

蓝莓发酵酒糟堆肥化制备蓝莓栽培基质的研究

万合锋^{1,2}, 武玉祥^{1,2}, 刘国华¹, 周 荧¹, 文光琴^{2,3*}, 聂 飞^{1,2}

(1. 贵州省生物研究所, 贵阳 550009; 2. 贵州省蓝莓产业工程技术研究中心, 贵州 凯里 557603; 3. 贵州省植物园, 贵阳 550025)

摘 要: 为了实现蓝莓红酒酒糟再利用, 构建“果-酒-渣-树-果”的绿色循环产业模式。本研究将蓝莓红酒糟与牛粪按照一定比例进行混合堆肥处理, 经原位监测、采样分析与基质 A、基质 B 两种蓝莓栽培的商品基质进行对比分析, 评价蓝莓发酵酒糟经过堆肥处理后作为蓝莓栽培基质的适宜性。结果: (1) 堆肥后蓝莓红酒糟 pH 值由最初的 3.28 增加到 5.86, 接近蓝莓生长最佳值; EC 值 0.79 mS/cm, 适合蓝莓生长; (2) 堆肥品中铵态氮为 120.44 mg/kg, 分别是商品基质 A、基质 B 的 1.91、1.54 倍; 有效磷为 40.96 mg/kg, 分别是基质 A、基质 B 的 9.14、1.56 倍; 速效钾为 968.17 mg/kg, 分别是基质 A、基质 B 的 6.31、1.06 倍; 有机质为 84.21%, 有机碳为 48.85%, 分别是基质 A、基质 B 的 1.84、1.81 倍; (3) 堆肥品种子发芽率指数为 78%, 达到可接受程度, 基本无毒性; (4) 重金属 (As、Hg、Pb、Cd、Cr) 含量均在标准限量范围内。结论: 蓝莓红酒糟与牛粪混合堆肥后形成的栽培基质铵态氮、有效磷、速效钾、有机质和有机碳等均优于基质 A、基质 B, 更适宜蓝莓的生长需要。所以, 蓝莓红酒糟是非常适宜用于蓝莓栽培基质的原料。

关键词: 蓝莓红酒酒糟; 牛粪; 堆肥; 栽培基质

中图分类号: S147.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)06-0040-06

Study on the Preparation of Blueberry Culture Substrate by Composting Blueberry Fermented Distillers' Grains

WAN Hefeng^{1,2}, WU Yuxiang^{1,2}, LIU Guohua¹, ZHOU Ying¹, WEN Guangqin^{2,3*}, NIE Fei^{1,2}

(1. Guizhou Institute of Biology, Guiyang 550009; 2. Guizhou Blueberry Industry Engineering Technology Research Center, Kaili 557603; 3. Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to realize the reuse of blueberry wine distillers' grains, a green recycling industry model of “fruit-wine-residue-tree-fruit” was established. In this study, blueberry wine distillers' grains and cow manure were composted in a certain proportion. After in situ monitoring, sampling analysis and comparison with matrix A and matrix B, two kinds of commercial matrix cultivated by blueberry were analyzed to evaluate the suitability of blueberry fermentation distillers' grains as substrate for blueberry cultivation after composting. The results show that: (1) After composting, the pH value of blueberry wine distillers' grains increased from 3.28 to 5.86, which was close to the optimum value of blueberry growth. An EC value of 0.79 mS/cm is suitable for blueberries growth. (2) Ammonium nitrogen in compost was 120.44 mg/kg, 1.91 and 1.54 times of that in the commercial matrix A and matrix B, respectively. Available phosphorus was 40.96 mg/kg, 9.14 and 1.56 times of that of matrix A and matrix B, respectively. The available potassium was 968.17 mg/kg, 6.31 and 1.06 times that of matrix A and matrix B, respectively. The organic matter was 84.21%, and the organic carbon was 48.85%, 1.84 and 1.81 times of that of matrix A and matrix B, respectively. (3) The germination index of compost varieties was 78%, which was acceptable and basically non-toxic. (4) The contents of heavy metals (As, Hg, Pb, Cd and Cr) were all within the standard limits. The ammonium nitrogen, available phosphorus, available potassium, organic matter and organic carbon of the cultivated matrix formed by the composting of blueberry wine distillers' grains and cow manure were better than those of ma-

收稿日期: 2019-12-29

基金项目: 贵州省院合作专项(黔科院SY字[2016]03号); 贵州科学院青年基金(黔科院J字[2020]04号); 贵州省生物研究所基金(黔生所科技计划合字[2018]03号)

作者简介: 万合锋(1986-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要研究方向为有机固废资源化处理。

通讯作者: 文光琴, 女, 高级工程师, E-mail: 512479941@qq.com

trix A and matrix B, which is more suitable for the growth of blueberry needs. Therefore, blueberry wine distillers' grains are very suitable for the cultivation of blueberry substrate raw materials.

Key words: Blueberry wine distillers' grains; Cow dung; Compost; Cultivation substrate

蓝莓是杜鹃花科越橘属多年生小浆果,是世界五大健康食品之一,被称为“黄金浆果”“超级水果”“世界第三代水果”^[1-2],被国家林业和草原局列为优势经济林^[3],蓝莓产业是贵州省委、省政府重点推进的六大精品水果产业之一,已成为贵州脱贫攻坚的重点产业。据统计,截至2017年,贵州蓝莓栽培面积达到13 000 hm²,占全国栽培面积的41.6%,位居全国第一,产量达到30 000 t^[4]。贵州蓝莓种植有30多个品种,种植面积以麻江县为核心扩散至全省^[5],主要以有机栽培为主^[6]。适宜蓝莓生长的栽培基质pH值应在4~5.5^[5],大部分栽培基质或土壤环境需要改良^[7],蓝莓栽培中常用硫黄粉调节酸性环境,见效慢,长期施用会引起土壤板结^[8],用食用醋、糠醛渣替代硫黄粉,来源局限难以满足产业发展需要^[8],蓝莓栽培基质多以商业购买,运输期长、成本高^[7]、通用性较低^[9],很有必要开发低成本、来源广的蓝莓栽培酸性调节原料。调查发现蓝莓果发酵后的酒糟pH值为3.28,可以作为酸性调节剂^[10],花青素含量2 mg/g,约为蓝莓鲜果的一半^[11],可以提取开发天然色素^[11],提取花青素后的酒糟和直接随意堆弃的酒糟造成资源浪费、也会带来环境污染^[12]。目前,蓝莓酒糟堆肥化处理研究鲜有报道,探索蓝莓酒糟作为堆肥化处理的酸性调节原料用于蓝莓栽培基质的可行性研究具有一定的科学价值和现实意义。

堆肥化处理是依靠微生物的作用^[13],使原料

从有机物转化为稳定、无害的物质^[14],可以降解残留的抗生素^[15]、固化重金属^[16],降低重金属有效性^[17-18],减少和消灭病原体^[19],是有机固体废弃物资源化的有效途径和一般步骤^[20-22],是促进有机废物向稳定的腐殖质转化的生物化学过程^[23],是解决有机废弃物污染环境的根本途径^[24]和无害化处理畜禽粪便的有效途径^[25],是资源化、无害化、稳定化的有效方法^[26]。本文以蓝莓红酒酒糟与牛粪混合堆肥,通过原位监测和采样分析,初步掌握酒糟堆肥品养分含量及酸碱度变化,并与商业购买的用于栽培蓝莓的基质A和基质B进行分析比较(基质A购于东北某有机肥厂,基质B购于贵州某有机肥厂),探讨蓝莓酒糟回用于蓝莓种植的可行性,为进一步开展蓝莓酒糟回收利用提供基础数据,为蓝莓栽培基质的配比优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

牛粪取自麻江县羊盖村养牛厂,蓝莓红酒糟取自麻江县瑞蓝果业公司,贝佳微生物菌剂产自山东贝佳生物科技有限公司,发酵剂有效活菌数≥100亿个/mL,主要成分为芽孢杆菌、放线菌、酵母菌、木霉菌、固氮菌、乳酸菌等有益微生物及其各种分泌性胞外酶类,供试种子为浙江美之奥种业公司的早熟5号白菜种子。堆肥原料性质见表1,试验在贵州蓝莓主产区麻江县羊盖育苗基地原料场地进行。

表1 堆体原料的性质

项目	体积比 (%)	含水率 (%)	容重 (kg/m ³)	pH值	有机质 (%)	有机碳 (%)	铵态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
酒糟	80	70.3	450.67	3.28	97.91	56.79	25.80	37.00	420.48
牛粪	20	70.4	652.00	7.5	62.61	36.32	20.82	67.42	771.88
混合	-	70.5	571.14	4.28	92.33	53.56	35.09	41.33	676.81

1.2 试验设计

堆肥原料按照酒糟:牛粪=4:1(鲜料体积比)比例混合(表1),采用条垛式堆肥工艺,堆体规格设置为长2.1 m、宽1.7 m、高0.8 m。2018年8月1日前为原料堆置期,共25 d,标记为-25~-1 d,堆肥从2018年8月2日开始至2018年9月11日结束,其中2018年8月13日前为升温期,12 d;8月14日至9月5日为堆肥高温期,23 d,9月6日起

(温度开始下降)为后腐熟期。在第-9 d补充40 L在阳光下晒温的含有600 mL微生物菌剂的水,在第1天加尿素(CH₄N₂O)2.5 kg折合N约1 166.7 g、微生物菌剂400 mL。堆肥过程分别在第-5、-17、1、10、21、41 d进行翻堆操作。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 样品采集与保存

在整个堆肥过程中的第1天(即加入尿素混

合后,见表1混合原料性质)和第41天采集固体样品,分别在堆体的两端和中间设置3个采样点位,每个采样点位用铁锹和采样铲采集表层、中层、深层样品,混合均匀,以四分法获取样品,存放于10号自封袋带回实验室,取一部分鲜样用于测定容重、pH值、电导率(EC)、含水率、有机质、有机碳和种子发芽率指数;另一部分鲜样自然风干、粉碎、过筛,用于测定铵态氮、有效磷、速效钾以及重金属(As、Hg、Pb、Cd、Cr)等。

1.3.2 温度测定

在堆肥过程中分别测量环境温度和堆体(顶部、中部、底部)温度,用WST/DTM411数显温度计测定堆体顶部(堆体表面向下约10 cm深度)、中部和底部(距地面约10 cm)温度,用温湿度计测定环境温度^[27]。

1.3.3 含水率、有机质和有机碳的测定

含水率采用称量法测定,准确称量鲜样品5.000 0 g置于坩埚中,在105℃下烘干至恒重,再次称重,计算含水率。有机质用灼烧法测定^[27],即在含水率测定后将样品置于马弗炉(SX-4-10型箱式电阻炉控制箱)600℃下灼烧6 h称重^[28],有机碳按照有机质:有机碳=1.724:1关系转化^[29]。

1.3.4 pH值和电导率(EC)的测定

按照去离子水(45 mL):鲜样品(5.0 g)=9:1(v/w)比例混匀,在150 r/min下震荡1 h,以4 000 r/min离心10 min,取上清液用0.45 μm水系滤膜抽滤。pH值用雷磁PHS-25 pH计测定,电导率用浙江托普云农公司TPY-16A型土壤养分速测仪测定。

1.3.5 铵态氮、有效磷和速效钾的测定

以去离子水:干样=5:1(v/w)混合,在200 r/min下震荡1 h,以3 000 r/min离心10 min,取上清液用0.45 μm水系滤膜抽滤。用浙江托普云农公司TPY-16A型土壤养分速测仪测定。

1.3.6 种子发芽率指数(GI)

首先制备堆肥鲜样浸提液,以去离子水:鲜样品=9:1(v/w)的比例进行混合,混合液在200 r/min下震荡10 min,以3 000 r/min离心10 min,取上清液用0.45 μm水系滤膜抽滤,得到堆肥鲜样浸提液。将滤纸平铺在9 cm培养皿中,挑选20粒籽粒饱满完好的早熟5号白菜种子于滤纸上,均匀加入5 mL浸提液,同时用蒸馏水做对照试验,设3次重复,在25℃恒温培养箱培养48 h,并用数显游标卡尺测量根长^[30-31],按照 $GI = (\text{处理种子发芽率} \times \text{处理种子总根长}) / (\text{对照种子发芽率} \times \text{对照种$

子总根长) $\times 100$ ^[28,31]计算种子发芽率指数。

1.3.7 重金属的测定

重金属(As、Hg、Pb、Cd、Cr)用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES 5300VAFS-933)测定。

1.4 数据处理

数据处理用Origin 8.5、EXCEL 2007,相关性分析用SPSS 19.0。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中温度、电导率和pH值的变化

由图1可以看出,堆置期-25~-1 d温度变化不明显,堆肥过程中堆体中部和底部温度在50℃以上持续13 d、顶部温度在50℃以上持续19 d,顶部、中部和底部最高温度分别达到64.0、60.2、59.0℃,在第1、10、21天因翻堆操作堆体各部位温度出现谷值;堆体温度从堆肥期第1天添加氮源和菌剂后迅速升高,堆肥结束堆体顶部、中部和底部温度分别是15.6、27.3、15.6℃。

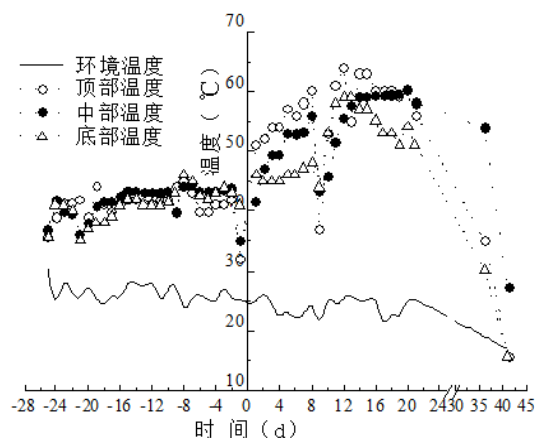


图1 堆肥过程中温度变化

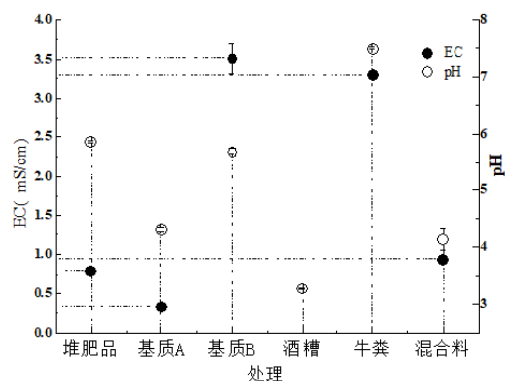


图2 堆肥品、商品基质和堆肥原料的电导率与pH值对比

用Shapiro-Wilk正态测试结果显示,统计量W值均小于显著水平0.05,顶部、中部和底部温度均

不属正态分布,用相关系数 r 分析,结果接近0,表明堆体温度与环境温度相关不密切。

图2对比了堆肥品、基质A、基质B、红酒糟、牛粪以及酒糟与牛粪的混合物的电导率与pH值情况,从中看出蓝莓酒糟堆肥处理后电导率EC值在0.79 mS/cm,基质A为0.34 mS/cm、基质B为3.50 mS/cm、牛粪为3.30 mS/cm。堆肥前牛粪pH值为7.50,酒糟pH值为3.28,混合堆肥后堆肥品pH值为5.86,基质A为4.33,基质B为5.68。

2.2 主要养分的含量

由图3可知,堆肥品铵态氮、有效磷、速效钾含量均高于其他两个商品基质,堆肥品中铵态氮120.44 mg/kg,分别是基质A、基质B的1.91、1.54倍;有效磷40.96 mg/kg,分别是基质A、基质B的9.14、1.56倍;速效钾968.17 mg/kg,分别是基质A、

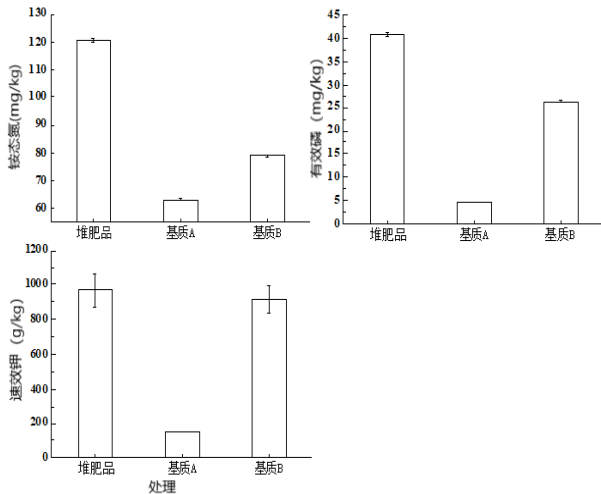


图3 堆肥品和商品基质中铵态氮、有效磷、速效钾含量

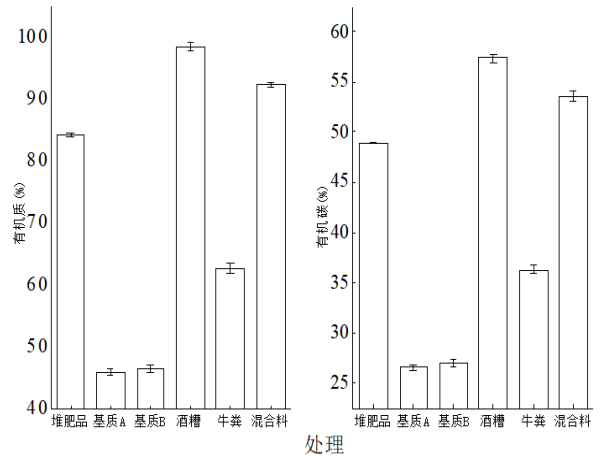


图4 堆肥品、商品基质和堆肥原料的有机质、有机碳含量情况

基质B的6.31、1.06倍。由图4可知,混合前酒糟中有机碳、有机质含量最高,酒糟、牛粪混合堆肥后有机碳、有机质含量也优于其他两种商品基质,堆肥结束堆肥品中有机质84.21%、有机碳48.85%,分别是基质A、基质B的1.84、1.81倍。

2.3 发芽率指数和感官指标变化

发芽率指数用早熟5号白菜种子测试,在25℃恒温培养箱培养48 h,本试验中测定堆肥品发芽率指数为78%,达到可接受程度。感官指标达到(NY525-2012)《农业农村部有机肥料标准》,外观颜色为灰褐色,均匀,无恶臭。

2.4 重金属情况

农业农村部行业标准(NY 525-2012)《有机肥料》标准要求:重金属砷、汞、铅、镉、铬(As、Hg、Pb、Cd、Cr)总量分别不超过15、2、50、3、150 mg/kg^[32-34],

表2 堆肥品、商品基质的重金属含量 mg/kg

样品	As	Hg	Pb	Cd	Cr
标准值	≤15	≤2	≤50	≤3	≤150
堆肥品	12.16±0.05	ND	27.35±0.04	1.62±0.01	40.00±1.50
基质A	27.62±0.60	1.29±0.20	15.32±0.30	1.96±0.50	17.00±1.50
基质B	8.85±0.08	2.25±0.30	40.25±0.63	ND	86.00±3.60

注:ND表示低于检出限0.05 mg/kg

试验结果如表2所示,除基质B汞含量高出标准限量值0.25 mg/kg,其他堆肥品和商品基质的指标均在标准要求的限量内。

3 讨论

温度反映微生物代谢强度和堆肥物质转化速度^[35],是可溶性有机物^[36]被微生物代谢产生热量积累的结果,反映微生物活性变化和堆肥腐熟程度^[37];低温不利于有机质降解甚至停止,也会影响

硝化和反硝化作用,过高温度导致一些纤维素、木质素的微生物死亡^[13]。《粪便无害化卫生标准》(GB7959-2012)规定,堆肥温度保持50℃以上7~10 d便符合粪便无害化标准^[24, 38],试验中堆体温度在50℃以上有10 d以上。而在堆置期内堆体中氮源抑制了微生物活性,影响微生物硝化作用及细胞合成^[24],从而导致温度不能升高,延长了堆肥时间^[39],在第1天添加氮源后微生物的代谢强度增加,分解加快,温度快速升高,再次验证了氮

源是影响微生物代谢活动的主要因素,并且堆肥初期微生物菌剂的添加,也增多了微生物的新陈代谢活动、促进温度升高^[40]。

电导率EC值反映堆肥品中可溶性盐的含量,用来评估堆肥品对植物的毒害水平^[28],无害化堆肥要求电导率EC值在3.0 mS/cm以下(一般小于2.6 mS/cm^[41])达到无害化要求,当EC值在4.0 mS/cm以上作物难以生长^[28],试验中,经堆肥处理的酒糟堆肥品EC值在0.79 mS/cm,优于基质B的3.5 mS/cm,更利于作物的生长。一般pH值在堆肥前期随铵态氮的积累而升高,后期随硝态氮质量分数升高而下降,总体呈先升后降趋势^[13],试验中堆肥后堆肥品pH值5.86,符合有机肥腐熟pH值指标5.5~8.0^[42],接近于蓝莓生长最佳pH值4~5.5^[5],基质A和基质B的pH值均能适宜蓝莓生长,而不经堆肥处理的牛粪pH值为7.5,不宜直接作为蓝莓的栽培基质。

铵态氮、有效磷、速效钾是易被作物吸收利用的有效营养形态。堆肥中铵态氮主要源于氨化微生物的转化,铵态氮除供微生物自身利用消耗外,部分转化为硝酸盐和以氨气形式挥发^[43],堆肥结束铵态氮较初始值高,由于高温期后微生物氧化作用、硝化作用和氨气挥发减弱,矿化存在酒糟中的氮素得到释放^[13,43],堆肥结束堆肥品中铵态氮分别是基质A、基质B的1.91、1.54倍,有效磷分别是基质A、基质B的9.14、1.56倍,速效钾分别是基质A、基质B的6.31、1.06倍。

堆肥中有机质和有机碳处于缓慢下降状态,在高温期下降迅速,后腐熟期低温度导致降解趋于停止^[13],试验中堆肥初期有机质为92.33%,后期下降到84.21%,远高于农业农村部行业标准(NY 525-2012)《有机肥料》不低于45%的限量,有机碳从初期的53.56%下降到48.85%。

种子发芽率指数GI值是评价堆肥质量^[44]、生物毒性和腐熟度的生物学指标^[23,37,45-47],堆肥化处理有机酸和氨气对种子发芽抑制逐渐被消除^[14],该方法在20世纪80年代开始被广泛应用^[44]。当GI<50%时,堆肥品有明显毒性抑制,50%<GI<80%,堆肥基本腐熟,达到可接受程度,基本无毒性^[36,43,48],GI>80%(80%~85%^[16])堆肥腐熟、无毒性^[37,41,45]。试验中堆肥结束堆肥品发芽率指数达到78%>50%,基本腐熟。

在畜禽养殖中为了防止畜禽疾病,常饲喂含有不宜被畜禽吸收的重金属添加剂,随粪便排出还田后可能导致重金属富集迁移^[16,28,49],通过堆肥处理可以固化重金属^[16]。试验中添加蓝莓酒糟

的牛粪堆肥品和基质A的重金属砷、汞、铅、镉、铬均在农业农村部行业标准(NY 525-2012)《有机肥料》标准限量内,基质B的汞含量超出标准限量0.25 mg/kg。在后期栽培试验研究中可以考虑将堆肥品与硫酸铝混合加速改良土壤酸碱环境^[50],还可以从根际微生物着手研究外源微生物菌剂与堆肥品配施后蓝莓根际微环境的响应及蓝莓生长发育状况^[51],有效提高堆肥品的利用效率。在改良蓝莓酸性环境中,还应防止过度改良,应关注是否存在蓝莓种植年限增加和肥料施加引起土壤过度酸化问题,如人参适宜生长在pH值为5.5~6.5的弱酸性环境,但研究发现随着人参栽植年限和农药肥料的施加土壤环境会被过度酸化,造成生长发育不良^[52]。

4 结 论

蓝莓酒糟是蓝莓酒酿制后的产物,其有机质含量高,呈酸性,理论上有利于蓝莓的栽培生长。经堆肥处理后外观颜色为灰褐色,均匀无恶臭,电导率EC值、发芽率指数、重金属(As、Hg、Pb、Cd、Cr)含量均在作物生长所需要的安全限值内,蓝莓红酒酒糟与牛粪混合堆肥后形成的栽培基质的铵态氮、有效磷、速效钾、有机质和有机碳等均优于基质A、基质B,更适宜蓝莓的生长需要。综上,可以考虑把蓝莓红酒酒糟作为蓝莓的栽培基质再利用,扩展产业链,发展循环生态农业,继续开展优化蓝莓酒糟用量的堆肥试验与盆栽、大田验证试验,不断探索适宜蓝莓生长的最佳栽培基质。

参考文献:

- [1] 周 荧,武玉祥,李永霞.高效液相色谱测定蓝莓叶片内源激素的方法研究[J].中国果树,2018(3):88-91.
- [2] 徐 青,周元敬,黄 筑,等.蓝莓花青素的提取及分离研究进展[J].食品与生物技术学报,2016(9):897-906.
- [3] 黄 科,孙向成,何光明,等.施硫调节基质pH值对蓝莓幼苗生长、养分含量的影响[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2016(2):166-169.
- [4] 李亚东,裴嘉博,孙海悦.全球蓝莓产业发展现状及展望[J].吉林农业大学学报,2018,40(4):421-432.
- [5] 任艳玲,王 涛,周 杰.贵州蓝莓产业的发展现状及对策[J].贵州农业科学,2016,44(6):172-175.
- [6] 叶 婵.蓝莓根腐病的生物防治技术研究[D].贵阳:贵州大学,2018.
- [7] 曾其龙,董刚强,田亮亮,等.椰糠在蓝莓基质栽培上的应用[J].果农之友,2019(2):20.
- [8] 杨 芩,曹锡波,张婷婷,等.木醋对蓝莓土壤pH值和主要营养成分的影响[J].中国南方果树,2018,47(4):88-91.
- [9] 尤 毅,刘金梅,邱笏阳,等.不同配方栽培基质对盆栽蓝

- 菌生长的影响[J]. 广东农业科学, 2018, 45(12): 38-43.
- [10] 万合锋, 黄振兴, 武玉祥, 等. 农业废弃物调查并结合蓝莓种植浅析其利用价值[J]. 环境科学导刊, 2019, 38(2): 70-74.
- [11] 廖婷婷, 石彬, 肖兵, 等. 微波辅助提取蓝莓酒糟中花青素的研究[J]. 中国酿造, 2015, 34(10): 111-115.
- [12] 宋 颀, 廖婷婷, 王 绩, 等. 微波辅助提取蓝莓酒糟中花青素的工艺优化及 HPLC-ESI-MS 鉴定[J]. 华中农业大学学报, 2018, 37(5): 65-73.
- [13] 赵青松, 李萍萍, 王纪章, 等. 醋糟条垛式堆肥发酵技术及效果[J]. 农业工程学报, 2010(7): 255-259.
- [14] 张雪辰, 邓 双, 王旭东. 快腐剂对畜禽粪便堆肥过程中腐熟度的影响[J]. 环境工程学报, 2015(2): 888-894.
- [15] 仇天雷, 高 敏, 韩梅琳, 等. 鸡粪堆肥过程中四环素类抗生素及抗性细菌的消减研究[J]. 农业环境科学学报, 2015(4): 795-800.
- [16] 温沁雪, 曹永森, 陈志强. 猪粪堆肥过程中金霉素去除及重金属形态变化[J]. 环境科学, 2017(10): 4405-4411.
- [17] 李 轶, 冯洋洋, 张 辉, 等. 温度对猪粪厌氧发酵中 Cu, Zn, Cr 形态的影响[J]. 中国沼气, 2017(3): 11-15.
- [18] Gou M, Hu H, Zhang Y, et al. Aerobic composting reduces antibiotic resistance genes in cattle manure and the resistome dissemination in agricultural soils[J]. Science of The Total Environment, 2018, 612: 1300-1310.
- [19] Dhyani V, Kumar Awasthi M, Wang Q, et al. Effect of composting on the thermal decomposition behavior and kinetic parameters of pig manure-derived solid waste[J]. Bioresource Technology, 2018, 252: 59-65.
- [20] 周谈龙, 尚 斌, 董红敏, 等. 中试规模猪粪堆肥挥发性有机物排放特征[J]. 农业工程学报, 2017(6): 192-198.
- [21] 邓永平, 辛嘉英, 郑洛昀, 等. 微生物发酵醋糟的研究进展[J]. 中国酿造, 2016(10): 5-8.
- [22] 方华舟, 左雪枝. 牛粪堆肥升温菌剂的筛选及其作用机制[J]. 环境工程学报, 2013(9): 3689-3694.
- [23] Li Y, Luo W, Li G, et al. Performance of phosphogypsum and calcium magnesium phosphate fertilizer for nitrogen conservation in pig manure composting[J]. Bioresource Technology, 2018, 250: 53-59.
- [24] 陈文浩, 王彦杰, 荆瑞勇, 等. 微生物菌剂对条垛式堆肥中氮素变化的影响[J]. 农机化研究, 2011(12): 179-182.
- [25] 勾长龙, 王雨琼, 张喜庆, 等. 高温堆肥对猪粪中四环素类抗生素及抗性基因的影响[J]. 环境科学学报, 2017(4): 1454-1460.
- [26] 孙雪微, 许修宏, 孟庆欣, 等. 牛粪堆肥中氨氧化细菌群落结构及其与环境因子相关性研究[J]. 农业环境科学学报, 2017(1): 189-197.
- [27] Zhou H, Meng H, Zhao L, et al. Effect of biochar and humic acid on the copper, lead, and cadmium passivation during composting[J]. Bioresour Technol, 2018, 258: 279-286.
- [28] 万合锋. 猪粪堆肥及其在蔬菜地利用全过程中温室气体(N_2O 、 CH_4)和 NH_3 排放特征研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2012.
- [29] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 29-37.
- [30] 汤江武, 朱利中. 不同堆肥条件对种子发芽指数影响的研究报告[J]. 浙江农业科学, 2008(5): 583-586.
- [31] 张 婕, 庞少萍, 聂 超, 等. 柑桔修剪废弃物的堆肥基质化特性分析[J]. 中国南方果树, 2019, 48(1): 7-12.
- [32] 王若斐, 刘 超, 操一凡, 等. 不同碳氮比猪粪堆肥及其产品肥效[J]. 中国土壤与肥料, 2017(6): 127-134.
- [33] 吴红萍, 陈喜蓉, 金映虹. 利用废弃菌袋鸡粪堆肥发酵制备微生物菌肥的探索[J]. 基因组学与应用生物学, 2018(3): 1237-1242.
- [34] 周爱松, 王凤春, 刘向东, 等. 板栗废弃物与牛粪混合堆肥发酵适宜配比研究[J]. 安徽农业科学, 2018(14): 141-143.
- [35] 任 静, 郁继华, 颜建明, 等. 接种外源生物菌剂后牛粪堆肥腐植酸变化规律[J]. 农业环境科学学报, 2013(6): 1277-1283.
- [36] 张 欢, 王军霞. 好氧污泥堆肥添加牛粪的资源化处理[J]. 北方园艺, 2014(22): 173-176.
- [37] 李 杰, 郁继华, 冯 致, 等. 不同微生物菌剂对牛粪好氧堆肥的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2014(2): 109-113.
- [38] 周 思, 刘永霞, 葛永怡. 碳氮比对猪粪堆肥腐熟度的影响[J]. 贵州农业科学, 2017(9): 65-68.
- [39] Reyes-Torres M, Oviedo-Ocaña E R, Dominguez I, et al. A systematic review on the composting of green waste: Feedstock quality and optimization strategies[J]. Waste Management, 2018, 77: 486-499.
- [40] Yang S, Lipeng H, Yurui Z, et al. Effects of Bacteria and Accessories on Chicken Manure Compost[J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(2): 317-321.
- [41] 浩折霞, 黄大鹏, 顾少华, 等. 酒糟-牛粪堆肥复配瓜果类蔬菜育苗基质配方筛选[J]. 南京农业大学学报, 2017(3): 457-463.
- [42] 邓 践. 不同肥料对蓝莓生长和结实的影响[J]. 北方果树, 2015(4): 12-13.
- [43] 郭夏丽, 王兴胜, 朱正威, 等. 白酒糟高温好氧堆肥过程中氮素转化规律及堆肥周期探究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2014(5): 116-119.
- [44] Luo Y, Liang J, Zeng G, et al. Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects[J]. Waste Management, 2018, 71: 109-114.
- [45] 董存明, 张 曼, 邓小昱, 等. 不同碳氮比条件下鸡粪和椰糠高温堆肥腐熟过程研究[J]. 生态与农村环境学报, 2015(3): 420-424.
- [46] 孙德民, 赵青松, 田兴珍. 醋糟槽式堆肥工艺及设备[J]. 南方农机, 2017(23): 34-37.
- [47] 罗 渊, 袁 京, 李国学, 等. 种子发芽试验在低碳氮比堆肥腐熟度评价方面的适用性[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 179-185.
- [48] 王有月, 直俊强, 张加勇, 等. 2种不同微生物菌剂对鸡粪高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 畜禽业, 2018(5): 4-6.
- [49] 黄会前, 何腾兵, 李 阳, 等. 长期施用猪粪土壤的重金属含量及风险评价[J]. 西南农业学报, 2018(4): 824-829.
- [50] 周 薇, 王鸿斌, 朴海淑, 等. 苏打盐碱地水田的快速改良研究[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(5): 53-57.
- [51] 王 鹏, 韩 娟, 国淑梅, 等. 土壤微生物菌剂对大棚油桃植株特性的影响研究[J]. 东北农业科学, 2019, 44(2): 52-56.
- [52] 李芳明, 王继红, 李 玲, 等. 老参地土壤酸化的研究进展[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(6): 59-60, 97.

(责任编辑: 刘洪霞)