77,土壤有机质含量提高了 6.94%,豆角产量增加了 125.99%。而范稚莲等^[58]通过大田实验,选用不同的土壤改良剂(煤灰、菌渣、蚕沙、煤灰和菌渣组合、煤灰和蚕沙组合),分析其对玉米富集重金属的影响。结果表明在玉米苗期,蚕沙对地上部分富集重金属的抑制效果最佳,吸收 As、Cd、Pb 和 Zn 分别降低 60.46%、68.87%、

63.99%和 19.51%。而在玉米成熟期,蚕沙对玉米根、茎富集重金属的效果最佳。

表 1 饲料中添加蚕沙喂养畜禽的文献报道

畜禽种类	畜禽初始状态	试验时间/d	考察指标	蚕沙最佳用量	利用形式	优点	文献来源
鸡	1 日龄,体重相近,公母各半	42	生产性能、经济效益等	—	基础饲粮与蚕沙	提高平均增重、料肉比,增加经济效益	[44]
鹅	15 月龄,体重接近、公鹅	1	蚕沙营养价值、鹅对营养物质利用率	15%	基础饲粮与蚕沙	蚕沙营养价值高于小麦麸、苜蓿、增加收益	[39]
猪	生猪 体重 35kg 左右,随机分组	75	生长性能、屠宰指标、经济效益	7%	基础饲粮与蚕沙	提高瘦肉率、增加经济效益	[45]
	育肥猪 体重 35kg 左右,同性别,年龄相近	75	生长性能、屠宰性能	7%	基础饲粮与蚕沙	提高瘦肉率	[46]
黑山羊	4 月龄,体重 23.03 ± 0.84kg,阉公羊	6	蚕沙中粗蛋白、粗纤维等瘤胃降解率	—	基础饲粮与蚕沙(提取叶绿素后蚕沙渣)	蚕沙价格低廉、营养价值高	[47]
羊	黑山羊 3 月龄,体重 20 ± 1.3 kg,阉公羊	90	生长性能及经济效益等	25%	基础日粮与蚕沙	提高生长性能和经济效益	[48]
	绵羊 3 月龄,体重相近	60	生长性能、屠宰性能、血清生化指标	20%	基础日粮与蚕沙制粒	增加平均日增重、提高屠宰率、降低料重比	[49]
兔	新西兰兔 35 日龄,体重差异不显著,公母各半	60	生产性能、屠宰性能、脏器比值等	12%	基础日粮与蚕沙(提取叶绿素后的废弃物)	提高粗纤维含量、降低粗脂肪含量	[50]
	新西兰兔 35 日龄,体重 1.06 ± 0.09 kg,公母各半	60	兔肉品质	—	基础日粮与蚕沙制粒	提高肉嫩度和肌肉亮度和红度、降低脂肪含量	[51]

生物炭作为一种新型环境功能材料,因其具有精致的微孔结构和巨大的比表面积等特殊的物理化学性质,在土壤改良与修复领域展现出良好的应用前景^[59]。严静娜等^[60]研究了不同热解温度蚕沙生物炭对土壤中 Cd、Pb 的钝化效果,结果显示:添加蚕沙生物炭对重金属的钝化效果明显,显著降低了土壤中 Cd、Pb 的弱酸可提取态含量,提高了残渣态含量,不同热解条件蚕沙生物炭钝化效果为 700 °C > 500 °C > 300 °C。而杨惟薇等^[61]通过室内培养试验,以甘蔗叶、木薯秆、水稻秸秆和蚕沙为原料制成生物炭,研究其对潮土中 Cd 的钝化效果。结果表明,添加生物炭后,土壤 pH 值和阳离子交换容量(CEC)增加,弱酸可提取态和可还原态 Cd 含量显著降低,而可氧化态和残渣态 Cd 含量提高,钝化效果为蚕沙生物炭 > 水稻秸秆生物炭 > 木薯秆生物炭 > 甘蔗叶生物炭。同

样,曹美珠等^[62]在研究生物炭对土壤中阿特拉津淋溶与迁移的影响时,也发现施加蚕沙生物炭显著增加土壤 CEC 和有机碳的含量,明显抑制阿特拉津在土柱中的淋溶与迁移。另外蚕沙生物炭材料还对农药噻虫嗪具有缓控释作用,室温下该蚕沙生物炭对噻虫嗪的释放表现出长效释放效力。按照一般农作物的需药量,该生物炭只要按照 0.5 g/(d·m²)的投入量便能很好地对农作物进行长效的虫害防治(> 40 d)^[63]。Li et al^[64]研究了蚕沙生物炭对双酚 A 的吸附效果。他们认为炭化过程中形成的无机矿物成分堵塞了生物炭的内部孔径,减少了吸附位的数量,而生物炭经酸洗后,可以增加生物炭对双酚 A 的吸附。

徐蒙蒙等^[56]通过室内淹水土培试验,研究了蚕沙配施蚕沙炭、膨润土、腐殖质钾和泥炭对酸性水稻土中 Cd 和 Pb 的钝化效果,发现蚕沙

复配材料均不同程度地提高了土壤 pH 和有机质含量,有效态 Cd、Pb 的含量随着淹水时间的延长,都有不同程度的降低。与对照相比,添加蚕沙和蚕沙炭、蚕沙和腐殖质钾、蚕沙和蚕沙炭和腐殖质钾、蚕沙和泥炭培养 28 d 后,土壤有效态 Cd 分别降低了 16.07%、15.51%、11.08%、7.76%;有效态 Pb 则降低了 32.54%、27.12%、37.72%、42.31%。其中蚕沙和蚕沙炭组合对 Cd 的钝化效果最好,蚕沙和泥炭组合对 Pb 的钝化效果最好。同样地,卢美献等^[65]研究了蚕沙炭(BC)、硅酸钙(Si)、硫酸亚铁(Fe)及其组合对 Cd、As 复合污染土壤的修复效果,结果表明 Fe、Fe+BC 处理极显著降低了土壤有效态 As 含量,分别为 48.06% 和 33.75%。Si、BC 和 Fe+BC 显著降低了有效态 Cd 含量,分别为 19.56%、14.29% 和 33.32%。

2.7 其它用途

蚕沙可以作为发酵沼气的原料。蚕沙不仅含有沼气发酵微生物生长所必需的蛋白质、纤维素、糖类物质,还有大量可被产甲烷细菌直接利用的可溶性有机物^[66]。据测算,将 1 t 的蚕沙和粪水堆沤 15 d 后再入沼气池,产气量可达到 42 m³ 左右,可持续产气 80 d^[67]。但是由于蚕沙中含有大量抑菌成分,因此,未经过池外堆沤的蚕沙不能直接入池发酵,尤其是初次装料的新池^[66]。最新研究表明^[68],蚕沙制成高比表面(2 258 m²/g)的碳纳米片后,可以提高材料表面湿润性和电导率,因此该碳纳米片可以作为超级电容器的高性能电极材料。家蚕通过喂食铜、银纳米材料后,可以明显提高蚕丝的热稳定性和力学性质^[69]。但是家蚕喂食铜、银纳米材料后的蚕沙具有怎样的性质和具体用途,目前报道的文献很少,还需要科研工作者更深入地研究。

3 展望

蚕沙资源丰富,利用形式多样化,为最大限度地利用蚕沙资源,我们应采取以下策略:

一是高度重视蚕沙资源的处理及利用。政府及各相关部门要重视蚕沙随意丢弃的危害性及认清蚕沙资源开发利用所带来的经济社会环

境效益。蚕沙无害化处理和综合开发利用是蚕桑生产中急需解决的问题,应在资金、技术、政策等各方面给予支持。

二是加强蚕沙烘干及灭菌设备的研发。蚕沙有机质多,病菌也多,易腐败变质,不易保存,因此要大力开发蚕沙快速烘干及灭菌的设备,便于蚕沙的前期处理与保存,为后期综合利用提供保障。

三是加强蚕沙资源深加工技术研究。各蚕桑科研院所及相关机构、企业应加强技术合作,充分利用各自科研资源,优势互补。完善提取有效成分的工艺流程,优化工艺参数,拓宽蚕业发展新领域,通过多方面、多层次开展蚕沙资源综合利用,最大限度利用蚕沙资源(尤其在环保领域)。

参考文献

- [1] 郭铭建,蒋贵兵.重庆市蚕业多元化发展模式探索与推广[J].蚕学通讯,2016,36(4):34-40.
- [2] 廖森泰.关于发展生态蚕桑产业的思考[J].蚕业科学,2018,44(2):181-187.
- [3] 高云超,肖更生,廖森泰,等.蚕沙处理资源化利用研究进展[J].广东农业科学,2011,38(8):107-109.
- [4] 杨琼,廖森泰,邢东旭,等.改良蚕沙静态好氧堆肥的发酵温度及对家蚕病原菌的灭活效果[J].蚕业科学,2012,38(6):1018-1023.
- [5] 施明毅,李建利,卢先明,等.蚕沙研究概况[J].中药与临床,2013,4(4):53-56.
- [6] 孙松,蔡锦源,熊建文,等.蚕沙的多成分综合利用研究进展[J].轻工科技,2016,32(5):10-11+17.
- [7] 孙克年.蚕沙的开发利用[J].饲料研究,1995(7):17-18.
- [8] 廖森泰,杨琼,张发宝,等.华南蚕区蚕沙产地无害化和肥料化处理技术体系构建思路[J].蚕业科学,2011,37(6):1086-1088.
- [9] 陈秀月,王羽聘,邱宗渭.蚕沙栽培基质的调制研究[J].江苏蚕业,1997,19(2):1-6.
- [10] 杨海霞,朱祥瑞,房泽民.蚕沙的开发利用研究进展[J].蚕桑通报,2002,33(3):9-12.
- [11] 亏开兴,李乔仙,吴文荣,等.桑叶与蚕沙作为畜禽饲料的营养价值评定[J].云南农业大学学报(自然科学),2018,33(2):233-239.

- [12] 王玉江,姜宏宇,沙长青. 新型培养料栽培食用菌研究的现状及展望[J]. 黑龙江科学,2018,9(1):82-84.
- [13] 叶晶晶,曹宁宇,吴建梅,等. 蚕沙资源的综合利用研究进展[J]. 四川蚕业,2016,44(4):10-11.
- [14] 张剑飞,张烈,吴健梅,等. 废弃桑枝及蚕沙栽培大球盖菇新技术[J]. 农技服务,2009,26(11):28,58.
- [15] 白兴荣,柴建萍,谢道燕. 用五龄蚕沙制作蘑菇栽培种试验[J]. 中国食用菌,2003(3):28.
- [16] 卓金亮. 用桑枝粉和蚕沙栽培金针菇[J]. 广西蚕业,2004,41(3):46-47.
- [17] Zheng T., Su S., Dai X., et al. Metabolomic Analysis of Biochemical Changes in the Serum and Urine of Freund's Adjuvant-Induced Arthritis in Rats after Treatment with Silkworm Excrement[J]. *Molecules*, 2018, 23(6):1490.
- [18] 尹浩,周恩超. 周恩超教授从毒论治慢性肾衰竭常用药对介绍[J]. 浙江中医药大学学报,2016,40(12):932-935.
- [19] 欧盛,欧远望. 蚕桑副产品资源的开发利用[J]. 农业与技术,2017,37(3):49-50.
- [20] 郝平. 开发蚕桑副产物增加产业经济效益[J]. 农业经济,2003(7):40.
- [21] Uzakova D. U., Kolesnik A. A., Zherebin Y. L., et al. Lipids of mulberry leaves and of mulberry silkworm excreta[J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 1987, 23(4):419-422.
- [22] 朱莉娜,曲鑫璐,王萍. 蚕沙天然染料的提取及其真丝绸染色[J]. 印染助剂,2016,33(12):45-48.
- [23] 陈智毅,肖更生,陈卫东,等. 蚕沙及蚕沙冲剂中1-脱氧野尻霉素的离子色谱法测定[J]. 中国蚕业,2003,24(1):30-31.
- [24] 吕寒,裴咏萍,李维林. 红凤菜黄酮类化学成分的研究[J]. 中国现代应用药学,2010,27(7):613-614.
- [25] Iqbal S., Younas U., Sirajuddin, et al. Proximate Composition and Antioxidant Potential of Leaves from Three Varieties of Mulberry (*Morus* sp.): A Comparative Study[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2012, 13(6):6651.
- [26] Uzakova D. U., Kolesnik A. A., Zherebin Y. L., et al. Carotenoids of mulberry leaves and of silkworm excreta [J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 1987, 23(1):124-125.
- [27] 余炼,颜栋美. 超声波辅助提取蚕沙中类胡萝卜素[J]. 食品科技,2009,34(8):158-162.
- [28] 李富兰,颜杰,郭金全,等. 联合提取蚕沙中果胶和叶酸的研究[J]. 蚕桑通报,2010,41(2):18-21.
- [29] 周光雄,阮杰武,黄美燕,等. 蚕沙中生物碱成分研究[J]. 中药材,2007(11):1384-1385.
- [30] Vimolmangkang S., Somkhanngoen C., Sukrong S. Potential Pharmaceutical Uses of the Isolated Compounds from Silkworm Excreta[J]. *Chiang Mai Journal of Science*, 2014, 41(1):97-104.
- [31] 吕寒,马丽,陈剑,等. 蚕沙中黄酮和生物碱提取工艺研究[J]. 江西农业学报,2014,26(5):101-103.
- [32] 孙波,李勇,吴洪丽,等. 蚕沙成分及提取工艺研究进展[J]. 中国蚕业,2009,30(4):18-21.
- [33] Gongfu Z. The Structural Characteristics and Effects of the Dyke-pond System in China[J]. *Outlook on Agriculture*, 1989, 18(3):119-123.
- [34] 陈乐乐,黄静,邝哲师,等. 发酵处理对不同来源蚕沙中亚硝酸盐的降解效果试验[J]. 蚕业科学,2018,44(3):458-465.
- [35] 吴汉. 蚕沙处理资源利用分析[J]. 农业与技术,2018,38(8):112.
- [36] 赵凤至,杨海明,胥蕾,等. 饲料中果胶对28~70日龄扬州鹅生长性能、体尺性状、屠宰性能及脏器指数的影响[J]. 动物营养学报,2018,30(7):2717-2724.
- [37] Ju W. T., Kim K. Y., Sung G. B., et al. Effects of Physiological Active Substance Extracted from Silkworm Fece[J]. *International Journal of Industrial Entomology* 2014, 29(2):179-184.
- [38] Li L., Liao S., Li W., et al. Fingerprint of Exhaust Gases and Database of Microbial Diversity During Silkworm Excrement Composting [J]. *Compost Science & Utilization*, 2018, 26(1):40-51.
- [39] 李彦品,王志跃,杨海明,等. 蚕沙作为鹅饲料的营养价值评定[J]. 动物营养学报,2015,27(12):3840-3845.
- [40] 杨琼,李丽,邢东旭,等. 增施蚕沙有机肥对桑园土壤酶活性以及桑叶产量和品质的影响[J]. 蚕业科学,2016,42(6):968-972.
- [41] 陈晓萍,谢亚军,罗光恩,等. 蚕沙有机肥的养分

- 特性及其肥效[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1803-1809.
- [42] 石雷磊, 徐建中. 蚕沙发酵肥对连作杭白菊药材产量和品质的影响[J]. 浙江中西医结合杂志, 2018, 28(6): 513-515.
- [43] 王博林, 宋腾蛟, 徐红梅, 等. 蚕沙发酵肥在制作过程中的微生物结构变化[J]. 中国微生态学杂志, 2018, 30(5): 514-520.
- [44] 郑学斌, 李冬梅. 蚕沙饲喂肉鸡的试验研究[J]. 山东家禽, 2003(3): 14-15.
- [45] 王建科, 任淑文, 李志, 等. 利用蚕沙喂猪的试验研究[J]. 山东蚕业, 2005(3): 9-13.
- [46] 陈翠玲, 陈晓华, 卢广林, 等. 生长猪日粮中蚕沙的饲用价值研究[J]. 吉林农业科学, 2007(4): 46-48.
- [47] 柏雪, 郭春华, 黄艳玲, 等. 蚕沙及几种常用粗饲料在山羊瘤胃的降解率[J]. 四川农业大学学报, 2011, 29(1): 98-102.
- [48] 郭春华, 黄艳玲, 马力, 等. 蚕沙替代精料对乐至黑山羊生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2010(16): 21-23.
- [49] 孙丽莎, 赵睿, 崔慧慧, 等. 饲粮不同水平蚕沙对绵羊生长性能、屠宰性能、器官发育和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(3): 941-947.
- [50] 尹永志, 郭春华, 黄艳玲, 等. 蚕沙对新西兰兔生产性能、屠宰性能及脏器比重的影响[J]. 中国饲料, 2010(20): 23-25.
- [51] 余淼, 尹永志, 郭春华, 等. 不同水平蚕沙对新西兰兔肉质品质的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2011, 38(7): 13-15.
- [52] 谢锦灵, 陈惠清, 韦建武, 等. 不同用量蚕沙有机肥对大白菜产量和软腐病发生的影响[J]. 南方农业, 2016, 10(19): 14-16.
- [53] 罗珍, 张宇亭, 申鸿, 等. 蚕沙发酵有机肥对烟草生长及其品质的影响[J]. 蚕业科学, 2011, 37(4): 775-779.
- [54] 唐茂荣, 龚美霞, 莫优想, 等. 天蚕优地复混肥在桑树上的应用试验[J]. 广西蚕业, 2018, 55(1): 17-20.
- [55] 黎大荣, 杨惟薇, 黎秋君, 等. 蚕沙和赤泥用于铅镉污染土壤改良的研究[J]. 土壤通报, 2015, 46(4): 977-984.
- [56] 徐蒙蒙, 涂春艳, 黄河, 等. 淹水条件下蚕沙复配材料对酸性水稻土中镉铅钝化的影响[J]. 环境工程学报, 2018, 12(4): 1182-1189.
- [57] 林李华, 支胡钰. 蚕沙土壤调理剂对酸性土壤改良及豆角生长的影响[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(4): 108-114.
- [58] 范稚莲, 雷蕾, 莫良玉, 等. 不同改良剂对玉米富集重金属含量的影响[J]. 南方农业学报, 2016, 47(12): 2047-2052.
- [59] 肖洋, 张乃明. 生物炭对土壤中常用除草剂吸附效应的研究进展[J]. 环保科技, 2018, 24(2): 40-43.
- [60] 严静娜, 覃霞, 梁定国, 等. 不同热解温度蚕沙生物质炭对土壤镉、铅钝化效果研究[J]. 西南农业学报, 2015(4): 1752-1756.
- [61] 杨惟薇, 张超兰, 曹美珠, 等. 4种生物炭对镉污染潮土钝化修复效果研究[J]. 水土保持学报, 2015(1): 239-243.
- [62] 曹美珠, 张超兰, 潘丽萍, 等. 两种生物炭对两种质地土壤中阿特拉津淋溶与迁移的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(1): 65-71.
- [63] Wei Y., Wu Y., Chang Q., et al. Correction: Ultrasonic-assisted modification of a novel silkworm-excrement-based porous carbon with various Lewis acid metal ions for the sustained release of the pesticide thiamethoxam[J]. RSC advances, 2017, 7(56): 35159-35159.
- [64] Li J., Liang N., Jin X., et al. The role of ash content on bisphenol A sorption to biochars derived from different agricultural wastes [J]. Chemosphere, 2017, 171: 66-73.
- [65] 卢美献, 李方圆, 张超兰, 等. 不同固定剂对土壤中镉砷钝化修复效果研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2016, 41(5): 1667-1675.
- [66] 薛强, 李森, 李金志, 等. 蚕沙生物质能的转化利用[J]. 吉林农业, 2016(18): 58-59.
- [67] 罗定兰, 田时铭. 浅谈蚕沙产沼气循环利用效益[J]. 四川蚕业, 2010, 38(4): 51-52.
- [68] Lei S., Chen L., Zhou W., et al. Tetra-heteroatom self-doped carbon nanosheets derived from silkworm excrement for high-performance supercapacitors [J]. Journal of Power Sources, 2018, 379: 74-83.
- [69] Cheng L., Huang H., Chen S., et al. Characterization of silkworm larvae growth and properties of silk fibres after direct feeding of copper or silver nanoparticles[J]. Materials & Design, 2017, 129: 125-134.

(下转第 12 页)

- [9] 张媛,包海鹰. 四种多孔菌子实体粗多糖抗肿瘤活性的比较研究[J]. 菌物学报, 2014, 33(1): 114-120.
- [10] 王占斌,孙常雁,李德海,等. 粗毛纤孔菌子实体多糖的提取及免疫功能研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 383-386.
- [11] 胥立峰,梁瑞娟,包海鹰. 粗毛纤孔菌提取物的抗氧化和抑菌活性研究[J]. 北方园艺, 2015(5): 151-155.
- [12] 李雨沁,胡建伟. 粗毛黄褐孔菌多糖降血糖试验研究[J]. 中国食用菌, 2010, 29(1): 49-51.
- [13] 郭楚燕,胡建伟,李雨沁,等. 粗毛黄褐孔菌的人工驯化栽培[J]. 中国食用菌, 2009, 28(3): 12-13, 18.
- [14] 王婷,包海鹰,图力古尔,等. 寄生于蒙古黄榆上的粗毛纤孔菌生物学特性及驯化栽培[J]. 菌物学报, 2015, 34(5): 1-11.
- [15] 宋永学,王晖,张东豪,等. 寄生桑树的粗毛纤孔菌的人工栽培试验[J]. 蚕业科学, 2016, 42(6): 1085-1091.
- [16] 秦俊哲,王雅凤,刘华. 桑黄 DNA 提取及 RAPD 反应体系的优化[J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 210-215.

Study on Screening of Excellent Strains of *Inonotus hispidus* Parasitizing on Mulberry

SONG Yongxue, LI Jisheng, GAO Yanxia, JIA Manli, LI Na, YANG Guiming*

(Applied Technology Research and Development Center of Hebei Universities for Silkworm and Mulberry as Specialty, Sericulture Research Institute, Chengde Medical University, 067000, Chengde, Hebei, China)

Abstract: *Inonotus hispidus* is a kind of phellinus igniarius with high medicinal value. To screen out excellent strains suitable for artificial cultivation, the hypha growth rates, fruiting rates, percentage of wild type fruit bodies, fruit body yields of 11 strains of *Inonotus hispidus* were compared by an artificial cultivation experiments. The results showed that there were significant differences among different strains of *Inonotus hispidus*. Strains 826-4 and 1018-3 had better fruit body yields, better qualities and outstanding advantages, which were two suitable strains for artificial cultivation.

Key words: *Inonotus hispidus*; screening; strains



(上接第 7 页)

Advances in the Diversified Utilization of Silkworm Excrement

JIANG Yongbing, HUANG Renzhi, JIANG Shimeng, QIN Zhixiong, LI Zhangbao*

(Sericultural Research Institute of Hunan Province, 410127, Changsha, Hunan, China)

Abstract: Silkworm excrement, a by-product of silkworm rearing, are mainly used for farm manure and animal feed. In recent years, with the in-depth study on the compositions, structures and characteristics of silkworm excrement, many excellent characteristics of silkworm excrement have been discovered and utilized. The paper elaborated the application status of silkworm excrement from six aspects: silkworm excrement used as matrix, silkworm excrement used as medicine, silkworm excrement used as raw material, silkworm excrement used as fertilizer, silkworm excrement used as feed and silkworm excrement for environmental protection. In addition, some suggestions and advice on how to make use of silkworm excrement resources in a diversified and innovative way was put forward.

Key words: silkworm excrement; diversified utilization; Biochar; feed; compost