

# 人工疏蕾对香菇定向出菇产量及品质的影响

王辛<sup>1</sup>, 朱姝蕊<sup>1</sup>, 刘凌云<sup>1</sup>, 吴邦仁<sup>2</sup>, 潘年港<sup>1</sup>, 李萌<sup>1</sup>, 李长田<sup>\*1</sup>

1 吉林农业大学食药菌教育部工程研究中心, 吉林 长春 130118

2 浙江省丽水市经济作物总站, 浙江 丽水 323000

王辛, 朱姝蕊, 刘凌云, 吴邦仁, 潘年港, 李萌, 李长田. 人工疏蕾对香菇定向出菇产量及品质的影响[J]. 微生物学通报, 2023, 50(11): 4863-4875.

WANG Xin, ZHU Shurui, LIU Lingyun, WU Bangren, PAN Niangang, LI Meng, LI Changtian. Effects of artificial bud thinning on the yield and quality of *Lentinula edodes* in directed fruiting[J]. Microbiology China, 2023, 50(11): 4863-4875.

**摘要:** 【背景】在香菇定向出菇模式中, 由于出菇区域的限制, 出菇数目会影响单菇的品质与产量, 但关于人工疏蕾对香菇品质与产量的影响目前尚未深入研究。【目的】通过人工疏蕾探究香菇定向出菇技术下保留不同菇蕾数量对香菇产量及品质的影响。【方法】测定各处理组子实体产量、形态指标、质构特性及营养成分。【结果】保留 10–20 个菇蕾时, 子实体性状好于其他组, 单菇重为 15.74–23.76 g, 菌盖直径为 45.98–52.37 mm。保留 30 个菇蕾时一潮菇单棒产量最高, 达到 368.9 g。从质构特性来看, 人工疏蕾对菌柄的质构影响较小, 随着菇蕾数目的增加, 香菇菌盖的硬度、胶着性、回复性、咀嚼性呈现下降趋势, 保留 10–20 个菇蕾数品质最好、质地最佳。保留 10–20 个菇蕾时可以获得粗蛋白、粗脂肪、氨基酸含量较高的香菇子实体。【结论】保留 15–20 个菇蕾的菌棒可以获得产量较高、品质较好的产品。保留 10 个菇蕾时虽然子实体品质最佳, 但生物学效率较低, 而且会增加一定的工作量。因此, 保留 15–20 个菇蕾效益更好。

**关键词:** 香菇; 定向出菇; 人工疏蕾; 农艺性状; 质构; 营养成分

资助项目: 国家重点研发计划(2020YFD1000300)

This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2020YFD1000300).

\*Corresponding author. E-mail: lct@jlau.edu.cn

Received: 2023-03-24; Accepted: 2023-04-24; Published online: 2023-05-16

# Effects of artificial bud thinning on the yield and quality of *Lentinula edodes* in directed fruiting

WANG Xin<sup>1</sup>, ZHU Shurui<sup>1</sup>, LIU Lingyun<sup>1</sup>, WU Bangren<sup>2</sup>, PAN Niangang<sup>1</sup>, LI Meng<sup>1</sup>, LI Changtian<sup>\*1</sup>

1 Engineering Research Center of Edible and Medicinal Fungi, Ministry of Education, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China

2 Lishui Economic Crops Station in Zhejiang Province, Lishui 323000, Zhejiang, China

**Abstract: [Background]** In the directed fruiting mode, the number of fruiting bodies produced affects the quality and yield of individual fruiting bodies due to the limitation of the fruiting area. However, the effects of artificial bud thinning on the quality and yield of *Lentinula edodes* remain to be studied. **[Objective]** To reveal the effects of artificial bud thinning (retaining different number of fruiting body buds) on the yield and quality of *L. edodes* in directed fruiting. **[Methods]** The substrate utilization in each group was monitored. The morphological indexes, yield, and texture characteristics of fruiting bodies after harvest were measured. **[Results]** The group with 10–20 mushroom buds retained showed better agronomic traits than other groups, with a single fruiting body weight of 15.74–23.76 g and a cap diameter of 45.98–52.37 mm. The group with 30 mushroom buds retained had the highest yield (368.9 g) of first-batch mushrooms. Artificial bud thinning had little effect on the texture of the stalk. With the increase in the number of mushroom buds retained, the hardness, gluing, reversibility, and chewiness of the mushroom caps decreased. The group with 10–20 mushroom buds retained had the best quality and the best texture. Moreover, this group showed high crude protein, crude fat, and amino acid content in the fruiting body. **[Conclusion]** Retaining 15–20 mushroom buds in each bag can help to obtain high yield and quality. The mushroom quality is the best in the group with 10 buds retained, which, however, decreases the biological efficiency and increases the workload. Therefore, we suggest retaining 15–20 buds in each bag.

**Keywords:** *Lentinula edodes*; directed fruiting; artificial bud thinning; agronomic traits; texture; nutrient composition

香菇 [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler], 别名香蕈、香信和冬菇, 隶属于担子菌门 (*Basidiomycota*) 蘑菇纲 (*Agaricomycetes*) 蘑菇目 (*Agaricales*) 类脐菇科 (*Omphalotaceae*) 微香菇属 (*Lentinula*)<sup>[1]</sup>。据中国食用菌协会统计, 中国作为世界上食用菌产量最大的国家, 2020 年香菇年产量高达 1 188.21 万 t, 在食用菌产量中排名第一<sup>[2]</sup>。香菇富含丰富的营养价值, 具有 7 种人体必需氨基酸及多种维生素, 对于佝偻病及氨基酸缺乏

症有很大改善效果<sup>[3]</sup>。香菇多糖也具有抗病毒、抗肿瘤、调节免疫功能的作用<sup>[4-5]</sup>。

宋代庆元吴三公发明“砍花法”, 拉开了中国香菇人工栽培的序幕<sup>[6]</sup>。历经近千年发展, 香菇栽培进入到代料栽培阶段<sup>[7]</sup>。随着人们生活水平的不断提高, 香菇的市场需求量也在逐年上升, 实现香菇工厂化生产迫在眉睫。但目前香菇工厂化的发展进程不容乐观, 不定点出菇是阻碍香菇工厂化发展的难题之一<sup>[8]</sup>。目前

香菇栽培模式以袋栽为主, 多使用透明菌袋, 袋的四周都会现蕾、出菇, 导致菌袋摆放就必须留有一定空隙。这不仅浪费了场地空间, 而且增加了疏蕾及采收的人工成本。随着劳动力成本的不断上升, 长此以往将会制约香菇工厂化发展<sup>[9]</sup>。

陈俏彪等<sup>[10-11]</sup>通过利用光照差异设计了香菇定向袋, 初步解决了香菇不定点出菇的问题。定向袋的 3/4 是黑色区域, 1/4 为透明区域, 通过光照差异控制菌丝成熟度差异(图 1), 其中黑色区域不转色, 透明区域正常转色出菇。蒋俊等<sup>[12]</sup>将定向出菇模式与免割保水袋模式进行比较, 发现定向出菇模式在保水性、子实体性状、人工投入方面都优于传统模式。但由于出菇区域的限制, 定向出菇模式在菇数与子实体产量、品质阈值调控方面仍不理想, 保留菇蕾数过多可能导致子实体相互挤压, 品质下降; 保留菇蕾数过少则会影响产量, 减少利润。

农艺性状直接影响了香菇的出售价格, 消费者更偏爱个头大、菌盖圆润、厚实、菌柄较短的香菇。关于香菇的品质研究中, 质地对于香菇的货架期和口感有很大影响, 是衡量其商

品性状好坏的重要指标<sup>[13-15]</sup>。目前, 对于食用菌质地的评价多以感官评价为主, 缺乏科学性。在果蔬贮藏等产业的质地评价中, 质构仪发挥出巨大的作用。质构仪不受人为因素的影响, 具有客观性, 提高了数据的真实性、稳定性和重复性, 相较于感官评价更加科学。此外, 不同处理对香菇子实体营养成分的影响尚不明确, 随着食用菌大食物观的提出, 向微生物要蛋白、要热量的需求逐渐增加<sup>[16]</sup>。因此, 本文通过人工疏蕾保留不同子实体数目, 研究其对香菇农艺性状、质构特性、营养成分的影响, 以期找到香菇定向出菇技术下菇蕾数量与效益的合理阈值。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 供试菌种

香菇菌株 212 由吉林农业大学食药用菌教育部工程研究中心提供。

#### 1.1.2 主要试剂和仪器

15 cm×55 cm×0.007 cm 规格光诱导定向栽培袋, 福建省建瓯市元润塑料有限公司。数显温度计, 北京宏海永昌仪表技术开发中心; 游标卡尺, 烟台绿林工具有限公司; 搅拌机、装袋机, 龙泉市菇源自动化设备有限公司; 保时达蒸汽发生器, 杭州环节热能设备科技有限公司; 生化培养箱, 上海新苗医疗器械有限公司; 超净工作台, 上海苏净实业有限公司; 凯氏定氮仪、脂肪测定仪, 海能未来技术集团。

#### 1.1.3 培养基

母种培养基(g/L): 去皮马铃薯 200.0, 琼脂 20.0, 葡萄糖 20.0。

定向袋栽培菌棒的干料重 0.8 kg (硬杂木屑 78.0%, 麸皮 20.0%, 石膏 1.0%, 白糖 1.0%), 含水量 60.0%, pH 6.0-7.0, 单棒湿重 2.0 kg。

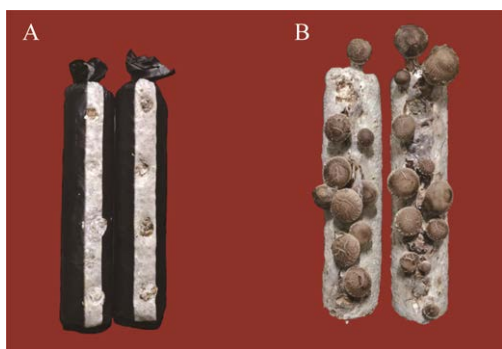


图 1 香菇的定向出菇技术 A: 发菌期. B: 出菇期

Figure 1 Orientation fruiting technology of *Lentinula edodes*. A: Mycelial growth period. B: Cropping period.

## 1.2 方法

### 1.2.1 出菇试验

出菇试验在浙江省丽水市莲都区越骆生物科技有限公司进行。将装袋后的菌包摆放到层架上,用液压车将层架推进常压灭菌锅中进行灭菌。待菌包内部温度达到 100 °C 后保持 12 h 再关闭灭菌锅电源,继续闷料 8 h 后开门出锅。

将灭菌后的菌包移入清洁、消过毒的菇棚呈“一”字型摆放冷却降温,待料温降到 25 °C 以下时开始接种。接种前,接种工具、菌种菌袋要用 75% 酒精进行消毒。接种时,在定向袋透明区域打孔并塞入菌种。接种后,在定向袋外侧再套一层防尘袋以防菌种干燥并降低污染,整个发菌过程处于 25 °C 避光处理。

待香菇菌棒转色后期进行脱袋处理,早晚各喷一次水,关闭棚门保持湿度在 85% 以上。当香菇子实体菌盖尚未完全张开、边缘稍内卷时及时采收。

### 1.2.2 疏蕾处理

选取一批成熟菌棒进行出菇管理,将该批菌棒分成 5 组,每组各 20 棒,待菌棒现蕾后分别对 5 组菌棒进行疏蕾,余下的菇蕾量分别为 10、15、20、25 和 30 个。疏蕾结束后在相同条件下培养至采收第一潮菇(各处理采收菇数与保留菇蕾数相同)。

### 1.2.3 香菇子实体产量与性状的测定

分别测定各组第一潮子实体单菇重量及单包产量、菌盖直径、菌盖厚度和菌柄重量。同时进行生物学效率的测定。每个处理选取 50 个子实体进行测定,重复 3 次。

生物学效率(%)=子实体鲜重(g)/基质干重(g)×100。

### 1.2.4 香菇子实体质构指标的测定

按照沈颖越等<sup>[17]</sup>的方法,分别对香菇子实体的菌柄、菌盖进行取样分析,菌盖部位分别

对菌盖两侧以及菌盖中部进行取样,样品厚度在 0.8–1.0 cm 之间,利用 TA/36R 直径 36 mm 探头进行质构指标的测定。测试模式:形变;测前速度:3.00 mm/s;测中速度:1.00 mm/s;测后速度:1.00 mm/s;触发力:5.0 g;香菇受压变形为 80%,两次压缩停顿时间为 3 s,测试温度 20–25 °C。测定指标为硬度、弹性、胶着性、黏聚性、咀嚼性、回复性。取 3 个不同疏蕾程度子实体处理及不同子实体部位各 3 次重复。

### 1.2.5 各处理子实体营养成分的测定

选取不同疏蕾处理的 10 个香菇子实体,70 °C 烘干、粉碎,测定总糖含量、氨基酸含量、粗脂肪含量、粗蛋白含量。总糖含量参照彭焱辉等<sup>[18]</sup>的方法;氨基酸含量参照刘苗苗等<sup>[19]</sup>的方法;根据参考文献[20]方法测定粗脂肪含量;根据参考文献[21]方法测定粗蛋白含量。每个处理 3 次重复。

## 1.3 数据分析

采用 SPSS 22.0 软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 子实体产量与形态指标

经过 5 种不同疏蕾程度的香菇子实体产量与形态指标见表 1,可以看出保留不同数目的菇蕾对香菇子实体的单菇重、产量及各子实体形态指标均有一定影响。随着菇蕾数的增加,香菇子实体的单菇重量逐渐减少。保留 10 个菇蕾时的单菇重量最大,平均为 24.77 g;保留 30 个菇蕾时单菇重最小,平均为 10.86 g,不同处理组呈显著差异。在产量方面,单棒产量与菇蕾数呈正相关,保留 30 个菇蕾的子实体产量最高,与其他组呈显著差异,总重量达到 368.90 g,生物学效率为 46.00%。但是随着保留菇蕾数目的增多,子实体的生长条件也会受到影响。

由图 2 可以看出, 随着菇蕾数目的增加, 香菇菌盖的直径、厚度、菌柄的质量呈下降趋势。保留 10 个菇蕾时的子实体农艺性状最好, 菌盖直径达到 52.37 mm、厚度为 22.89 mm、柄重 7.88 g, 与其他组呈显著差异; 其次是保留 15 个菇蕾时, 菌盖直径达到 49.57 mm、厚度为 18.31 mm、柄重 5.04 g; 保留 25–30 个菇蕾时, 菌盖直径分别为 40.50 mm 和 37.10 mm、厚度为 16.50 mm 和 14.83 mm、柄重为 4.47 g 和 3.09 g, 与其他组呈显著差异, 形状也更加不规则。这是由于菇蕾数太多子实体之间相互挤压从而导

致畸形发生, 直接影响了香菇子实体的形态与品质。综上所述, 从产量上来说, 保留 25–30 个菇蕾时的产量高于其他组, 但是保留 10–20 个菇蕾时的子实体单菇重以及菌盖直径、厚度等农艺性状要好于保留 25–30 个菇蕾, 更利于市场销售。

## 2.2 子实体质构指标

硬度是最直接反映口感的指标, 由图 3A 可知, 随着菇蕾数的增加, 菌盖的硬度呈现下降趋势, 在保留 10–20 个菇蕾时, 菌盖的硬度可以维持在较高水平。在保留 10 个菇蕾时菌盖

表 1 各组子实体产量及形态指标

Table 1 Yield and morphological indexes of fruiting bodies in each group

Number of mushroom buds	Single fruiting body weight (g)	Single bag weight (g)	Biological efficiency (%)	Cap diameter (mm)	Cap thickness (mm)	Stipe weight (g)
10	24.77±3.90a	251.37±23.14d	31.38	52.37±4.35a	22.89±2.95a	7.88±1.79a
15	19.23±1.73b	285.40±12.45c	35.63	49.57±2.64b	18.31±3.15b	5.04±0.97b
20	15.24±2.43c	314.83±20.05b	39.25	45.98±2.42c	16.82±2.79c	5.24±1.99b
25	14.03±3.30d	356.37±24.14a	44.50	40.50±4.60d	16.50±2.44c	4.47±2.24c
30	10.86±3.01e	368.90±22.49a	46.00	37.10±6.06e	14.83±2.47d	3.09±1.19d

同列不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )

Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

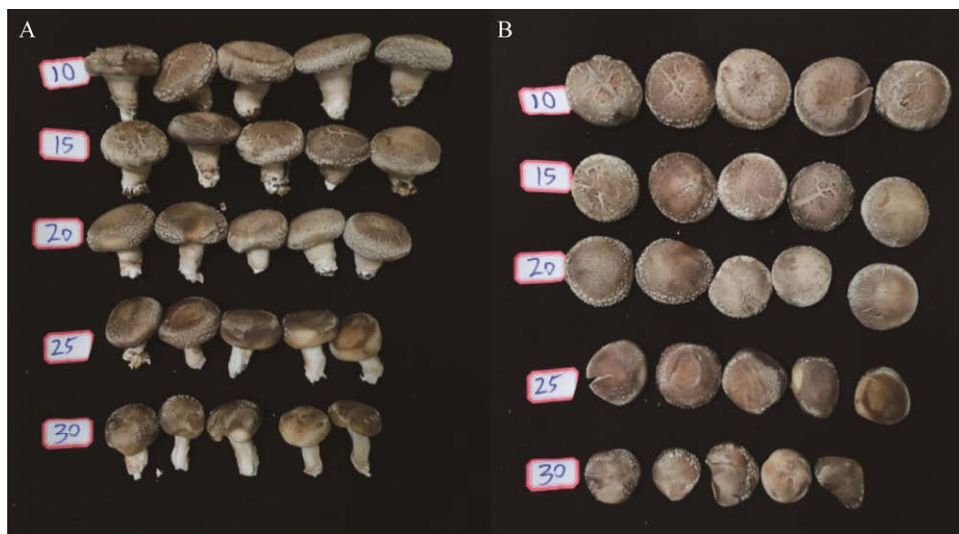


图 2 香菇子实体形态比较 A: 子实体形态. B: 菌盖形态

Figure 2 Comparison of fruiting body morphology of *Lentinula edodes*. A: Fruiting body morphology. B: Pileus morphology.

硬度最高,达到 25.51 N。保留 25–30 个菇蕾时,菌盖硬度显著低于其他处理组,在保留 30 个菇蕾时硬度达到最低,仅为 15.84 N。

由图 3B 可知,同一处理中,子实体菌柄硬度指标波动较大。菌柄的硬度在保留 15 个菇蕾时达到最大值,随后呈现下降的趋势。保留 25 个菇蕾的子实体菌柄硬度最低,但各组间菌柄硬

度无显著差异。

弹性反映子实体受到压力过后恢复形变的能力。由图 4A 和图 4B 可以看出,保留子实体的数目对弹性的影响不明显。菌盖部位的弹性指标均在 0.52–0.60 mm 之间;菌柄部位的弹性指标在 0.52–0.66 mm 之间。菌盖和菌柄在不同处理下的弹性指标无显著性差异。

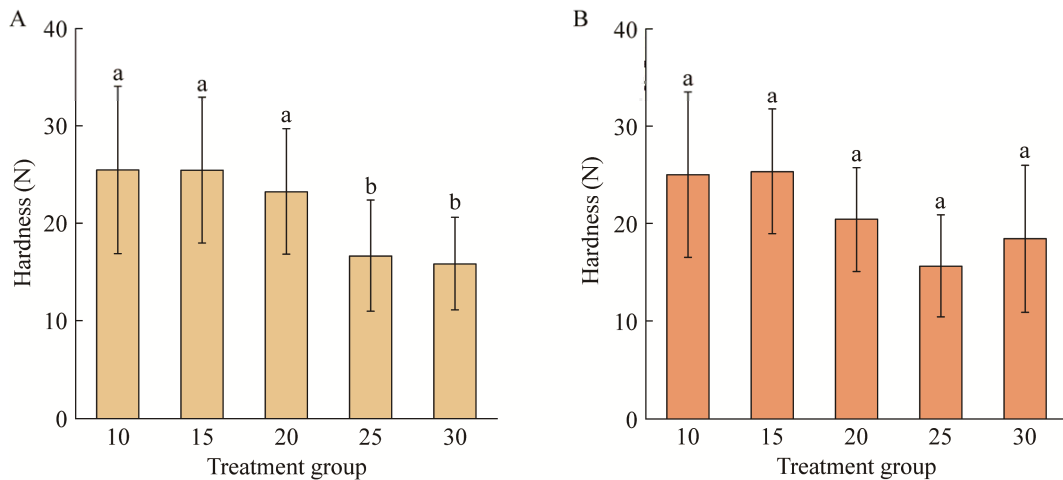


图 3 不同处理对香菇子实体硬度的影响 A: 菌盖. B: 菌柄. 不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ). 下同

Figure 3 Effect of different treatments on the hardness of *Lentinula edodes* fruiting body. A: Pileus. B: Stalk. Different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). The same below.

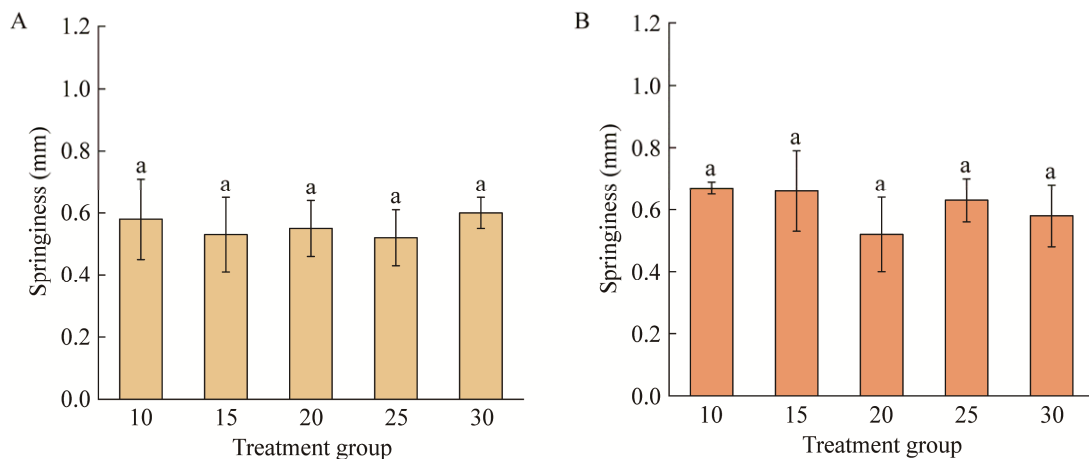


图 4 不同处理对香菇子实体弹性的影响 A: 菌盖. B: 菌柄

Figure 4 Effect of different treatments on the springiness of *Lentinula edodes* fruiting body. A: Pileus. B: Stalk.

回复性是指样品在次压缩过程中回弹的能力, 回复性数值越大代表口感越好。由图 5A 可以看出, 随着菇蕾数的增加, 菌盖的回复性呈现下降趋势, 保留 10 个菇蕾时, 菌盖的回复性最大; 保留 25 个菇蕾时菌盖回复性最小, 并与保留 10-20 个菇蕾的子实体菌盖呈现显著差异( $P<0.05$ )。

由图 5B 可以看出, 不同疏蕾处理对子实体菌柄部位的影响较小, 各处理组之间无显著性

差异, 菌柄回复性在保留 25 个菇蕾时达到最大值。

黏聚性表示香菇子实体抵抗受损能力并使其菌体内部紧密结合保持整体的完整性。由图 6A 和图 6B 可知, 保留子实体的数目对黏聚性的影响不明显, 保留 20 个菇蕾时菌盖的黏聚性最高; 保留 25 个菇蕾时, 菌柄的黏聚性最高。不同处理下香菇子实体的不同部位在黏聚性指标中无显著差异。

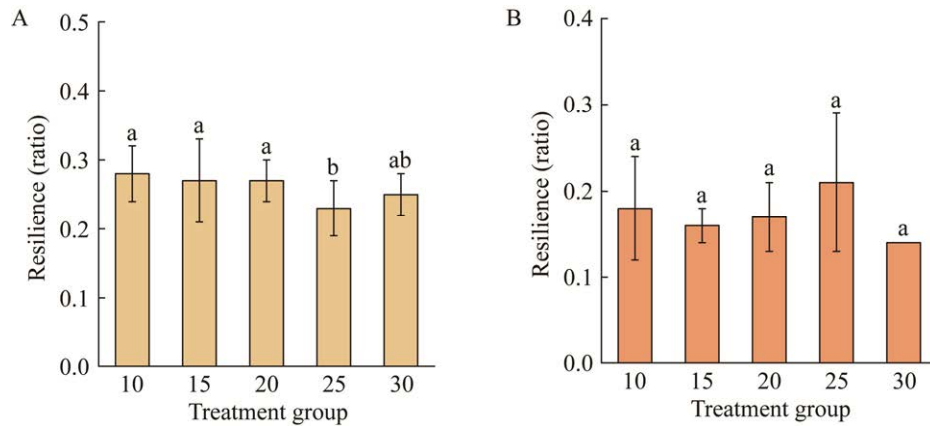


图 5 不同处理对香菇子实体回复性的影响 A: 菌盖. B: 菌柄

Figure 5 Effect of different treatments on the resilience of *Lentinula edodes* fruiting body. A: Pileus. B: Stalk.

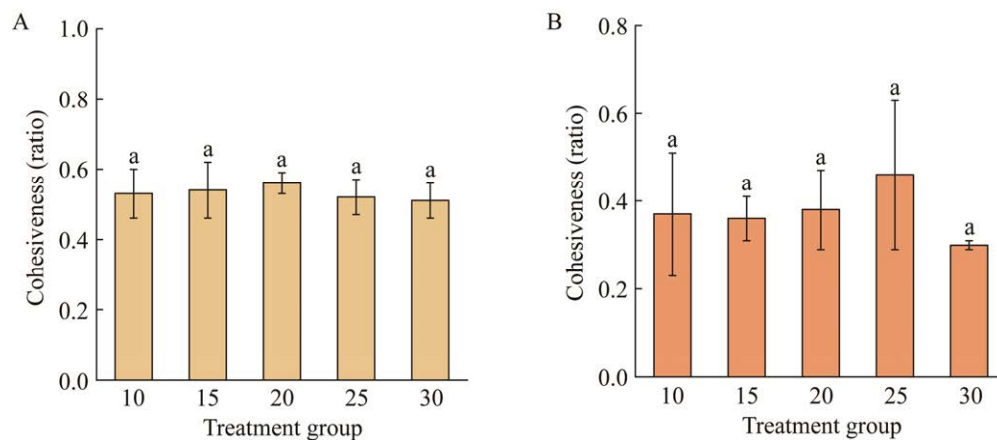


图 6 不同处理对香菇子实体黏聚性的影响 A: 菌盖. B: 菌柄

Figure 6 Effect of different treatments on the cohesiveness of *Lentinula edodes* fruiting body. A: Pileus. B: Stalk.

胶着性表示将样品破裂成吞咽时的稳定状态所需的能量。由图 7A 可知,随着保留子实体的数目增多,菌盖的胶着性呈现下降趋势,在保留 15 个菇蕾时,菌盖胶着性达到最大值,为 14.30 N。保留 25–30 个菇蕾时,菌盖的胶着性较低,并与保留 10–15 个菇蕾的处理呈现显著性差异( $P<0.05$ )。

由图 7B 可知,菌柄的胶着性随着菇蕾数的增加而降低,在保留 30 个菇蕾时达到最低值,

仅为 5.49 N,但各处理组之间,菌柄的胶着性无显著性差异。

咀嚼性表示将样品咀嚼成吞咽时的稳定状态所需的能量。由图 8A、8B 可知,咀嚼性与胶着性类似,随着保留子实体的数目增多,菌盖部位和菌柄部位的咀嚼性均随着菇蕾数目的增加而降低,同一处理之间的香菇子实体咀嚼性的波动较大,各组的咀嚼性指标无显著性差异。

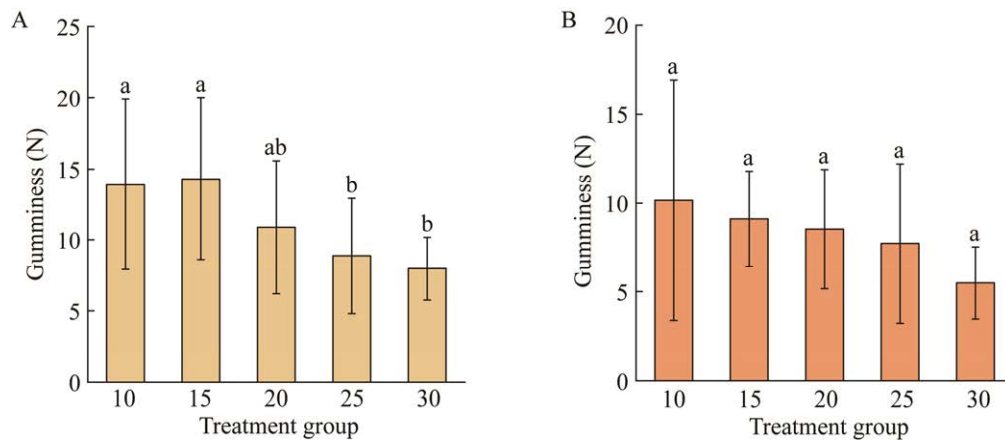


图 7 不同处理对香菇子实体胶着性的影响 A: 菌盖. B: 菌柄

Figure 7 Effect of different treatments on the gumminess of *Lentinula edodes* fruiting body. A: Pileus. B: Stalk.

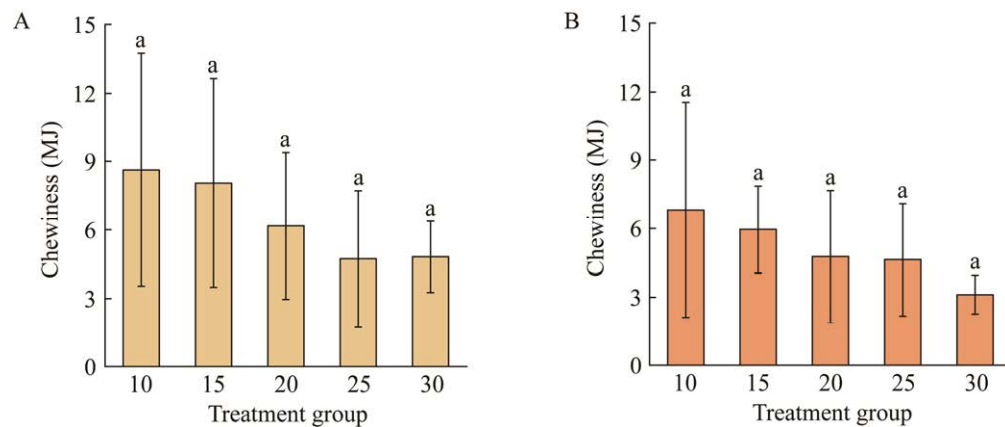


图 8 不同处理对香菇子实体咀嚼性的影响 A: 菌盖. B: 菌柄

Figure 8 Effect of different treatments on the chewiness of *Lentinula edodes* fruiting body. A: Pileus. B: Stalk.



在保留不同菇蕾数的处理中, 保留菇蕾数为 10 个时, 子实体各部位的硬度、回复性、胶着性、咀嚼性均达到最大值, 说明此时的香菇口感弹牙可口、韧性十足, 香菇的质地最好; 保留 15 个菇蕾时, 各项指标虽低于前者但无显著差异。经过不同疏蕾处理的菌柄部位在不同质构指标中无显著性差异, 说明人工疏蕾处理对菌柄的质地影响较小。人工疏蕾对菌盖的质地影响较大, 随着菇蕾数的增加, 硬度、回复性、胶着性、咀嚼性均出现下降趋势, 并且保留 10–20 个菇蕾与保留 25–30 个菇蕾出菇的子实体指标出现显著性差异。

综上所述, 菇蕾数与子实体菌盖的硬度、胶着性、咀嚼性呈负相关, 可能是由于生长环

境过于拥挤, 导致菌盖间相互挤压, 无法正常生长。相比较而言, 保留 10–20 个菇蕾时可以较好地维持香菇的质地与口感。

### 2.3 各处理子实体营养成分含量

蛋白质可以为人体提供能量, 用以满足日常活动。由图 9A 可知, 随着菇蕾数目的增多, 香菇子实体的粗蛋白含量开始下降, 在保留 25 个菇蕾时为最低值, 仅 132.05 mg/g。有可能是因为保留菇蕾数较少, 菌棒内的营养物质可以集中供应给得以保留的子实体, 促进子实体粗蛋白含量增长。

脂肪用以维持体温及供给体内各器官运动所需能量。由图 9B 可以看出, 不同疏蕾程度处理对香菇子实体粗脂肪的含量影响较小, 各处

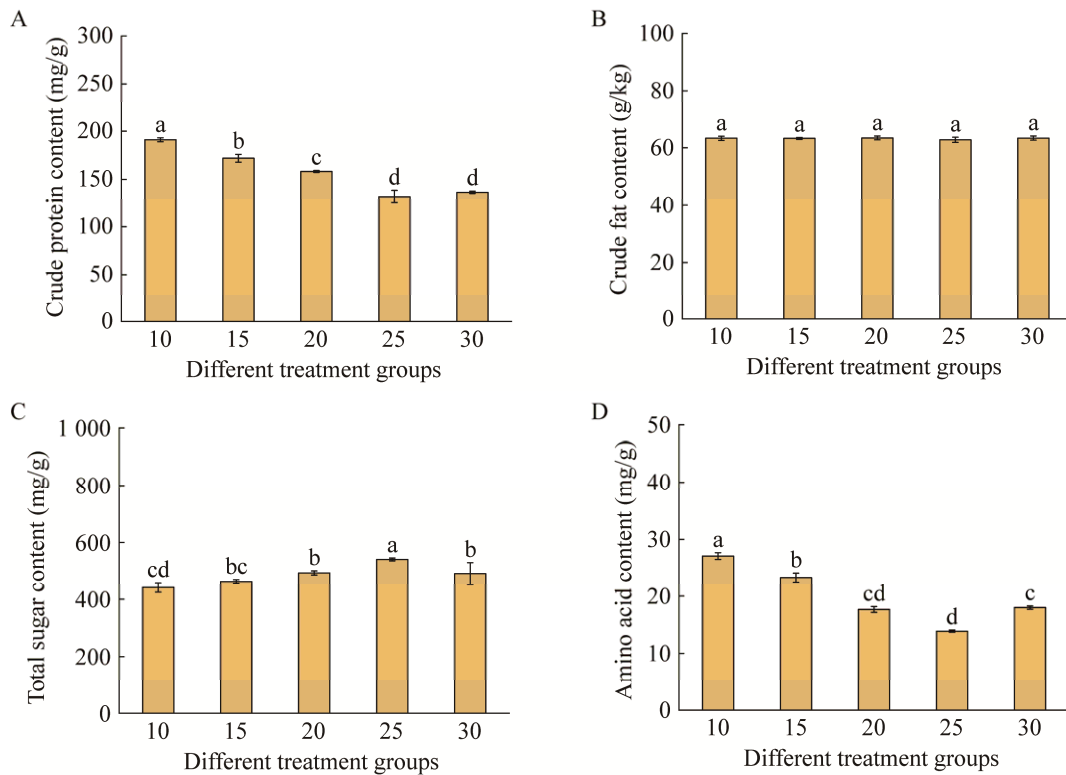


图 9 不同处理香菇子实体的营养成分 A: 粗蛋白含量. B: 粗脂肪含量. C: 总糖含量. D: 氨基酸含量

Figure 9 Nutritional composition of *Lentinula edodes* fruiting bodies in different treatments. A: Crude protein content. B: Crude fat content. C: Total sugar content. D: Amino acids content.

理粗脂肪含量均在 62.77–63.42 g/kg 之间。因此, 通过不同疏蕾处理的香菇对子实体粗脂肪含量影响较小。

食用菌总糖包括单糖和多糖, 适量摄入单糖可以补充能量, 而香菇多糖在抗肿瘤、抗病毒方面有重要作用。由图 9C 可知, 随着保留菇蕾数目的增加, 总糖含量也随着上升, 在保留 25 个菇蕾时达到最大值, 即 540.82 mg/g。说明同一时间同一菌棒出菇的数目会对子实体总糖含量造成影响。

氨基酸对人体提高免疫力、补充营养有重要作用。由图 9D 可知, 随着菇蕾数目的增加, 香菇子实体的氨基酸含量也在减少, 在保留 25 个菇蕾时含量达到最低, 为 13.83 mg/g。因此, 保留菇蕾数越少越有利于子实体氨基酸含量的积累。

### 3 讨论与结论

菇数对菇数品质与产量具有一定的相关性, 王路朋等<sup>[22]</sup>对杏鲍菇采用人工疏蕾的方式控制子实体数目, 发现保留 4 个子实体产量最高, 但子实体农艺性状较差。在白灵菇<sup>[23]</sup>的生产中也会保留 1–2 个菇蕾, 从而获得品质较好的子实体。定向出菇技术可以很好地解决菌棒四周发生菇蕾的现象, 但由于出菇区域的限制, 定向出菇技术在菇数与子实体产量、品质阈值调控方面仍不明确。本试验通过人工疏蕾的方式保留不同菇蕾数, 研究其对香菇定向出菇子实体品质、产量及基质的利用程度, 为香菇定向出菇技术的后续发展提供理论依据。通过对子实体的农艺性状以及产量的测定发现, 随着保留子实体数目的增加, 单棒产量也随之增加, 但是子实体品质却随之下降, 单菇重量、菌盖直径与厚度均呈现下降的趋势。根据参考文献<sup>[24]</sup>将香菇子实体分为 3 个品级, 将菌盖直

径 >6 cm 的定为一级菇, <6 cm 且 >4 cm 定为二级菇, 菌盖直径 <4 cm 的定为三级菇。本试验中保留 10–20 个菇蕾生成的子实体菌盖直径在 4.6–5.23 cm 之间, 均属二级菇。造成这一现象的原因可能与 212 本身的品种特性以及栽培环境有关。在浙江丽水, 二级菇的价格一般在 5–7 元/斤之间。保留 25–30 个菇蕾时, 菌盖直径在 3.71–4.05 cm 之间, 绝大多数子实体均属三级菇范围, 一般以 3 元/斤售出, 但由于此时的菌盖形状也更加不规则, 实际的价格可能会更低, 在 1–3 元/斤之间。因此, 就本试验来看, 保留 10–20 个菇蕾出菇的子实体有利于市场销售。

将质构仪用于香菇鲜品评估可以排除人为因素的干扰, 沈颖越等<sup>[17]</sup>的工作已经证明了质构仪在香菇质地评估方面替代感官评价的可行性。安晓雯等<sup>[25]</sup>通过对经不同温度处理过后的黑皮鸡枞进行质构评价, 发现相较于其他食用菌, 黑皮鸡枞在不同温度影响下可以维持较好的质地。姜宁等<sup>[14]</sup>发现在绿光和蓝光下生成的香菇子实体硬度大, 咀嚼性和胶着性也比较好, 而红光和黑暗条件下生成的香菇子实体质地差。本试验通过对人工疏蕾后的香菇子实体不同部位的硬度、弹性、回复性、黏聚性、胶着性、咀嚼性进行测定, 结果表明人工疏蕾对菌柄的质构影响较小, 随着菇蕾数目的增加, 香菇菌盖的硬度、胶着性、回复性、咀嚼性呈现下降趋势, 保留 10–20 个菇蕾数品质最好、质地最佳。需要指出的是, 由于质构仪在食用菌行业中的应用目前并不广泛且同一品种下各家对质构仪的使用参数也不统一, 导致无法对各研究香菇的质地进行具体的横向比较。因此, 对于香菇鲜品在质构仪的应用, 需要尽快建立一个统一的标准, 为后续香菇质地性状的评价提供基础。

香菇具有丰富的营养价值,子实体中包含的营养成分会受到品种和子实体生长环境的影响<sup>[26-27]</sup>。本文对经过不同疏蕾程度出菇的香菇子实体进行粗蛋白、粗脂肪、总糖、氨基酸含量的测定,发现粗蛋白含量会随着菇蕾数的增多而降低,而蛋白质在人体中作用广泛,可以维持血液渗透压、维持体内细胞的酸碱平衡并可以分解产生能量供人体使用。当香菇保留10-15个菇蕾时,粗蛋白含量较高。对子实体粗脂肪含量进行测定发现,不同处理对粗脂肪含量的影响不大,目前低脂肪产品越来越受到消费者的青睐,对于如何减少香菇中脂肪的含量而又不影响子实体性状的研究需要进一步探究。通过对不同处理香菇的总糖含量进行测定发现,随着菇蕾数目的增多,香菇子实体总糖的含量也在增加,当保留25个菇蕾时总糖含量最大。总糖在人体内的代谢过程中生成二氧化碳和水,同时释放出能量以维持生命的延续,并为体内进行的各种生物合成和转变提供必需的能量。随着时代的快速发展,人们的生活水平不断提高,“0糖”食品越来越受到青年消费者的青睐,因此可以根据自身需求选择不同疏蕾程度的香菇,追求低糖就选择保留10-15个菇蕾数目的子实体,无明确需求的可以选择保留20个疏蕾数目的子实体,此时总糖含量仅次于保留25个菇蕾处理但子实体性状较好。氨基酸不仅决定着食物的风味,还是人体生命活动中重要的物质,对蛋白质的合成、酶、激素的合成起重要作用。对经不同处理出菇的香菇子实体进行氨基酸含量测定,发现氨基酸含量与菇蕾数呈负相关性,在保留25个菇蕾时含量达到最低值。因此,选择保留10-15个菇蕾处理的香菇最有益于人体提高免疫力。

综上所述,在香菇定向出菇技术的疏蕾环节,保留子实体数目为15-20个时可以获得品

质较高、质地较好的香菇子实体。保留10个子实体时,虽然子实体品质最佳,但菌棒的生物学效率仅为31.38%,而且会增加一定的工作量。因此,保留15-20个菇蕾既符合工厂化需求,还可以满足人体营养成分需要。另外,定向出菇的人工疏蕾程度可能会随着品种的变化有一些差异,需要进一步的研究。

## 致谢

感谢浙江越骆生物科技有限公司以及浙江省丽水市农业科学院对本试验的帮助。

## REFERENCES

- [1] 李玉. 中国大型菌物资源图鉴[M]. 郑州: 中原农民出版社, 2015.  
LI Y. Atlas of Chinese Macrofungus Resources[M]. Zhengzhou: Chinese Farmer Press, 2015 (in Chinese).
- [2] 中国食用菌协会. 2020年度全国食用菌统计调查结果分析[J]. 中国食用菌, 2022, 41(1): 85-91.  
China Edible Fungi Association. Analysis on the results of national edible fungi statistical survey in 2020[J]. Edible Fungi of China, 2022, 41(1): 85-91 (in Chinese).
- [3] 王菲. 香菇秸秆栽培配方改良及优良菌株筛选[D]. 长春: 吉林农业大学硕士学位论文, 2017.  
WANG F. Improvement of cultivation formula of *Lentinus edodes* straw and screening of excellent strains[D]. Changchun: Master's Thesis of Jilin Agricultural University, 2017 (in Chinese).
- [4] CHIHARA G, MAEDA Y, HAMURO J, SASAKI T, FUKUOKA F. Inhibition of mouse sarcoma 180 by polysaccharides from *Lentinus edodes* (Berk.) Sing.[J]. Nature, 1969, 222(5194): 687-688.
- [5] REN ZZ, LIU WB, SONG XL, QI YR, ZHANG C, GAO Z, ZHANG JJ, JIA L. Antioxidant and anti-inflammation of enzymatic-hydrolysis residue polysaccharides by *Lentinula edodes*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 120: 811-822.
- [6] 黄年来. 中国香菇栽培学[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1994.  
HUANG NL. Cultivation of *Lentinus edodes* in China[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, 1994 (in

- Chinese).
- [7] 黄毅, 郑永德. 香菇栽培的特点及栽培模式发展趋势[J]. 食药菌, 2020, 28(2): 88-92.  
HUANG Y, ZHENG YD. Characteristics of *Lentinus edodes* cultivation and development trend of cultivation mode[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2020, 28(2): 88-92 (in Chinese).
- [8] 黄毅, 郑永德. 香菇工厂化栽培任重道远(二)[J]. 食药菌, 2019, 27(2): 82-86.  
HUANG Y, ZHENG YD. Status and prospect of industrialized cultivation of *Lentinula edodes* (II)[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2019, 27(2): 82-86 (in Chinese).
- [9] 盛进之. 从比较成本看香菇工厂化生产难行[J]. 食药菌, 2016, 24(1): 7-11.  
SHENG JZ. *Lentinula edodes* factory production is difficult from a comparative cost point of view[J]. Edible and Medical Mushrooms, 2016, 24(1): 7-11 (in Chinese).
- [10] 陈俏彪, 毛可红, 陶祥生. 香菇定向出菇技术研究初报[J]. 中国食用菌, 2007, 26(6): 26-27.  
CHEN QB, MAO KH, TAO XS. Preliminary report on directional fruiting technology of *Lentinus edodes*[J]. Edible Fungi of China, 2007, 26(6): 26-27 (in Chinese).
- [11] 毛可红, 陈俏彪. 用于定向出菇的单面透光食用菌栽培袋: CN204409032U[P]. 2015-06-24.  
MAO KH, CHEN QB. Single-face light transmitting edible fungus cultivation bag for directional fruiting: CN204409032U[P]. 2015-06-24 (in Chinese).
- [12] 蒋俊, 郑巧平, 陈青, 吴春玲, 曾凡清, 钟方翼. 定向出菇技术对香菇产量和品质的影响[J]. 中国食用菌, 2020, 39(2): 22-24.  
JIANG J, ZHENG QP, CHEN Q, WU CL, ZENG FQ, ZHONG FY. Effect of orientation fruiting technology on yields and quality of *Lentinula edodes*[J]. Edible Fungi of China, 2020, 39(2): 22-24 (in Chinese).
- [13] 吕明亮, 李伶俐, 薛振文, 蒋俊, 曾凡清, 应国华. 香菇‘丽香2号’的选育报告[J]. 菌物学报, 2020, 39(6): 1193-1195.  
LÜ ML, LI LL, XUE ZW, JIANG J, ZENG FQ, YING GH. Breeding of *Lentinula edodes* ‘Lixiang-2’[J]. Mycosystema, 2020, 39(6): 1193-1195 (in Chinese).
- [14] 姜宁, 余昌霞, 董浩然, 周峰, 李正鹏, 李玉. 不同光照对香菇子实体农艺性状与质构品质的影响[J]. 菌物学报, 2021, 40(12): 3169-3181.  
JIANG N, YU CX, DONG HR, ZHOU F, LI ZP, LI Y. Effects of illumination of different lights on agronomic traits and texture quality of fruiting bodies of *Lentinula edodes*[J]. Mycosystema, 2021, 40(12): 3169-3181 (in Chinese).
- [15] 易琳琳, 应铁进. 食用菌采后品质劣变相关的生理生化变化[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 434-436, 441.  
YI LL, YING TJ. Physiological and biochemical variations in postharvest mushrooms related to their quality deterioration[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(24): 434-436, 441 (in Chinese).
- [16] 李玉. 食用菌在构建粮食安全大格局中的作用: 践行“大食物观”探讨食用菌产业发展途径主题报告[J]. 菌物研究, 2022, 20(3): 157-159.  
LI Y. The role of edible fungi in building the overall situation of food security—theme report on practicing “big food concept” and exploring the development path of edible fungi industry[J]. Journal of Fungal Research, 2022, 20(3): 157-159 (in Chinese).
- [17] 沈颖越, 宋婷婷, 蔡为明, 范丽军. 基于质构仪质地多面分析法对香菇质地评价[J]. 菌物学报, 2021, 40(5): 1180-1189.  
SHEN YY, SONG TT, CAI WM, FAN LJ. Evaluation on fruiting body texture of *Lentinula edodes* based on texture profile analysis[J]. Mycosystema, 2021, 40(5): 1180-1189 (in Chinese).
- [18] 彭焱辉, 王志强, 徐阳纯, 许泽群, 吴凌涛. 白桦茸中总糖含量测定方法的建立[J]. 特产研究, 2021, 43(4): 53-55, 59.  
PENG YH, WANG ZQ, XU YC, XU ZQ, WU LT. Establish a determination method for total sugar in chaga[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2021, 43(4): 53-55, 59 (in Chinese).
- [19] 刘苗苗, 徐丽丽, 杨秀青. 两种长根菇的氨基酸含量对比分析与营养价值评价[J]. 中国检验检疫, 2022, 30(3): 20-22.  
LIU MM, XU LL, YANG XQ. Comparative analysis of amino acid content and evaluation of nutritional value of two kinds of rhizomatous mushrooms[J]. China Inspection Body & Laboratory, 2022, 30(3): 20-22 (in Chinese).
- [20] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National food safety standard: determination of fat in foods: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [21] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理

- 理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National food safety standard: determination of protein in foods: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [22] 王路朋, 刘凌云, 姚澜, 范冬雨, 李长田, 李玉. 人工疏蕾对杏鲍菇产量及品质的影响[J]. 微生物学通报, 2022, 49(10): 4186-4193.
- WANG LP, LIU LY, YAO L, FAN DY, LI CT, LI Y. Effect of artificial bud thinning on yield and quality of *Pleurotus eryngii*[J]. Microbiology China, 2022, 49(10): 4186-4193 (in Chinese).
- [23] 靳荣线, 李峰, 马玮超, 赵建选, 刘翼成. 白灵菇工厂化袋栽少疏蕾技术[J]. 北方园艺, 2021(24): 171-173.
- JIN RX, LI F, MA WC, ZHAO JX, LIU YC. Techniques of industrial bag culture of *Pleurotus nebrodensis* with less bud thinning[J]. Northern Horticulture, 2021(24): 171-173 (in Chinese).
- [24] 中华全国供销合作社. 中国标准书号: GB/T 12906—1991[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- Bar code for China standard book number(the part of ISBN): GB/T 12906—1991[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015 (in Chinese).
- [25] 安晓雯, 王彦立, 杨子怡, 吴香菊, 敖常伟. 黑皮鸡枞菌营养与质构特性分析及其抗氧化活性评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(5): 236-242, 249.
- AN XW, WANG YL, YANG ZY, WU XJ, AO CW. Analysis of nutritional and textural properties and antioxidant activity evaluation of *Termitornyces albuminosus*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(5): 236-242, 249 (in Chinese).
- [26] 李巧珍, 张美彦, 刘建雨, 尚晓冬, 李玉, 周峰, 谭琦, 宋春艳. 香菇杂交选育新菌株的氨基酸特征及蛋白质营养价值评价[J]. 上海农业学报, 2021, 37(4): 29-35.
- LI QZ, ZHANG MY, LIU JY, SHANG XD, LI Y, ZHOU F, TAN Q, SONG CY. Evaluation of amino acid characteristics and protein nutritional value of new hybrid progenies and its parents of *Lentinula edodes*[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2021, 37(4): 29-35 (in Chinese).
- [27] 王朦. 竹屑添加对香菇生育的影响及其生产应用研究[D]. 杭州: 浙江农林大学硕士学位论文, 2019.
- WANG M. Study on the effect of adding bamboo dust on the growth of *Lentinula edodes*[D]. Hangzhou: Master's Thesis of Zhejiang A&F University, 2019 (in Chinese).