

高效瞬时灭菌技术对平菇栽培基质的影响

许方方, 刘丽娜, 李顺峰, 崔国梅, 王安建

(河南省农业科学院农副产品加工研究中心 郑州 450002)

摘要: 为了深入探究高温瞬时灭菌技术对平菇栽培基质的影响, 并寻求最佳平菇原料处理工艺, 采用自制螺杆对平菇栽培原料进行高温瞬时灭菌处理。利用傅里叶红外光谱仪和 X 射线衍射仪对处理后的基质进行结构分析, 以木质纤维素各组分含量为指标, 比较了处理前后平菇栽培原料的营养组分变化, 同时, 还评估了持水力、容重和比孔隙率等物理性质。结果表明, 经过高温瞬时灭菌处理后, 平菇栽培料在红外光谱分析中显示化学组成未变, 但组分含量有变化; X 射线衍射分析显示其结晶度增加。此外, 处理后的持水力提升至 $3.76 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, 较之前增加了 72%, 比孔隙率也增至 $6.31 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 较之前增加了 30%, 同时, 容重及溶胀也均有显著变化。在营养组分方面, 纤维素和木质素含量(w, 后同)分别由 31.79%、12.02% 降至 29.22%、9.95%。表明高温瞬时灭菌技术改善了平菇栽培料的结构特性, 研究结果为更好地利用栽培料提供了理论基础。

关键词: 平菇栽培料; 高温瞬时灭菌; 分解; 改性

中图分类号: S646.1⁴ 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2024)07-144-05

Effect of high-efficiency instant sterilization technology on the substrate of *Pleurotus ostreatus* cultivation

XU Fangfang, LIU Li'na, LI Shunfeng, CUI Guomei, WANG Anjian

(Research Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: In order to explore the impact of high-temperature instantaneous sterilization technology on the substrate of *Pleurotus ostreatus* cultivation, and seek better processing technology for its raw materials, this study used self-made screw to carry out high-temperature instantaneous sterilization treatment on its cultivation raw materials. Fourier transform infrared spectrometer and X-ray diffractometer were used to analyze the structure of the treated substrate. The changes of nutritional components of *P.ostreatus* cultivation raw materials before and after treatment were compared by using the content of lignocellulose components as indicators. At the same time, the changes of physical properties such as water holding capacity, bulk density and specific surface area were also evaluated. The results showed that after high-temperature instantaneous sterilization treatment, the chemical composition of *P. ostreatus* cultivation materials did not change in infrared spectroscopy analysis, but the content of its components changed. X-ray diffraction analysis showed that its crystallinity increased. In addition, the water holding capacity after treatment increased to $3.76 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, an increase of 72% compared with before, and the specific surface area increased to $6.31 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, an increase of 30%. At the same time, bulk density and swelling also changed significantly. In terms of nutritional components, the content of cellulose and lignin decreased from 31.79%, 12.02% to 29.22%, 9.95% respectively. These results indicated that high-temperature instantaneous sterilization technology improved the structural characteristics of *P. ostreatus* cultivation materials, which provides a theoretical basis for better utilization of cultivation materials.

Key words: Mushroom cultivation materials; High-temperature instant sterilization; Decomposition; Modification

平菇为侧耳科侧耳属的一种食用菌, 因其味道鲜美^[1]和营养价值丰富而受到广泛欢迎。作为高蛋白^[2]、低脂肪的食品, 平菇还含有多种功能性成分和

药理成分, 使其在健康饮食中具有重要地位。平菇在我国有悠久的栽培历史, 早在南宋时期, 陈玉仁在《菌谱》中就有关于平菇的记载^[3], 目前是我国种

收稿日期: 2023-08-31; 修回日期: 2024-01-22

基金项目: 河南省重点研发专项(231111112500); 河南省科技攻关计划项目(232102110278, 242102111068, 242102110348); 河南省农业科学院科技创新团队专项(2024); 河南省农业科学院自主创新项目(2023ZC079)

作者简介: 许方方, 女, 助理研究员, 主要研究方向为农产品保鲜与加工。E-mail: 765758937@qq.com

通信作者: 王安建, 男, 研究员, 主要研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: jgs1525@126.com

植量、产量都较高的食用菌之一,分布范围也相当广泛^[4]。然而,随着人们对健康饮食的追求和对食用菌需求的日益增长,对平菇栽培技术的研究显得尤为重要。传统的平菇栽培主要采用生料、熟料和发酵料三种方式。尽管这些方法在一定程度上能够满足生产需求,但仍然存在一些问题,如发酵料会导致子实体的品质和产量降低^[5],生料栽培容易感染杂菌^[6],而熟料栽培基质的营养损失较大^[7]。因此,寻求一种新型的平菇栽培料处理技术成为了当前研究的重点。近年来,研究者们开始关注平菇栽培料的替代原料和新的处理技术。例如,史红鸽等^[8]利用羊肚菌营养袋废料替代部分棉籽壳、玉米芯,为平菇栽培提供了新的原料来源;贺望兴等^[9]研究茶枝屑栽培平菇,进一步扩大了其栽培原料的范围;文晴等^[10]通过添加金针菇菌糠,为平菇的栽培提供可行的营养来源。然而,这些研究仍存在一些局限性,例如替代原料的可用性和处理技术的稳定性等问题。针对以上问题,笔者采用双螺杆挤压技术对平菇栽培料进行处理,该技术能够在短时间内使栽培料迅速升温,并在瞬时高温高压和机械剪切力的共同作用下,改变纤维间的化学键结构。通过测定处理前后平菇栽培料的理化性质和分子结构,深入探究高温瞬时灭菌处理对平菇栽培料的影响,以期为优化栽培技术、提高产量和品质提供新的思路和方法。

1 材料与方 法

1.1 材料及配 方

平菇栽培料的配方按照玉米芯 74%、棉籽壳 18.5%、麸皮 5.6%、石灰 1.9%的质量比混合,含水量 65%。

1.2 试验设计

试验于 2023 年 4 月在河南现代农业研究开发基地进行。将搅拌均匀的培养料用自制的双螺杆挤压机进行高温瞬时灭菌,设置为:螺杆电机频率 21 Hz,喂料电机频率 27 Hz,以及加热区温度分别为 I 区 90 °C、II 区 140 °C、III 区 162 °C 和 IV 区 130 °C。将处理后的原料装袋,每袋装料(1250±50) g。对处理前后的培养料随机取样,并进行烘干粉碎处理,然后进行指标测定。

1.3 指标测定

1.3.1 木质纤维素含量的测定 根据 Vansoest^[11]的方法,对木质纤维素各组分含量进行测定。准确称取 1 g 样品置于 250 mL 三角瓶内,加入 100 mL 的中性洗涤剂,短时间内将其煮沸,并一直保持煮沸状态 60 min,再用玻璃坩埚进行冲洗抽滤,酸性洗

涤纤维含量的测定与中性洗涤纤维含量的测定方法相同,把酸性洗涤纤维代替中性洗涤纤维即可。再采用 72%的浓硫酸水解法^[12],测定样品中的酸性洗涤纤维的木质素含量,最后用灰化炉 500 °C 灰化 3 h,通过计算得到样品中木质纤维素各组分的含量。

1.3.2 傅里叶红外光谱扫描 称取 0.01 g 样品粉末与 2 g 溴化钾进行充分研磨,然后压片,进行红外光谱扫描,波数范围设置在 400~4000 cm⁻¹,扫描次数 64 次,分辨率为 4 cm⁻¹^[13],每份样品进行 3 次扫描,对所得光谱进行归一化和自动平滑处理^[14]。

1.3.3 理化性质的测定 容重、溶胀和比孔隙率的测定:称取 2 g 未粉碎的样品(W),置于 50 mL 的带刻度试管内,摇晃震动,尽量让样品之间没有空隙,记录样品的体积(V),向试管内加入 32 mL 的生理盐水(V_0),室温放置 24 h,中间将气泡全部排出,记录混合液的容积(V_m)^[15]。

$$\text{容重}/(\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})=W/V;$$

$$\text{溶胀}/(\text{mL}\cdot\text{g}^{-1})=V_m/W;$$

$$\text{比孔隙率}/(\text{mL}\cdot\text{g}^{-1})=[V-(V_m-V_0)]/W。$$

持水力的测定:称取 3 g 样品于 60 mL 坩埚内,加入 0.9%的氯化钠溶液,37 °C 恒温浸泡 2 h,结束之后抽滤 2 min,称质量记录数据(W_{wet}),然后将湿样 105 °C 烘干 4 h,冷却之后称质量(W_{dry})。

$$\text{持水力}/(\text{g}\cdot\text{g}^{-1})=(W_{\text{wet}}-W_{\text{dry}})/W_{\text{dry}}。$$

1.3.4 X 射线衍射 分别称取平菇栽培原料和经过高温瞬时灭菌处理后的栽培料粉末样品,平铺在 XRD 样品板上,进行扫描。以铜靶为测试靶材,以 5°·min⁻¹的速率进行扫描,衍射角的扫描范围是 5°~50°。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 及 SPSS 25.0 进行单因素方差分析,采用 Excel 2010 进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 平菇栽培料处理前后木质纤维素含量的变化

由表 1 可知,原料中的纤维素和木质素含量分别为 31.79%、12.02%,经过处理后其含量又分别显著降低至 29.22%、9.95%,说明经过高温瞬时处理,部分纤维素和木质素可能发生降解或转化,导致其含量相对原料有所降低。原料中半纤维素含量由 35.78%降至 34.80%,变化不显著,表明处理对半纤维素的影响较小,可能是半纤维素相对稳定,不宜受到处理过程中的高温和机械剪切力的影响,因此含量变化不明显。综上所述,平菇栽培料经过处理后,木质纤维素各组分含量均降低,有助于进一步

了解该处理对平菇栽培料的影响。

表1 平菇栽培料处理前后的木质纤维素含量

Table 1 The lignin content before and after the treatment of *Pleurotus ostreatus* cultivation materials

原料 Material	w(纤维素) Cellulose content/%	w(半纤维素) Hemicellulose content/%	w(木质素) Lignin content/%
处理前 Before treatment	31.79±0.54 a	35.78±0.41 a	12.02±0.20 a
处理后 After treatment	29.22±0.35 b	34.80±1.60 a	9.95±0.21 b

注: 同列数据后不同小写字母代表不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatment at 0.05 level. The same below.

2.2 傅里叶红外光谱分析结果

如图 1 所示, 平菇栽培料高温瞬时灭菌处理前后的红外光谱相似, 特征吸收峰位置大致相同, 说明高温瞬时灭菌未改变其内部基本化学组成, 也未产生新的基团^[6]。在光谱 3723 cm⁻¹、2924 cm⁻¹、1630 cm⁻¹ 处分别出现 -OH、-CH 和 -CO 基团的伸缩振动, 在光谱指纹区 800~1800 cm⁻¹ 范围内吸收峰, 主要来自于木质纤维素成分官能团的振动^[7], 1514 cm⁻¹ 处的吸收峰是木质素中芳香环碳骨架和 C=O 键振动引起的, 在 1427 cm⁻¹ 处的吸收峰是纤维素和木质素 -CH₂ 振动引起的, 在 1384 cm⁻¹ 处的吸收峰是木质素中的 -CH、-CO 键振动, 在 1252 cm⁻¹ 处的吸收峰是半纤维素或者木

质素中的酰氧键 CO-OR 和苯环-氧键的伸缩振动引起的, 在 1042 cm⁻¹ 处的吸收峰是纤维素、半纤维素和木质素中的 C-O 键的振动和 C-H 键的变形引起的。平菇栽培料经过高温处理后, 其红外光谱上显示出多个波数位置上的吸光度增强, 这一变化可能与处理过程中发生的化学反应和组分降解有关, 随着这些组分的降解, 其中的化学键可能会被拉扯或分解, 进而影响其在红外光谱上的吸收峰。

2.3 平菇培养料处理前后物理性质的变化

从表 2 可以看出, 平菇栽培料高温瞬时灭菌处理前后的容重、比孔隙率、溶胀和持水力均有变化, 且各自的组内含量变化存在显著差异。平菇栽培原料的容重为 0.14 g·mL⁻¹, 较处理后的容重 (0.18 g·mL⁻¹) 低 22%, 原料的比孔隙率为 6.31 g·mL⁻¹, 较处理后 (4.85 g·mL⁻¹) 的高 30%, 表示栽培料的内部结构发生了收缩。溶胀是样品经过 24 h 浸泡之后单位干物质占有的体积, 经过处理后的溶胀比之前的降低了 40%, 持水力增加了 72%, 可能是高温瞬时灭菌处理改变了栽培料的形态结构, 这一变化可能会对后期的菌丝生长提供更适宜的条件, 以提高生物学效率。

2.4 X射线衍射分析结果

由图 2 可知, 平菇栽培料高温瞬时灭菌处理前后的衍射图大致相似, 衍射峰的位置无明显差异, 但峰的相对强度发生了变化。经过高温瞬时灭菌处理后的栽培料衍射峰的相对强度高于未处理的栽培料, 这表明其晶体结构的有序程度有

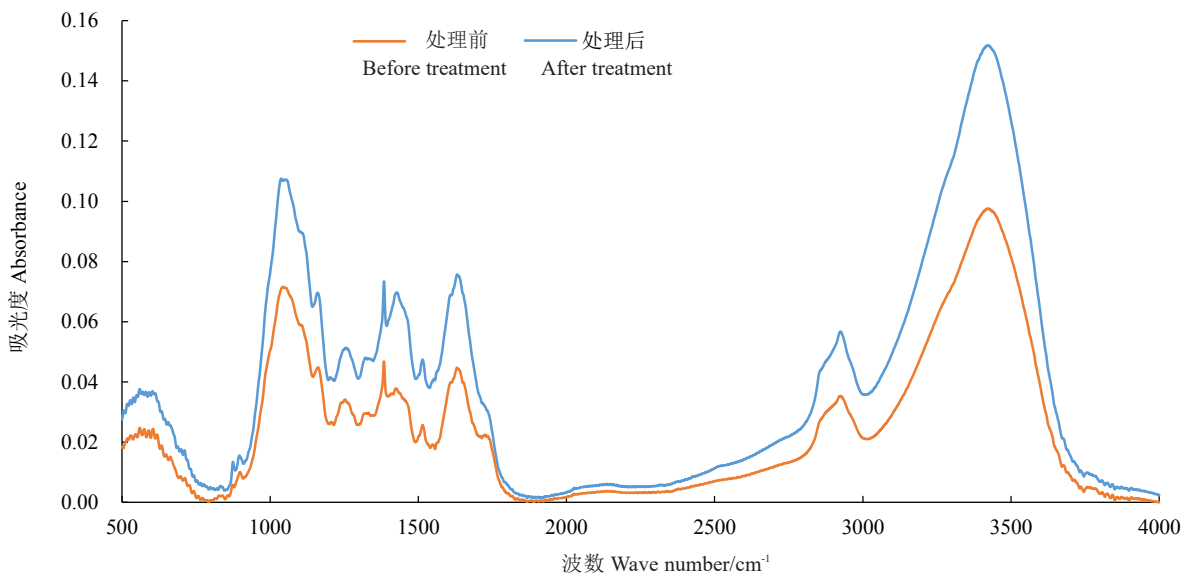


图1 平菇栽培料高温瞬时灭菌处理前后的红外光谱图

Fig. 1 Infrared spectra of *Pleurotus ostreatus* cultivation materials before and after high-temperature instant sterilization treatment

表2 平菇栽培料处理前后物理性质的变化

Table 2 Changes in physical properties of *Pleurotus ostreatus* cultivation materials before and after treatment

原料 Material	溶胀 SC/(mL·g ⁻¹)	容重 VM/(g·mL ⁻¹)	比孔隙率 SP/(mL·g ⁻¹)	持水力 WHC/(g·g ⁻¹)
处理前 Before treatment	0.96±0.08 a	0.14±0.01 b	6.31±0.62 a	2.18±0.23 b
处理后 After treatment	0.57±0.14 b	0.18±0.01 a	4.85±0.31 b	3.76±0.05 a

所提高,即结晶度有所增加。处理前后的栽培料在 26.7°和 29.5°存在 2 个主要衍射峰,在 34.8°和 39.4°存在 2 个次要衍射峰,说明高温瞬时灭菌处理没有改变栽培料的晶体结构类型。与未处理的平菇栽培原料相比,高温瞬时灭菌处理

后的衍射峰更为尖锐,这意味着晶体尺寸增大或晶体缺陷减少,从而提高了结晶度。此外,处理后的衍射峰尖锐度增加可能与木质纤维素在高温处理过程中的水解有关,这可能导致非结晶区域的比例减少,结晶区域的比例增加。

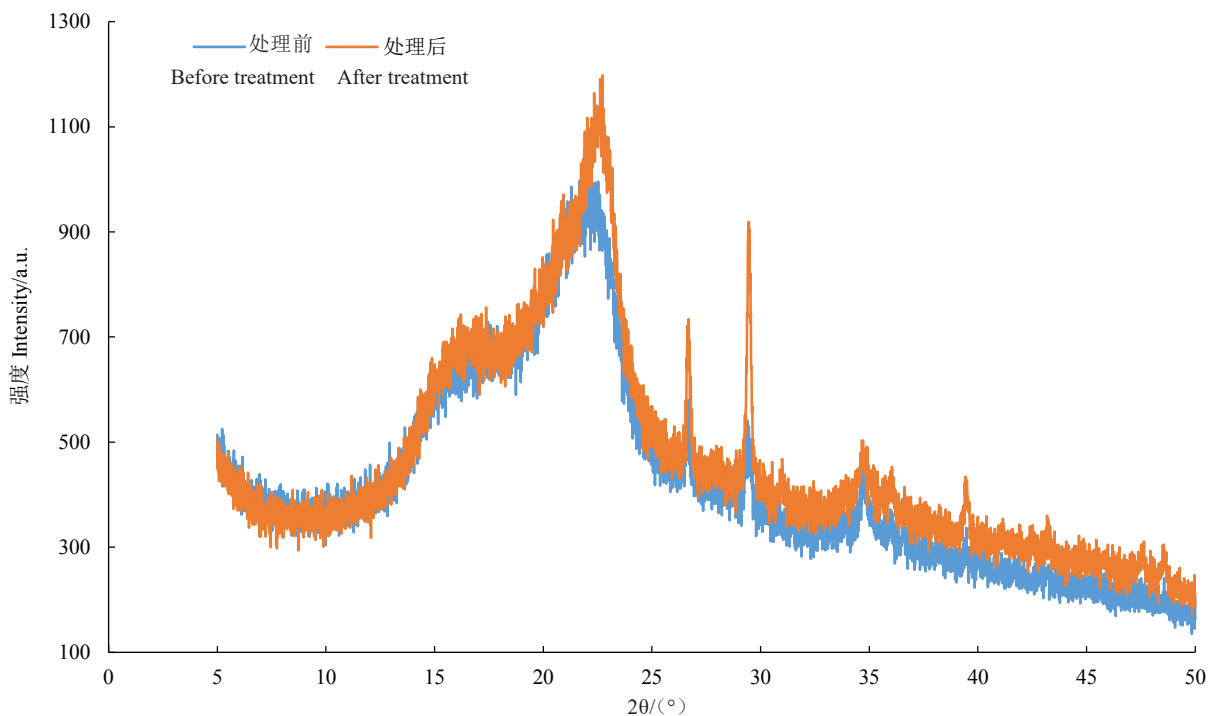


图2 平菇栽培料高温瞬时灭菌处理前后的 X 射线衍射图

Fig. 2 X-ray diffraction patterns of *Pleurotus ostreatus* cultivation materials before and after high-temperature instant sterilization treatment

3 讨论与结论

通过利用自制螺杆挤压机对平菇栽培料进行高温瞬时灭菌处理,深入探究了高温瞬时灭菌处理对其内部化学成分的影响。研究发现高温处理能够有效降低木质纤维素各组分的含量,这与果禹鑫^[18]对桃木屑中木质纤维素降解的研究以及孙军涛等^[19]对玉米芯的研究结果一致。该处理还改变了栽培料的结构形态,使其更加松散多孔,这与靳荣线等^[20]的研究结果粒径在 0.2~1.5 cm 之间的玉米芯效果最佳相吻合。孔维丽等^[21]研究也发现,培养料粒

径越小,平菇栽培期间越不易出现烧菌、感染杂菌现象,且生物学效率较高。然而,试验中可能存在误差和局限性,例如处理过程中可能存在温度不均匀的问题,这可能会影响结果的准确性。为了解决这个问题,笔者建议在未来研究中优化处理过程,以提高温度控制的准确性。

该技术的应用不仅降低了木质纤维素各组分的含量,还改变了栽培料的结构形态。这些结果表明,高温瞬时灭菌技术为平菇栽培料处理提供了一种新的有效手段,有望为今后平菇栽培技术的进一步发展作出贡献。

参考文献

- [1] 肖汉洪,朱惠敏,戴沉沉.不同碳氮比培养基对平菇的影响[J].农村经济与科技,2022,33(21):55-57.
- [2] 候立华.新疆地区平菇熟料袋栽墙式出菇关键技术[J].食用菌,2023,45(1):56-58.
- [3] 龚凤萍,张应香,段庆虎,等.河南省平菇轻简化栽培工艺创新[J].中国食用菌,2015,34(2):82-84.
- [4] 孙波,王卓仁,周洪英,等.桑枝替代棉籽壳栽培平菇试验[J].食用菌,2022,44(6):38-40.
- [5] 竹玮,龚凤萍,段庆虎,等.添加不同氮源对棉籽壳发酵后熟化栽培平菇的影响[J].中国食用菌,2019,38(9):33-36.
- [6] 杨建杰,张桂香,杨琴,等.玉米秸秆栽培平菇技术要点[J].甘肃农业科技,2019(12):92-95.
- [7] 张立娅,张国庆,陈青君,等.不同制棒工艺对平菇产量、农艺性状及品质的影响[J].蔬菜,2022(8):55-59.
- [8] 史红鸽,魏银初,班新河,等.羊肚菌营养袋废料栽培平菇培养基配方筛选试验[J].北方园艺,2020(23):123-126.
- [9] 贺望兴,李延升,石旭平,等.茶枝屑替代木屑栽培平菇的研究[J].中国食用菌,2021,40(1):153-157.
- [10] 文晴,朱琳,余海尤,等.工厂化金针菇菌糠对平菇熟料栽培和营养成分的影响[J].北方园艺,2021(2):124-130.
- [11] VANSOEST P J. Use of detergents in the analysis of fibrous-feeds II. A rapid method for the determination of fiber and lignin[J]. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 1990, 73(4):491-497.
- [12] 许永花,王娜,刘金明.基于谱区优选的近红外光谱快速预测玉米秸秆中木质纤维素含量的研究[J].分析化学,2022,50(10):1587-1596.
- [13] 张广琪,甘芝霖,杨阳,等.基于红外光谱技术的蜂蜜理化性质快速检测[J].农业工程学报,2023,39(10):275-284.
- [14] 李栋玉,王媛,胡粉娥,等.红外光谱结合曲线拟合分析对两种红菇的研究[J].曲靖师范学院学报,2020,39(3):41-46.
- [15] 刘芹,胡素娟,崔筱,等.糙皮侧耳对培养料中木质纤维素的降解研究[J].江西农业学报,2022,34(1):202-210.
- [16] 秦智欣,郑明珠,林楠,等.复合酶法大黄米多孔淀粉的制备及其微观结构和理化性质[J].中国食品学报,2023,23(5):138-150.
- [17] 邓祥胜,李明蔓,何鹏,等.桉树伐桩分解过程中木质纤维素成分的变化特征[J].中南林业科技大学学报,2022,42(5):160-169.
- [18] 果禹鑫.桃木屑短时堆肥处理对栽培平菇过程中微生物动态、木质纤维素降解及营养品质的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.
- [19] 孙军涛,张智超,詹静,等.玉米芯水热预处理组分分析研究[J].中国食品添加剂,2022,33(11):178-185.
- [20] 靳荣线,马玮超,鲁欣欣,等.不同颗粒规格玉米芯发酵料对栽培平菇的影响[J].中国食用菌,2021,40(5):54-57.
- [21] 孔维丽,郭家稳,刘芹,等.平菇培养料发酵度快速测定指标的建立[J].中国瓜菜,2021,34(2):54-60.