

研究报告

Research Report

高温胁迫对香菇菌丝体脂肪酸的影响

赵妍^{1*} 李治平^{1,2*} 任昀霏¹ 张美彦¹ 宋晓霞¹ 查磊¹ 杨焕玲¹ 陈明杰^{2**}

1 上海市农业科学院食用菌研究所/上海市农业遗传育种重点实验室/农业部南方食用菌资源利用重点实验室/国家食用菌工程技术研究中心, 上海, 201403; 2 上海海洋大学食品学院, 上海, 201306

* 同等贡献作者

** 通信作者, mjchen@saas.sh.cn

摘要 香菇是一种广泛栽培的食用菌, 高温环境对其生长影响巨大。本试验借助 GC-MS 技术, 测定了在 37 ° C 高温胁迫不同时间下(0, 4, 8, 12, 18 和 24 h), 香菇菌株 18 和 18N44 菌丝体中脂肪酸含量变化情况。结果发现: 在高温胁迫过程中, 两个香菇菌株的脂肪酸种类均未发生改变, 但总脂肪酸含量均逐渐降低; 随着高温胁迫时间的延长, 两个菌株的主要饱和脂肪酸棕榈酸的占比持续升高, 主要不饱和脂肪酸亚油酸的占比持续降低, 并且耐高温菌株 18N44 的饱和脂肪酸占比要显著高于 18 (高温胁迫 24 h 除外)。本研究结果表明: 高温下香菇中饱和脂肪酸占比与其耐热性存在正相关关系, 为耐高温香菇新品种的选育提供了一定的理论依据。

关键词 高温胁迫, 香菇, 菌丝体, 脂肪酸

Effect of High Temperature Stress on Fatty Acids in Mycelia of *Lentinula edodes*

Zhao Yan^{1*} Li Zhiping^{1,2*} Ren Yunfei¹ Zhang Meiyun¹ Song Xiaoxia¹ Zha Lei¹ Yang Huanling¹ Chen Mingjie^{1**}

1 Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai Key Laboratory of Agricultural Genetics and Breeding, Key Laboratory of Edible Fungi Resources and Utilization (South), Ministry of Agriculture, P. R. China, National Engineering Research Center of Edible Fungi, Shanghai 201403; 2 College of Food Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306

* These authors contributed equally to this work

** Corresponding author, mjchen@saas.sh.cn

DOI: 10.5376/mpb.cn.2021.19.0023

Abstract *Lentinula edodes* is a widely cultivated edible fungus, environmental factors such as high temperature can greatly affect its growth. In this study, the changes of fatty acid contents in the mycelia of *L. edodes* strains 18 and 18N44 were determined by GC-MS at 37 ° C for different time (0, 4, 8, 12, 18, 24 h). Results showed that the fatty acid types of the two strains did not change under high temperature stress, but the total fatty acid content gradually decreased. With the extension of high temperature stress time, the proportion of major saturated fatty acid palmitic acid continued to increase, the proportion of major unsaturated fatty acid linoleic acid continued to decrease, while the saturated fatty acid ratio of heat-tolerant strain 18N44 was significantly higher than that of 18 (except for 24 h under high temperature stress). Therefore, the results of this study indicate that there is a positive

本文首次发表在《分子与植物育种》上, 现依据版权所有人授权的许可协议, 采用 Creative Commons Attribution License, 协议对其进行授权, 再次发表与传播

收稿日期: 2021 年 5 月 17 日; 接受日期: 2021 年 5 月 19 日; 发表日期: 2021 年 5 月 26 日

引用格式: 赵妍, 李治平, 任昀霏, 张美彦, 宋晓霞, 查磊, 杨焕玲, 陈明杰, 2021, 高温胁迫对香菇菌丝体脂肪酸的影响, 分子植物育种(网络版), 19(23): 1-6 (doi: 10.5376/mpb.cn.2021.19.0023) (Zhao Y., Li Z.P., Ren Y.F., Zhang M.Y., Song X.X., Zha L., Yang H.L., and Chen M.J., 2021, Effect of high temperature stress on fatty acids in mycelia of *Lentinula edodes*, Fengzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding (online)), 19(23): 1-6 (doi: 10.5376/mpb.cn.2021.19.0023))

correlation between the proportion of saturated fatty acids in *L. edodes* and its heat tolerance under high temperature, which provides a theoretical basis for the breeding of new varieties of *L. edodes* with high temperature tolerance.

Keywords High temperature stress, *Lentinula edodes*, Mycelia, Fatty acids

香菇 [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler] 别名香蕈、香信等, 属于担子菌门(Basidiomycota)、伞菌纲(Agaricomycetes)、伞菌目(Agaricales), 光茸菌科(Omphalotaceae)、香菇属(*Lentinula*), 是一种十分重要的食用菌, 在我国有着悠久的栽培历史(何永等, 2010; 王贺祥, 2014)。香菇是一种中低温菌, 其菌丝最适生长温度为 24~27 °C, 子实体生长发育的温度为 8~20 °C, 高温胁迫会严重影响香菇菌丝与子实体的生长, 从而造成巨大的经济损失(王贺祥, 2014; 王刚正等, 2017)。

当生物受到高温胁迫时, 饱和脂肪酸含量及饱和度的增加, 有利于维持细胞膜的流动性和稳定性, 进而使物种能够在逆境下存活与生长 (Pham Thi et al., 1990; Oberson et al., 1999; 王飞等, 2013)。在生长温度较高的环境条件下, 植物可改变膜脂中饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸的含量, 使膜脂中饱和度与温度呈现负相关, 以此来适应高温环境(Falcone et al., 2004); 在不同种类的微生物中, 其在生长温度调节下的脂肪酸合成具有相似性, 如高温胁迫下黑曲霉不饱和脂肪酸占总脂肪酸的比值降低, 有利于维持其膜脂的稳定性 (Guerzoni et al., 2001; Tereshina et al., 2011), 而植物乳杆菌在高温条件下, 可通过增加饱和脂肪酸占总脂肪酸的比例和降低脂肪酸链的双键数目来维持菌株的正常生长(Haddaji et al., 2017)。研究表明子实体与菌丝体的脂肪酸组成类似 (Tang et al., 2011), 且在食用菌的研究中常用菌丝体作为试验材料。本研究中所用的香菇菌株 18N44 是由 18 通过紫外诱变而来, 且其耐高温性显著优于 18(王丽宁等, 2014)。因此, 本文选取香菇菌株 18N44 和 18 作为试验材料, 比较两个香菇菌株在 37 °C 高温胁迫下各自菌丝体中脂肪酸的变化情况, 阐述高温胁迫与香菇脂肪酸间的关系, 为今后耐高温香菇新品种的选育提供技术支持。

1 结果与分析

1.1 高温胁迫后香菇菌丝的恢复生长情况

在 37 °C 高温处理 12 h 后, 香菇 18 菌丝的生长受到了明显地抑制, 25 °C 下恢复后的菌丝形态也由浓密变得稀疏(图 1A); 香菇 18N44 菌丝在 37 °C 高温

处理 12 h 后, 其菌丝生长虽然也受到了抑制, 但经过 25 °C 恢复生长后, 其菌丝形态很快恢复到正常生长时的状态, 而且恢复生长的速度要显著快于 18 菌株(图 1B)。

1.2 高温胁迫后香菇菌丝总脂肪酸及饱和脂肪酸的变化

受高温胁迫后, 香菇 18、18N44 菌丝体脂肪酸的种类未发生改变, 而含量发生了变化。虽然 18 与 18N44 的总脂肪酸含量变化趋势不一致, 但两者均在 4 和 24 h 时分别达到最大值(4133.87 μg/g, 3652.97 μg/g)与最小值(3369.92 μg/g, 2587.60 μg/g), 其中在高温处理 0、4、18 和 24 h 时, 18 与 18N44 的总脂肪酸含量呈现显著性差异(图 2a)。随着高温胁迫时间的延长, 18 与 18N44 的饱和脂肪酸在各自总脂肪酸中的占比均呈现先降低后上升的趋势(图 2b), 其中 18N44 的饱和脂肪酸占总脂肪酸的比值要明显高于 18, 并且在高温处理、4、8、12 和 18 h 时两者的差异达到了极显著水平($p < 0.01$)。

1.3 高温胁迫对香菇中占总脂肪酸比值较高的六种脂肪酸的影响

在高温处理前后, 香菇 18、18N44 菌丝体中十五碳酸(C15:0)、棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、棕榈油酸(C16:1)、油酸(C18:1)、亚油酸(C18:2)占各自总脂肪酸的比值相对较高。随着高温胁迫时间的延长, 18 菌株中十五碳酸占总脂肪酸的比值基本呈缓慢上升趋势, 在高温处理 24 h 时达到最大值 1.58%, 而 18N44 菌株在整个高温胁迫过程中, 其十五碳酸占总脂肪酸的比值先升高后降低, 在高温处理 12 h 时达到最大值 1.22%(图 3a)。在两个香菇菌株中, 棕榈酸均是各自第一饱和脂肪酸, 且除高温处理 24 h 外, 18N44 菌丝体中的棕榈酸占总脂肪酸的比值都要显著高于 18, 其中 18N44 中的棕榈酸占总脂肪酸的比值在高温处理 12 h 时达到最大值 21.78%, 18 中的棕榈酸占总脂肪酸的比值在高温处理 24 h 时达到最大值 20.78%(图 3b)。高温胁迫下, 硬脂酸占总脂肪酸的比值在香菇两菌株中的变化趋势并不相同, 在高温处理 12~24 h 期间, 18 菌株中的硬脂酸占总脂肪酸的比值要显著高于 18N44, 并在高温处理 18 h 时

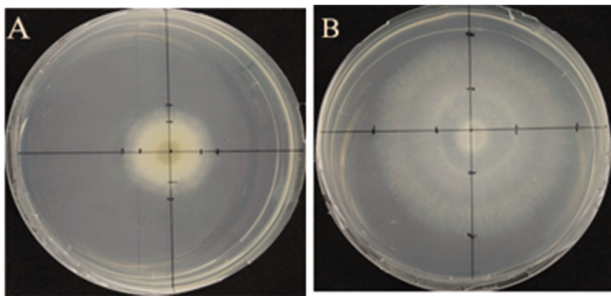


图1 高温胁迫后香菇 18、18N44 菌丝的恢复生长情况
Figure 1 Recovery growth of *L. edodes* strains 18 and 18N44 mycelia after high temperature stress

注: A 为 18 菌株受 37 °C 高温胁迫 12 h 后, 于 25 °C 下恢复生长 7 d 的情况; B 为 18N44 菌株受 37 °C 高温胁迫 12 h 后, 于 25 °C 下恢复生长 7 d 的情况

Note: A represents recovery growth of *L. edodes* strain 18 mycelia at 25 °C for 7 d, which was first subjected to high temperature stress at 37 °C for 12 h; B represents recovery growth of *L. edodes* strain 18N44 mycelia at 25 °C for 7 d, which was first subjected to high temperature stress at 37 °C for 12 h

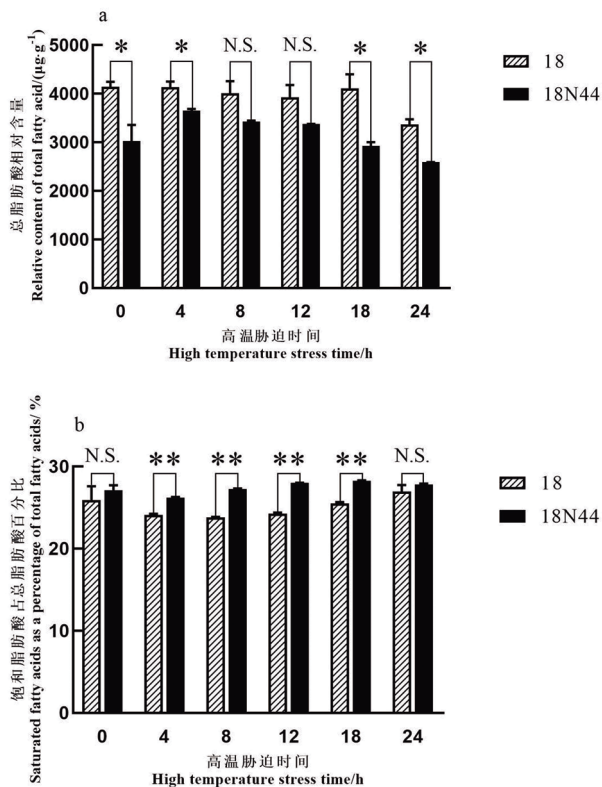


图2 高温胁迫对香菇菌丝体总脂肪酸含量(a)及饱和脂肪酸占比(b)的影响

注: * 表示 $p < 0.05$; ** 表示 $p < 0.01$; N.S. 表示 $p > 0.05$

Figure 2 Effect of high temperature stress on the total fatty acid content (a) and saturated fatty acid proportion (b) of *L. edodes* mycelia

Note: * means $p < 0.05$; ** means $p < 0.01$; N.S. means $p > 0.05$

达到最大值 2.66% (图 3c)。

在整个高温胁迫过程中, 18N44 菌丝体中的棕榈油酸占总脂肪酸的比值都要显著高于 18, 其中 18N44 菌株中棕榈油酸占总脂肪酸的比值分别在高温处理 12 h 和 24 h 时达到最大值和最小值(图 3d)。与棕榈油酸占总脂肪酸的比值相似, 在整个高温胁迫过程中, 18N44 中的油酸占总脂肪酸的比值始终显著高于 18 中的, 并在高温处理 24 h 时达到最大值 7.06% (图 3e)。在所有不饱和脂肪酸中, 亚油酸是两个香菇菌株中的第一不饱和脂肪酸, 其占总脂肪酸的比值要远远高于棕榈油酸和油酸。在高温胁迫过程中, 18 菌株中的亚油酸占总脂肪酸的比值要显著高于 18N44(0 h 除外), 两者均在高温处理 4 h 时达到最大值, 分别为 69.26% 和 64.40% (图 3f)。

1.3 高温胁迫对香菇中占总脂肪酸比值较高的六种脂肪酸的影响

在高温处理前后, 香菇 18、18N44 菌丝体中十五碳酸(C15:0)、棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、棕榈油酸(C16:1)、油酸(C18:1)、亚油酸(C18:2)占各自总脂肪酸的比值相对较高。随着高温胁迫时间的延长, 18 菌株中十五碳酸占总脂肪酸的比值基本呈缓慢上升趋势, 在高温处理 24 h 时达到最大值 1.58%, 而 18N44 菌株在整个高温胁迫过程中, 其十五碳酸占总脂肪酸的比值先升高后降低, 在高温处理 12 h 时达到最大值 1.22% (图 3a)。在两个香菇菌株中, 棕榈酸均是各自第一饱和脂肪酸, 且除高温处理 24 h 外, 18N44 菌丝体中的棕榈酸占总脂肪酸的比值都要显著高于 18, 其中 18N44 中的棕榈酸占总脂肪酸的比值在高温处理 12 h 时达到最大值 21.78%, 18 中的棕榈酸占总脂肪酸的比值在高温处理 24 h 时达到最大值 20.78% (图 3b)。高温胁迫下, 硬脂酸占总脂肪酸的比值在香菇两菌株中的变化趋势并不相同, 在高温处理 12~24 h 期间, 18 菌株中的硬脂酸占总脂肪酸的比值要显著高于 18N44, 并在高温处理 18 h 时达到最大值 2.66% (图 3c)。

在整个高温胁迫过程中, 18N44 菌丝体中的棕榈油酸占总脂肪酸的比值都要显著高于 18, 其中 18N44 菌株中棕榈油酸占总脂肪酸的比值分别在高温处理 12 h 和 24 h 时达到最大值和最小值(图 3d)。与棕榈油酸占总脂肪酸的比值相似, 在整个高温胁迫过程中, 18N44 中的油酸占总脂肪酸的比值始终显著高于 18 中的, 并在高温处理 24 h 时达到最大值 7.06% (图 3e)。在所有不饱和脂肪酸中, 亚油酸是两

个香菇菌株中的第一不饱和脂肪酸，其占总脂肪酸的比值要远远高于棕榈油酸和油酸。在高温胁迫过程中，18 菌株中的亚油酸占总脂肪酸的比值要显著高于 18N44(0 h 除外)，两者均在高温处理 4 h 时达到最大值，分别为 69.26%和 64.40%(图 3f)。

2 讨论

高温胁迫会给食用菌带来多种危害，如食用菌中生物膜被氧化、细胞膜的稳定性遭到破坏、大分子蛋白被降解等，进而影响食用菌的产量(曹现涛等, 2015)。有研究指出，高温处理会使植物中饱和脂肪酸占比升高，以此来提升其耐热能力(Beca-Carretero et al., 2018)。本研究的结果也显示：在高温胁迫过程中，香菇 18 和 18N44 菌丝体中饱和脂肪酸占比不断升高，并且在高温处理 4~18 h 期间，耐高温菌株 18N44 中的饱和脂肪酸占比显著高于不耐高温菌株 18 中的，表明香菇中饱和脂肪酸占比的提升有助于增强其耐热性。随着高温胁迫时间的延长，主要不饱和脂肪酸亚油酸的占比在两个菌株中均持续降低，而主要饱和脂肪酸棕榈酸的占比持续升高，高温胁迫影响了香菇菌丝内两大主要脂肪酸的占比，该结果与 Guerzoni 等(2001)人的研究结果一致。已有的研究表明，在高温胁迫条件下花生根瘤菌中油酸占比迅速降低，而棕榈酸与硬脂酸的占比升高，油酸占比的降低及棕榈酸与硬脂酸的占比的升高可提升其抗逆性

(Paulucci et al., 2011)。棕榈酸为两个香菇菌株中第一饱和脂肪酸，受高温胁迫后其占比在两个菌株中均有所增加，且耐高温菌株 18N44 中棕榈酸占比显著高于不耐高温菌株 18；在两个香菇菌株中油酸占比仅次于亚油酸，在高温胁迫 4~12 h 期间，18N44 中油酸占比持续降低，而 18 中油酸占比则相反，且 18N44 中主要不饱和脂肪酸亚油酸占比显著低于 18，这可能是 18N44 的耐高温性优于 18 的重要原因之一。

综上，经 37 °C 高温处理后，香菇 18N44 菌丝恢复生长情况明显优于 18。通过 GC-MS 测定高温胁迫下香菇菌丝中脂肪酸组成及含量变化，发现两个菌株的脂肪酸种类并未发生改变，总脂肪酸含量变化明显，基本随高温胁迫时间的延长逐渐降低。对于耐高温菌株 18N44，其饱和脂肪酸占比不断升高，主要饱和脂肪酸棕榈酸的占比显著高于 18 中的 (高温胁迫 24 h 除外)，而主要不饱和脂肪酸亚油酸的占比则相反，表明饱和脂肪酸占比的升高可增强香菇的耐热性。因此，本研究以耐高温性不同的两个香菇菌株 18 和 18N44 为试验材料，对两者在高温胁迫前后的脂肪酸变化情况进行了分析与比较，为耐高温香菇新品种的选育提供了一定的理论依据。

3 材料与方法

3.1 供试菌株

香菇菌株 18 和 18N44 均由上海市农业科学院

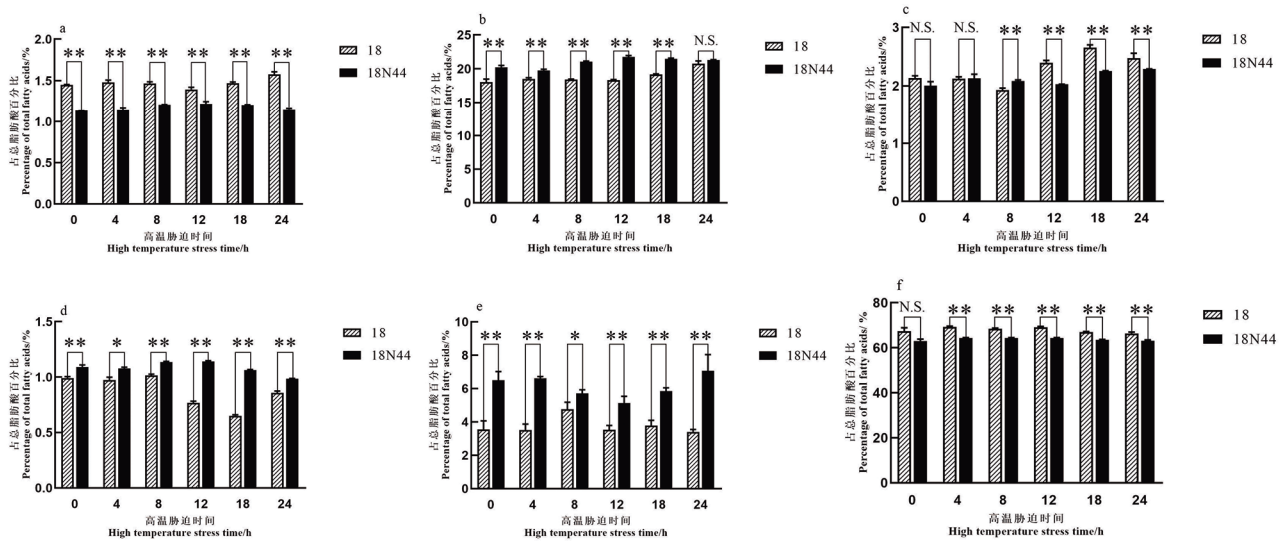


图 3 高温胁迫对香菇菌丝体中六种脂肪酸占比的影响

注: a, b, c, d, e, f 分别表示 C15:0, C16:0, C18:0, C16:1, C18:1, C18:2; * 表示 $p < 0.05$; ** 表示 $p < 0.01$; N.S. 表示 $p > 0.05$

Figure 3 The effect of high temperature stress on the proportion of six fatty acids in *L. edodes* mycelia

Note: a, b, c, d, e, f respectively represents C15:0, C16:0, C18:0, C16:1, C18:1, C18:2; * means $p < 0.05$; ** means $p < 0.01$; N.S. means $p > 0.05$

食用菌研究所提供。

3.2 液体培养基

马铃薯 200 g, 葡萄糖 20 g, 加蒸馏水到 1 L, pH 自然。

3.3 主要仪器及试剂

主要仪器: 美国安捷伦公司 7890A-5975C 气相色谱 - 质谱联用仪(GC-MS), 上海精宏实验设备有限公司 DHG-9023A 型烘箱, 天津奥特赛恩斯仪器有限公司 MTN-2800D 型氮气吹干仪, 上海康禾光电仪器有限公司 H-101 型振荡仪, 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司 H1650-W 型离心机。

主要试剂: 5% H₂SO₄, 正己烷, Methyl Nonadecanoate (十九烷酸甲酯)。

3.4 高温处理后香菇菌丝的恢复生长情况

将活化后的香菇菌株(18, 18N44)接种到 PDA 平板上, 在 25 °C 培养箱内静置培养 5 d, 随后将平板在 37 °C 高温下处理 12 h。高温处理后的平板放置在 25 °C 培养箱内进行恢复生长, 培养 7 d 后观察香菇菌丝的恢复生长情况。

3.5 高温处理后香菇菌丝脂肪酸的测定

将 18 和 18N44 在 PDA 平板上培养 14 d, 转接三次后, 将两菌株分别接种于装有 100 mL 液体培养基的三角瓶(容量为 250 mL)中, 然后将其置于摇床(25 °C, 150 r/min)中培养 14 d, 于 37 °C 高温下分别处理 0、4、8、12、18 和 24 h, 每个菌株的每个高温处理时间点设置 3 个生物学重复。收集两个菌株高温处理后的菌丝体, 用于测定其脂肪酸种类及含量。

称取 0.2 g 菌丝, 分别加入 1.0 mL 5% H₂SO₄ 和 5 μL 内标到试管中, 随后每 10 s 向试管内吹氮气用于排除空气。在 80 °C 下立即加热 90 min, 然后置于 4 °C 冷藏 10 min 后, 转移至玻璃小瓶中, 再加入 0.5 mL 超纯水和 1.0 mL 正己烷振荡 20 s, 最后在 2000 rpm 下离心 10 min, 待分层后, 取上层液体于进样小瓶中进行 GC-MS 分析。

色谱柱: DB-5ms(30 m×0.25 mm×0.25 μm); 进样量: 1.00 μL; 进样温度: 270 °C; 分流比: 5: 1; 载气: 氮气 (99.999%); 流量: 1 mL/min; 柱温: 70 °C 保持 5 min, 以 25 °C/min 升至 200 °C, 以 2 °C/min 升至 240 °C, 以 20 °C/min 升至 300 °C, 保持 7 min; 接口温度: 280 °C; 离子源温度: 230 °C; 四级杆温度: 150 °C; 电离方式: EI, 70 eV; 检测器电压: 2106 V; 扫描方式: 全扫

描; 质量范围: 33~500; NIST 2014 谱库。

作者贡献

赵妍、李治平和任昀霏是本研究的实验设计者和试验研究的执行人, 完成数据分析, 论文初稿的写作; 张美彦、宋晓霞、查磊和杨焕玲参与实验设计和试验结果分析; 陈明杰是项目的构思者及负责人, 指导实验设计、数据分析、论文写作与修改。全体作者都阅读并同意最终的文本。

致谢

本研究由国家食用菌产业技术体系基金(CARS20)资助。

参考文献

- Beca-Carretero P., Guihéneuf F., Marín-Guirao L., Bernardeau-Esteller J., García-Muñoz R., Stengel D.B., and Ruiz J.M., 2018, Effects of an experimental heat wave on fatty acid composition in two Mediterranean seagrass species, *Marine Pollution Bulletin*, 134: 27-37.
- Cao X.T., Bian Y.B., Xiao X.J., Li J.S., and Wang G.Z., 2015, Effect of heat stress on *Lentinula edodes* mycelial growth recovery and resistance to *Trichoderma harzianum*, *Shiyongjun Xuebao (Acta Edulis Fungi)*, 22(4): 81-85, 95. (曹现涛, 边银丙, 肖新军, 李进山, 王刚正. 高温胁迫对香菇菌丝生长及其抗哈茨木霉能力的影响, *食用菌学报*, 2015, 22(4): 81-85, 95.)
- Falcone D.L., Ogas J.P., and Somerville C.R., 2004, Regulation of membrane fatty acid composition by temperature in mutants of *Arabidopsis* with alterations in membrane lipid composition, *BMC Plant Biology*, 4: 1-15.
- Guerzoni M.E., Lanciotti R., and Cocconcelli P.S., 2001, Alteration in cellular fatty acid composition as a response to salt, acid, oxidative and thermal stresses in *Lactobacillus helveticus*, *Microbiology*, 147(8): 2255-2264.
- Haddaji N., Mahdhi A.K., Ismail M.B., and Bakhrouf A., 2017, Effect of environmental stress on cell surface and membrane fatty acids of *Lactobacillus plantarum*, *Archives of Microbiology*, 199(9): 1243-1250.
- He Y., Wu Y.M., Gao H.D., and Liu C.F., 2010, Research progress of *Lentinula edodes* nutritional components, *Xindai Nongye Keji (Modern Agricultural Science and Technology)*, (23): 140-141. (何永, 伍玉明, 高红东, 刘存芳, 2010, 香菇营养成分研究进展, *现代农业科技*, (23): 140-141.)
- Oberson J., Rawlyer A., Brandle R., and Canevascini C., 1999, Analysis of the heat-shock response displayed by two

- Chaetomium species originating from different thermal environments, *Fungal Genetics and Biology*, 26(3): 178-189.
- Paulucci N.S., Medeot D.B., Dardanelli M.S., and de Lema M.G., 2011, Growth temperature and salinity impact fatty acid composition and degree of unsaturation in peanut-nodulating rhizobia, *Lipids*, 46(5): 435-441.
- Pham Thi A.T., Vieira Da Silva J., and Mazliak P., 1990, The role of membrane lipids in drought resistance of plants, *Bulletin de la Société Botanique de France, Actualités Botaniques*, 137(1): 99-114.
- Tang Y., Li Y.Y., Li H.M., Wan D.J., and Tang Y.J., 2011, Comparison of lipid content and fatty acid composition between Tuber fermentation mycelia and natural fruiting bodies, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(9): 4736-4742.
- Tereshina V.M., Memorskaya A.S., Kotlova E.R., 2011, The effect of different heat influences on composition of membrane lipids and cytosol carbohydrates in mycelial fungi, *Mikrobiologiya*, 80(4): 455-460.
- Wang F., Ma J.L., Qing D.D., Tian X.J., Ni Z.F., Yao Y.Y., Hu Z.R., Sun Q.X., and Peng H.R., 2013, The differences of permeability and membrane lipid composition of heat tolerant and susceptible wheat (*Triticum aestivum*) under high temperature stress, *Nongye Shengwu Jishu Xuebao (Journal of Agricultural Biotechnology)*, 21(8): 904-910. (王飞, 马金玲, 秦丹丹, 田雪君, 倪中富, 姚颖垠, 胡兆荣, 孙其信, 彭惠茹, 2013, 小麦耐热及热敏感基因型在高温胁迫下膜透性及膜脂组分的差异, *农业生物技术学报*, 21(8): 904-910.)
- Wang G.Z., Ma C.J., Zhou S.S., Mou C.Y., Luo Y., Gong Y.H., Zhou Y., Kang H., and Bian Y.B., 2017, Study on regulation of heat shock protein DnaJ, tryptophan and Auxin IAA metabolism under high temperature stress in *Lentinula edodes*, Abstracts of the 7th National Congress and 2017 annual meeting of Mycological Society of China, pp.50. (王刚正, 马超君, 周莎莎, 牟春叶, 罗义, 龚钰华, 周雁, 康恒, 边银丙, 2017, 香菇高温胁迫下热激蛋白 DnaJ、色氨酸及生长素 IAA 代谢的表达调控研究, *中国菌物学会第七届全国会员代表大会暨 2017 年学术年会摘要集*, pp.50.)
- Wang H.X., eds., 2014, *Edible fungi cultivation*, China Agricultural University Press, Beijing, China, pp. 85. (王贺祥, 编著, 2014, *食用菌栽培学*, 中国农业大学出版社, 中国, 北京, pp. 85.)
- Wang L.N., Zhao Y., Zhang B.F., and Chen M.J., 2014, Breeding thermo-tolerant strains of *Lentinula edodes* by UV induced protoplast mutagenesis, *Weishengwuxue Tongbao (Microbiology China)*, 41(7): 1350-1357. (王丽宁, 赵妍, 张宝粉, 陈明杰, 2014, 利用原生质体紫外诱变技术选育耐高温香菇菌株, *微生物学通报*, 41(7): 1350-1357.)