

不同葡萄废果组成对厌氧发酵转化活性物质的影响

赵峥, 周德平, 褚长彬, 王庆峰, 吴淑杭

引用本文:

赵峥, 周德平, 褚长彬, 王庆峰, 吴淑杭. 不同葡萄废果组成对厌氧发酵转化活性物质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(5): 1116-024-1.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1005>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

汽爆预处理对废弃烤后烟叶产甲烷潜力的影响

黄弘毅, 薛寒光, 李超, 黎娟, 王冠华, 邵思

农业环境科学学报. 2020, 39(8): 1854-1861 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0310>

响应面法优化餐厨垃圾和牛粪混合两相厌氧发酵酸化条件

刘金力, 洪秀杰, 白岩, 毕少杰, 杨宏志, 王彦杰

农业环境科学学报. 2019, 38(8): 1786-1793 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0371>

醋糟与猪粪、鸡粪不同配比的厌氧共消化产气潜力研究

周冠男, 陈琳, 郑涛, 周政忠, 袁浩然

农业环境科学学报. 2019, 38(6): 1357-1364 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1329>

三种湿地植物厌氧发酵产甲烷特性及产物稳定性研究

夏嵩, 付嘉琦, 付尹宣, 晏恒, 陈小平, 吴九九

农业环境科学学报. 2018, 37(9): 2061-2066 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0003>

基于沼液浓缩的液态有机肥利用现状与展望

崔文静, 李施雨, 李国学, 陈清, 李赟, 张邦喜, 罗文海

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2482-2493 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0996>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

赵峥, 周德平, 褚长彬, 等. 不同葡萄废果组成对厌氧发酵转化活性物质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(5): 1116-1121.
ZHAO Z, ZHOU D P, CHU C B, et al. Effects of different waste grape fruit components on the transformation of active substances by anaerobic fermentation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(5): 1116-1121.



开放科学 OSID

不同葡萄废果组成对厌氧发酵转化活性物质的影响

赵峥, 周德平, 褚长彬, 王庆峰, 吴淑杭*

(上海市农业科学院 生态环境保护研究所, 上海 201403)

摘要:为分析不同葡萄废果组成对厌氧发酵过程和发酵产物中活性物质组分的影响,以葡萄废果为原材料,添加酵母菌进行厌氧发酵,设置不同葡萄废果组成,考察含有葡萄皮和籽粒是否会对葡萄废果厌氧发酵产生影响。结果表明:不同底物组成对发酵过程中pH的动态变化有影响,去除葡萄皮和籽粒(T2)处理的pH高于含有葡萄废果全部成分(T1)的处理;而底物组成的差异对EC值的动态变化没有明显影响。添加酵母菌进行厌氧发酵能显著提高产物中游离氨基酸和总有效氮的含量($P<0.05$),与发酵前相比分别提高了226.05%~276.66%和31.13%~40.75%。去除葡萄皮和籽粒后有利于发酵产物中游离氨基酸含量的提高,T2处理在9类氨基酸的含量上均具有显著优势,但 F^- 、总酚和总酸的含量出现了显著降低。研究表明,外源添加酵母菌进行厌氧发酵是一种潜在的葡萄废果资源化循环利用方式,不同底物组成对发酵产物的组分有一定影响,发酵产物中含有丰富的营养元素和活性物质,具有较高的再利用价值。

关键词:葡萄废果;厌氧发酵;游离氨基酸;农业废弃物;循环利用

中图分类号:TQ920.1;X705 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2022)05-1116-06 doi:10.11654/jaes.2021-1005

Effects of different waste grape fruit components on the transformation of active substances by anaerobic fermentation

ZHAO Zheng, ZHOU Deping, CHU Changbin, WANG Qingfeng, WU Shuhang*

(1. Eco-Environmental Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China)

Abstract: To provide basic data for the recycling of waste grape fruit, an experiment was conducted to analyze the effects of different grape fruit components on the anaerobic fermentation and transformation of active substances. Waste grape fruits were fermented with yeast. Two treatments were set up, incorporating different components of the fruits, to investigate the effect of grape skins and seeds on anaerobic fermentation. T1 fermented with all waste grape fruit components and T2 fermented without skins and seeds. Results indicated that the different fruit components affected the pH of the fermentation process. The pH of T2 which fermented without grape skins and seeds was higher than that of T1. The different components had no significant effect on the variation of the EC value during fermentation. Fermentation with yeasts significantly increased the free amino acid and total available nitrogen content of the fermented products ($P<0.05$). Compared with unprocessed grape fruits, the contents of free amino acids and total available nitrogen, respectively, were 226.05%~276.66% and 31.13%~40.75% higher after fermentation. The removal of grape skins and seeds increased the content of free amino acids in the fermented products. In total, 9 kinds of amino acids were significantly higher in T2 than in T1. However, the contents of F^- , total phenols, and total acids were significantly lower in T2 than in T1. The study demonstrated that anaerobic fermentation with exogenous yeast

收稿日期:2021-09-02 录用日期:2021-12-13

作者简介:赵峥(1988—),男,云南大理人,博士,研究方向为植物营养与果树养分管理。E-mail:zhaozheng21@foxmail.com

*通信作者:吴淑杭 E-mail:wushuhang88@163.com

基金项目:上海市科技兴农项目(2020-02-08-00-12-F01457);上海市2020年度科技创新行动计划国内科技合作项目(20015800600)

Project supported: Science and Technology Project for Shanghai Agricultural Development (2020-02-08-00-12-F01457); Domestic Cooperation Project of Shanghai Science and Technology Innovation Action Plan of 2020(20015800600)

is a promising method for recycling grape fruit waste. Different components of grape fruits have different impacts on the composition of active substances in fermented products. The fermented products of this waste are rich in nutritional elements and active substances, which have high cyclic utilization.

Keywords: grape waste; anaerobic fermentation; free amino acids; agricultural waste; cyclic utilization

农业废弃物的资源化循环利用是近年来国内外研究的热点问题^[1-2]。以果蔬废弃物、畜禽粪便和秸秆等农业废弃物为原材料,通过堆肥或发酵的方式实现其资源化循环利用,是目前处理农业废弃物的主要手段^[3-4]。水果废弃物是一种潜力巨大的农业可再生资源,其水分含量高,同时富含各类多糖、纤维素以及营养元素,是用于发酵制备或提取各类增值产物的理想原材料^[5]。例如,可利用水果废弃物为原材料,在低温条件下添加酵母菌进行发酵来制备果胶酶^[6];以香蕉废弃物和柑橘皮等为主要原料,通过添加酵母菌促进发酵并优化发酵参数,在制备生物酒精方面具有较大潜力^[7-8];而在添加真菌的条件下进行苹果和葡萄废弃物的混合发酵则可用于酚类抗氧化剂的制备^[9]。此外,相关研究表明酿酒副产物葡萄皮渣也是一种重要的可再利用资源,将其在不同条件下进行二次发酵可用于花青素和琥珀酸等活性物质的提取^[10-11],以及生物炭和生物肥料等农业增值产品的制备^[12]。然而,目前有关葡萄废弃物的研究多集中于葡萄加工过程产生的葡萄皮渣的再利用,而关于葡萄生产过程中所产生的葡萄鲜果废弃物再利用方面的研究则报道较少。

葡萄是上海郊区主要栽培的果树树种之一,种植面积约为5 267 hm²,约占上海果树总种植面积的1/4^[13]。前期调查表明,上海郊区葡萄生产过程中产生的废果量较大,某些葡萄园中废果率可超过当季葡萄总产量的30%,给果农造成了严重的经济损失。这些葡萄残次果多因恶劣的天气条件(雨水较多)、病虫害以及田间管理(疏花疏果等)而产生,由于达不到销售标准,残次果通常被直接丢弃在葡萄园中,这不仅是农业生产资源的浪费,同时也极易滋生病虫害并导致传播,进而影响葡萄的清洁高效生产^[14]。葡萄生产因其较大的种植面积和较高的经济效益,在上海现代都市农业中具有非常重要的地位。因此,探索一种环保高效的葡萄废果资源化循环利用技术,是目前上海葡萄产业可持续发展亟需解决的问题。

本研究以上海郊区规模化葡萄园产生的鲜葡萄废果为原材料,通过添加原位分离的酵母菌进行厌氧发酵,同时分析含有葡萄皮和籽粒是否会对发酵过程

及发酵产物活性物质成分组成产生影响,以为发酵产物的后续应用及相关产品研发提供基础数据支撑,也为葡萄废果的资源化循环利用提供一种新的思路。

1 材料与方法

1.1 葡萄废果

本研究所用的葡萄废果原材料由上海马陆葡萄主题公园提供。马陆葡萄主题公园位于上海葡萄主产区——嘉定区,是上海郊区最具代表性的葡萄规模化生产基地。该葡萄园每年夏天由于达不到销售标准而产生的葡萄废果约占葡萄总产量的20%~30%,这些葡萄废果通常仍具有较好的品质,是进行葡萄废果发酵的良好原材料。2018年8月在葡萄园收集葡萄废果50 kg,带回实验室后剔除其中的枝干和杂物等,用水清洗干净后手工捏碎,使其在发酵过程中更易于分解。

1.2 菌种

本研究以酵母菌作为启动菌种来提高葡萄废果的发酵效率,所接种的酵母菌分离自马陆葡萄园中的葡萄废果堆积点,经鉴定为鲁氏酵母(CGMCC16260)。发酵前将鲁氏酵母在平板上进行活化培养,挑取单菌落接种到YPD肉汤培养基中,于37℃厌氧条件下培养18 h,之后在37℃厌氧条件下再次传代培养18 h,获得菌种活力较高的鲁氏酵母菌液备用。

1.3 实验设计

在前期研究中发现,葡萄废果经过2~3个月的厌氧发酵后葡萄皮和籽粒较难被分解,因此,本研究共设置了两种处理,用于考察不同葡萄废果成分(是否含有葡萄皮和籽粒)对发酵过程及发酵产物的成分组成的影响。具体实验处理为:T1处理,发酵底物为前处理好的葡萄废果全部成分,包含葡萄的果肉、皮和籽粒;T2处理,剔除葡萄皮和葡萄籽,仅用葡萄果肉进行发酵;两种处理均设置3次重复,其他发酵条件相同。发酵的基本流程为:将1.5 kg处理好的葡萄废果放入6 L发酵桶中;加入0.5 kg红糖作为微生物的碳源;向发酵桶中补充蒸馏水至5 L;调整发酵体系的pH值至4.50;将200 mL酵母菌培养液接种到发酵桶中,搅拌均匀后开始发酵。发酵桶盖上装有单向排气

阀,以便于发酵过程中产生气体的排出,同时保证厌氧的发酵环境。发酵第一周,每日打开1次发酵桶盖,搅拌均匀以促进排气,防止发酵桶中产气过剩发生爆裂;一周后每周打开1次发酵桶盖进行搅拌,直至发酵结束(约2个月)。

1.4 发酵产物成分分析

在发酵过程中,每周测定发酵体系的pH值和电导率(EC)值,其中pH值用pH计(Mettler Toledo FE20)测定,EC值用EC计(Mettler Toledo FE30)测定。发酵结束后,测定发酵产物中游离氨基酸、主要阴阳离子以及其他有效物质的含量。其中,游离氨基酸含量采用全自动高速氨基酸分析仪测定(日本,Hitachi);主要阴阳离子含量采用离子色谱仪测定(德国,Thermo Fisher);有效氮含量采用碱性水解扩散法测定;总酚含量采用福林比色法测定;总酸含量采用酸碱滴定法测定。发酵前,对底物的相关指标进行测定,用于分析发酵前后的性状差异。T1和T2处理发酵前的总游离氨基酸含量分别为 $85.32 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 $103.87 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,有效氮含量分别为 $85.41 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $78.33 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,总酚含量分别为 $405.51 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $397.98 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,总酸含量分别为 $86.12 \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $73.45 \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.5 数据分析

两处理之间的显著性差异检验采用t检验在0.05水平进行(SPSS Statistics 23);图表采用Origin 9.0绘制。

2 结果与分析

2.1 发酵过程中pH值和EC值的动态变化

pH值是影响发酵过程的关键因素,同时也是反映发酵活跃程度的重要指标。不同葡萄废果成分发酵过程中pH值的动态变化如图1所示,两种处理的pH值动态变化规律基本一致,均在第1周急剧下降,然后缓慢升高,在第6周后趋于稳定。在发酵前2周,两种处理的pH值较为接近,第2周后含有葡萄皮和葡萄籽的T1处理的pH值明显低于仅含葡萄果肉的T2处理。在发酵第4周,T1和T2处理的pH值分别为3.81和4.10,而在第8周,二者分别稳定在3.95和4.12。与pH值的变化规律不同,葡萄废果发酵过程中EC值的动态变化呈现出先升高后降低的趋势(图2),在整个发酵过程中,T1和T2处理EC值的差异较小。在发酵的第2周,T1和T2处理的EC值达到峰值,分别为 $5.22 \text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 和 $4.91 \text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$,之后急剧下降,从第3周开始分别稳定在 $3.50 \text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 和 $3.28 \text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 左右。

2.2 发酵产物中游离氨基酸的含量

游离氨基酸是葡萄废果发酵产物中主要的活性成分之一,同时也是后续开发功能性肥料产品的核心指标。发酵产物中16种游离氨基酸的含量如图3所示,去除葡萄皮和籽粒后葡萄废果发酵产物中游离氨基酸的含量有明显提升,与T1处理相比,T2处理在13类游离氨基酸的含量上具有优势,包括Asp、Thr、Glu、Gly、Val、Cys、Met、Ile、Leu、Phe、g-ABA、Orn和Lys,其中9类氨基酸含量具有显著差异($P<0.05$)。T1处理仅在Ser、Ala和Tyr 3类游离氨基酸的含量上具有优势,其中Ser的含量显著高于T2处理($P<0.05$)。从总游离氨基酸的含量来看,T2处理比T1处理高出40.64%;与发酵前相比,T1处理的总游离氨基酸含量提升了226.05%,T2处理则提升了276.66%。

2.3 发酵产物中主要离子的含量

无机盐离子是植物营养元素的重要来源,发酵产物中各类离子的含量是决定发酵产物可再利用价值的关键。葡萄废果发酵产物中5种阳离子的含量如

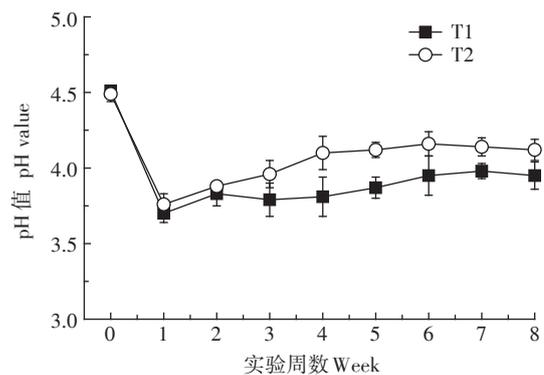


图1 葡萄废果发酵过程pH值的动态变化

Figure 1 Dynamic variations of pH value during the fermentation process of grape waste

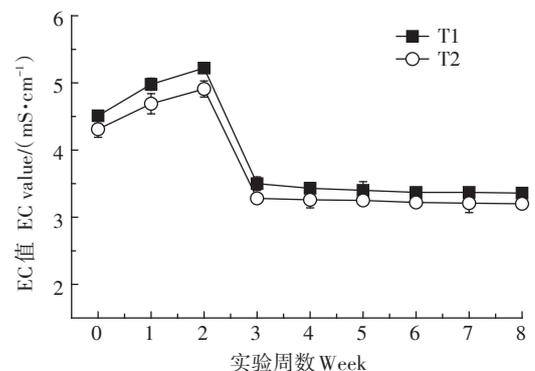


图2 葡萄废果发酵过程EC值的动态变化

Figure 2 Dynamic variations of EC value during the fermentation process of grape waste

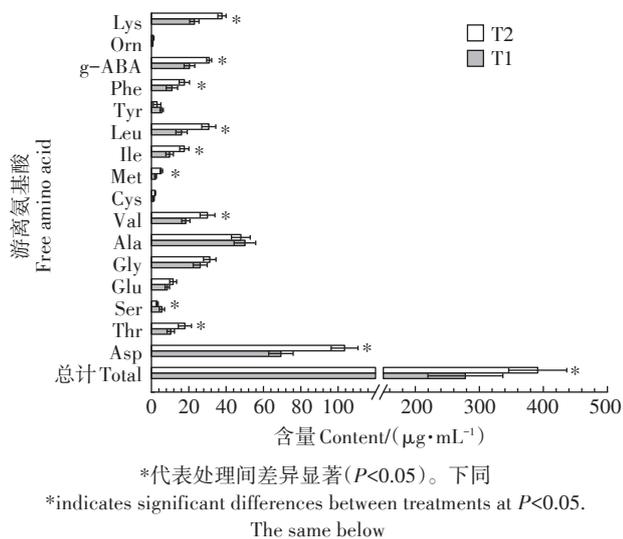


图3 不同葡萄废果成分发酵产物中游离氨基酸的含量
Figure 3 Free amino acids contents in the fermented products with different grape parts

图4所示,可以看出发酵产物中 K^+ 的含量最高,达 $992.41 \sim 1\ 083.33\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,而 NH_4^+ 的含量最低,为 $10.75 \sim 18.89\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,两种处理之间5种阳离子的含量均无显著差异($P > 0.05$)。两种处理之间5种阴离子的含量如图5所示,葡萄废果发酵产物中 Cl^- 的含量最高,为 $543.46 \sim 577.82\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,而 NO_3^- 的含量最低,为 $23.01 \sim 26.30\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。两种处理之间仅在 F^- 的含量上有显著差异,T1处理($283.43\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)显著高于T2处理($184.99\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)($P < 0.05$)。

2.4 发酵产物中总有效氮、总酚和总酸的含量

葡萄废果发酵产物中总有效氮、总酚和总酸的含量结果见图6,不同葡萄废果成分的处理在发酵产物总有效氮的含量上没有显著差异,T1和T2处理的总有效氮含量较发酵前分别提高了31.13%和40.75%。

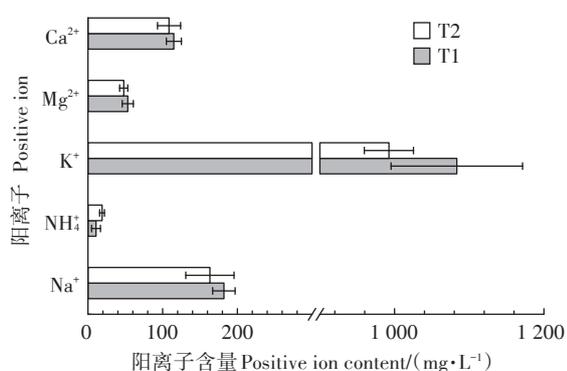


图4 不同葡萄废果成分发酵产物中阳离子的含量
Figure 4 Positive ions contents in the fermented products with different grape parts

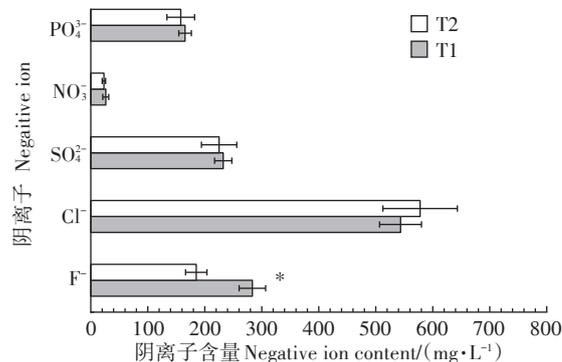


图5 不同葡萄废果成分发酵产物中阴离子的含量
Figure 5 Negative ions contents in the fermented products with different grape parts

T2处理的发酵产物中总酚和总酸的含量均显著低于T1处理($P < 0.05$),与发酵前相比,T1处理的总酚和总酸含量分别提高了25.56%和3.08%,而T2处理则比发酵前分别降低了10.46%和5.69%。

3 讨论

在厌氧条件下,通过添加有益菌(酵母菌或乳酸菌等)或功能微生物将果蔬及其废弃物进行发酵,提高发酵产物中有效成分和活性物质的含量,并在不同的领域进行应用,是目前提高果蔬废弃物再利用价值的有效手段^[15]。本研究以上海郊区规模化葡萄园中产生的葡萄残次果为原材料,添加原位分离的酵母菌在厌氧条件下进行发酵,发酵产物中具有丰富的游离氨基酸、营养元素、有效氮及酚类物质,有较高的再利用价值,可作为液体肥料在农业生产过程中施用,是一种葡萄废果资源化循环利用的潜在途径。诸多研究表明,水果废弃物具有特殊的理化性状,是通过发酵进行资源化循环利用的良好原材料。葛瑞宏等^[16]

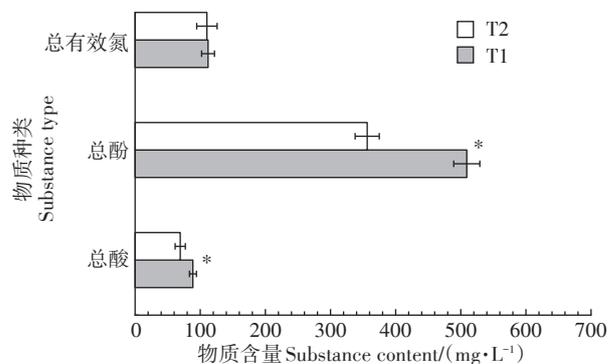


图6 不同葡萄废果成分发酵产物中总有效氮、总酚和总酸的含量
Figure 6 Total available nitrogen, total phenol and total acids contents in the fermented products with different grape parts

以桂圆作为原材料,通过添加保加利亚乳杆菌和嗜酸乳杆菌等制备的桂圆发酵产物具有良好的抗氧化活性;李杰等^[17]以核桃青皮和果蔬废弃物为原材料制备的发酵产物中含有丰富的超氧化物歧化酶、矿物质元素、多酚和黄酮类物质;董银卯等^[18]以火龙果为原材料制备的发酵产物具有很强的抗氧化能力,同时也含有一定的超氧化物歧化酶、淀粉酶和脂肪酶;冯昕炜等^[19]利用酿酒副产物葡萄渣为原料,通过添加酵母菌进行二次发酵,制备的产物中粗蛋白、磷和钙等营养成分含量大幅度增加,有效提高了葡萄渣的再利用价值。此外,蓝莓、苹果和葡萄等也是厌氧发酵的良好原材料,有研究表明这些水果废弃物的发酵产物中含有丰富的有机酸,如琥珀酸、柠檬酸、苹果酸和酒石酸等,具有较高的可再利用价值^[20-22]。

不同底物成分是影响果蔬废弃物发酵产物活性物质成分组成以及进一步应用的关键因素^[23-25]。本研究设置的两种实验处理中,含有葡萄皮和葡萄籽的T1处理发酵过程的pH值更低,这与发酵产物中T1处理有更高的总酸含量相符。而去除葡萄皮和葡萄籽的T2处理发酵产物中总酚含量降低,这可能与葡萄皮和葡萄籽的主要成分有关,葡萄皮的主要成分为花青素,同时其也含有丰富的白藜芦醇(酚类)^[26],而葡萄籽则以油脂类和蛋白质为主,同时也有一定量的酚类、不饱和脂肪酸以及黄酮类物质^[27-28],因此,去除葡萄皮和葡萄籽后势必会导致发酵产物中总酚含量的降低。与此相反,T2处理的发酵产物在9种游离氨基酸和总游离氨基酸含量上表现出了显著优势,可能是由于葡萄的果肉比果皮和籽粒更易于分解,经有益微生物的分解代谢作用后,更多的氨基酸以游离态的形式被释放到了发酵产物中,从而有效提高了游离氨基酸的含量。

此外,葡萄废果发酵产物中还含有丰富的矿物质元素离子,例如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 、 NH_4^{+} 、 NO_3^{-} 、 PO_4^{3-} 等,这些均是植物生长过程中所需的重要营养元素,因此,将葡萄废果经厌氧发酵制成肥料产品也具有较好的应用前景,这也是本研究的最终目的。相关研究表明,葡萄酒糟中含有丰富的氮、磷、钾等营养元素,经二次堆积沤制后在葡萄园中施用,不仅能改善土壤结构、产生良好的肥效,同时对促进葡萄生长和提高果实品质也有明显作用^[29]。葡萄酒糟中也含有丰富的中微量元素,因此可作为功能性产品进行开发利用,作为农业常规施肥的辅助手段补充土壤中微量元素的亏缺。葡萄酒糟经二次发酵后制成的有机肥或有

机无机复混肥,在经济作物和大田作物中施用均表现出了良好的效果,优于传统复合肥和有机肥,在改善农作物产量和品质的同时也具有一定的改土培肥效果^[30-31]。然而,这些研究多以葡萄酒渣为原材料进行相关肥料产品的开发和应用,目前以新鲜葡萄废果为原料进行发酵研究并制备相关肥料产品的报道较少。本研究也仅对葡萄废果发酵产物的成分进行了初步分析,为发酵产物的进一步应用和相关产品研发提供了一定的数据基础,发酵产物在农业生产中的实际应用效果还有待进一步验证。

4 结论

(1)添加酵母菌可显著提高葡萄废果厌氧发酵产物中活性物质的含量,与发酵前相比总游离氨基酸含量提高了226.05%~276.66%,总有效氮含量提高了31.13%~40.75%。

(2)不同葡萄废果成分对发酵过程中pH值的动态变化有一定影响,但对EC值的变化没有明显影响。

(3)去除葡萄皮和籽粒有利于发酵产物中游离氨基酸的积累,其中9类游离氨基酸具有显著优势,但 F^{-} 、总酚和总酸的含量显著降低。

参考文献:

- [1] ALHAZMI H, LOY A. A review on environmental assessment of conversion of agriculture waste to bio-energy via different thermochemical routes: Current and future trends[J]. *Bioresource Technology Reports*, 2021, 14: 100682.
- [2] MUHLACK R, POTUMARTHI R, JEFFERY D. Sustainable wineries through waste valorisation: A review of grape marc utilisation for value-added products[J]. *Waste Management*, 2018, 72: 99-118.
- [3] DUQUE-ACEVEDO M, BELMONTE-UREÑA L J, CORTÉS-GARCÍA F J, et al. Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 22: e00902.
- [4] WU Y, WANG C, ZHENG M, et al. Effect of pH on ethanol-type acidogenic fermentation of fruit and vegetable waste[J]. *Waste Management*, 2017, 60: 158-163.
- [5] ILYAS T, CHOWDHARY P, CHAURASIA D, et al. Sustainable green processing of grape pomace for the production of value-added products: An overview[J]. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, 23(8): 101592.
- [6] POONDLA V, BANDIKARI R, SUBRAMANYAM R, et al. Low temperature active pectinases production by *Saccharomyces cerevisiae* isolate and their characterization[J]. *Biocatalysis & Agricultural Biotechnology*, 2015, 4(1): 70-76.
- [7] BELLO R, LINZMEYER P, FRANCO C, et al. Pervaporation of ethanol produced from banana waste[J]. *Waste Management*, 2014, 34(8):

- 1501-1509.
- [8] CHOI I, LEE Y, KHANAL S, et al. A low-energy, cost-effective approach to fruit and citrus peel waste processing for bioethanol production[J]. *Applied Energy*, 2015, 140:65-74.
- [9] ZAMBRANO C, KOTOG N, BENCSIK O, et al. Mobilization of phenolic antioxidants from grape, apple and pitahaya residues via solid state fungal fermentation and carbohydrase treatment[J]. *LWT*, 2018, 89: 457-465.
- [10] FILIPPI K, GEORGAKA N, ALEXANDRI M, et al. Valorisation of grape stalks and pomace for the production of bio-based succinic acid by *Actinobacillus succinogenes*[J]. *Industrial Crops and Products*, 2021, 168:113578.
- [11] LOARCE L, OLIVER-SIMANCAS R, MARCHANTE L, et al. Modifiers based on natural deep eutectic mixtures to enhance anthocyanins isolation from grape pomace by pressurized hot water extraction[J]. *LWT*, 2021, 149:111889.
- [12] JIN Q, WANG Z, FENG Y, et al. Grape pomace and its secondary waste management: Biochar production for a broad range of lead (Pb) removal from water[J]. *Environmental Research*, 2020, 186:109442.
- [13] ZHAO Z, CHU C, ZHOU D, et al. Soil nutrient status and the relation with planting area, planting age and grape varieties in urban vineyards in Shanghai[J]. *Heliyon*, 2019, 5(8):e02362.
- [14] 赵峥, 褚长彬, 周德平, 等. 葡萄废果酵素肥对葡萄园土壤细菌多样性的影响[J]. *果树学报*, 2020, 37(8):1207-1217. ZHAO Z, CHU C B, ZHOU D P, et al. Effects of ferment fertilizer from waste grape berry on soil bacterial diversity in vineyards[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(8):1207-1217.
- [15] ESPARZA I, JIM N, BIMBELA F, et al. Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 265:110510.
- [16] 葛瑞宏, 储瑞嵩, 李井泉, 等. 桂圆酵素制备及其抗氧化性研究[J]. *食品科技*, 2015, 40(8):262-267. GE R H, CHU R A, LI J Q, et al. Preparation of longan enzyme through fermentation and its antioxidant activity[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(8):262-267.
- [17] 李杰, 赵声兰, 陈朝银. 核桃青皮果蔬酵素的成分组成及体外抗氧化活性研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(10):117-122. LI J, ZHAO S L, CHEN C Y. Chemical composition and *in vitro* antioxidant properties of walnut green husk fruit and vegetable compound ferment [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(10):117-122.
- [18] 董银卯, 何聪芬, 王领, 等. 火龙果酵素生物活性的初步研究[J]. *食品科技*, 2009, 34(3):192-196. DONG Y M, HE C F, WANG L, et al. Study on the bioactivity of pitaya enzyme[J]. *Food Science and Technology*, 2009, 34(3):192-196.
- [19] 冯昕伟, 许贵善, 刘昱成. 酵母菌发酵葡萄渣发酵效果研究[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(2):222-223. FENG X W, XU G S, LIU Y C. Study on the effect of grape residue fermentation by yeast[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(2):222-223.
- [20] 管章瑞, 田裕, 赵娜, 等. 蓝莓酵素发酵过程中的抗氧化活性变化研究[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(12):74-80. GUAN Z R, TIAN Y, ZHAO N, et al. Changes in antioxidant activity of blueberry jiaosu during fermentation[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(12):74-80.
- [21] 杨小幸, 周家春, 陈启明, 等. 苹果酵素天然发酵过程中代谢产物的变化规律[J]. *食品科学*, 2017, 38(24):15-19. YANG X X, ZHOU J C, CHEN Q M, et al. Studies in metabolites of apple-ferment during natural fermentation process[J]. *Food Sciences*, 2017, 38(24):15-19.
- [22] 蒋增良, 刘晓庆, 王珍珍, 等. 葡萄酵素有机酸分析及其体外抗氧化性能[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(5):255-262. JIANG Z L, LIU X Q, WANG Z Z, et al. Analysis of organic acids and *in vitro* antioxidant activity of grape-ferment[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(5):255-262.
- [23] 刘敏, 熊燕, 付忠旭, 等. 不同配方发酵的酵素产品中活性物质的对比研究[J]. *食品与发酵科技*, 2015, 51(5):27-31. LIU M, XIONG Y, FU Z X, et al. Comparative study of active substances in different formulations of enzyme products[J]. *Food and Fermentation Technology*, 2015, 51(5):27-31.
- [24] 洪厚胜, 朱曼利, 李伟, 等. 葡萄果渣酵素的发酵工艺优化及其理化特性[J]. *食品科学*, 2019, 40(8):63-72. HONG H S, ZHU M L, LI W, et al. Fermentation process and physicochemical indexes of probiotic fermented grape pomace[J]. *Food Science*, 2019, 40(8):63-72.
- [25] 高雪, 李新华. 水果对提高复合植物酵素中淀粉酶活性的作用研究[J]. *食品科技*, 2014, 39(6):43-46. GAO X, LI X H. The effect of fruit on amylase activity of compound plant enzyme[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(6):43-46.
- [26] SIROHI R, TARAFDAR A, SINGH S, et al. Green processing and biotechnological potential of grape pomace: Current trends and opportunities for sustainable biorefinery[J]. *Bioresource Technology*, 2020, 314:123771.
- [27] BRENES A, VIVEROS A, CHAMORRO S, et al. Use of polyphenol-rich grape by-products in monogastric nutrition. A review[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2016, 211:1-17.
- [28] PRADO J, FORSTER-CARNEIRO T, ROSTAGNO M, et al. Obtaining sugars from coconut husk, defatted grape seed, and pressed palm fiber by hydrolysis with subcritical water[J]. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2014, 89:89-98.
- [29] 韦公远. 葡萄酒酿造副产物的开发利用[J]. *中国酿造*, 2005(4):46-47. WEI G Y. Development and utilization of wine-making by-products[J]. *China Brewing*, 2005(4):46-47.
- [30] 郑鹤龄, 张斌, 潘洁, 等. 葡萄酒泥农业应用效果研究[J]. *天津农业科学*, 2006(3):47-48. ZHENG H L, ZHANG B, PAN J, et al. Research on the agricultural application of precipitate[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2006(3):47-48.
- [31] 韩树民, 王久亮. 利用葡萄酒糟生产有机复混肥研究[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(2):87-89. HAN S M, WANG J L. Studies on production of organic-inorganic compound fertilizer by utilizing the lees of grape wine[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(2):87-89.

(责任编辑:宋潇)