

柑橘皮渣发酵蛋白质饲料(SCP)工艺优化及光照对发酵饲料的影响

刘智萍¹, 苟凯¹, 周月明^{1,2*}, 陈猷鹏^{1,2}, 郭劲松^{1,2}, 程锦¹

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714)

摘要 [目的]探求柑橘皮渣的资源化利用方式。[方法]以柑橘废渣为主料, 麸皮为辅料, 通过固态发酵技术生产单细胞蛋白饲料, 从热带假丝酵母(*Candida tropicalis*)、康宁木霉(*Trichoderma konigii*)、米曲霉(*Aspergillus oryzae*)、球拟圆酵母(*Torulopsis globosa*) 4 株菌中, 优选出效果最佳的菌株, 并优化菌株最佳混合比例。[结果]确定 *T. konigii*: *C. tropicalis*: *A. oryzae* 最优比例为 2:2:1, 发酵时间 84 h, 温度 33 °C, 含水率 70 %, 菌液接种量 0.4 mL/g, 发酵后粗蛋白含量达到 35.03 %, 粗脂肪含量达到 4.92 %, 同时粗纤维含量为 12.08 %。另外, 通过光照强度对发酵饲料的影响试验可知, 光强在 1 000 ~ 2 500 lx 时, 可以促进微生物生产蛋白质和脂肪, 当光强为 10 000 lx 时, 微生物生产蛋白质和脂肪的能力受到抑制; 另外, 光照条件不利于粗纤维的降解。光照条件对非光合微生物发酵饲料既有促进作用又有抑制作用。[结论]该研究可为柑橘皮渣废弃物的资源化利用提供重要的理论指导。

关键词 柑橘皮渣; SCP; 条件优化; 光照强度; 非光合微生物

中图分类号 S816.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)04-0001-04

Process Optimization of SCP Fermented from Citrus Wastes and Influence of Light Intensity on SCP

LIU Zhi-ping¹, GOU Kai¹, ZHOU Yue-ming^{1,2} et al (1. Institute of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045; 2. Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714)

Abstract [Objective] Efficient utilization way of citrus wastes was explored. [Method] Taking citrus wastes as raw materials, combined with agricultural by-product wheat bran as auxiliary material to produce single cell protein (SCP) feed. *Candida tropicalis*, *Trichoderma konigii*, *Aspergillus oryzae*, *Torulopsis globosa* were used as fermentation strains, optimum strain and mixing ratio were studied. [Result] The best strains mixed proportion for fermentation was *C. tropicalis*: *T. konigii*: *A. oryzae* = 2:2:1. One-variable method was used to optimize fermentation conditions. The experiment conditions were as follows: fermentation time 84 h; fermentation temperature 33 °C; moisture content 70 %; microbial added concentration 0.4 mL/g. The crude protein, crude fat and crude fiber content were 35.03%, 4.92% and 12.08% respectively. In addition, the influence of light intensity on fermentation feed indicated that when light intensity was 1 000 - 2 500 lx, the production capacity of protein and fat by microbial were promoted; as light intensity was 10 000 lx, the production capacity of protein and fat by microbial were restrained. In addition, illumination had both acceleration and inhibition on non-photosynthetic microorganism for fermentation of feed. [Conclusion] The research can provide an important theoretical guidance of citrus waste recycling utilization for agriculture.

Key words Citrus wastes; SCP; Optimization; Light intensity; Non-photosynthetic microorganism

我国是柑橘的重要原产地之一, 据统计, 2009 年我国柑橘种植面积 203.1 万 hm^2 , 产量已达 2 520 万 t, 面积和产量均位居世界第一^[1-2]。柑橘除直接食用外, 大部分用于果汁加工, 随着柑橘原汁产量的增加, 柑橘加工的副产品柑橘皮渣的量随之增加, 据统计我国柑橘每年约有 100 万 t 用于果汁加工, 产生 50 万 t 柑橘皮渣, 柑橘渣含水量高, 容易变质腐烂, 长期保存和长途运输比较困难, 大量的柑橘皮渣严重影响人们的生产、生活及健康^[3-4]。麸皮为小麦最外层的表皮, 是面粉生产的主要副产物。其对氨基苯甲酸含量是植物中最高的, 有恢复皮毛颜色的作用, 常用作动物饲料^[5]。

单细胞蛋白 (single cell protein, SCP) 是通过培养大量细菌、酵母、其他真菌或者藻类, 从中提取出的蛋白质或生物菌体, 作为一种人和动物的蛋白来源添加到人类食品和动物饲料中^[6]。单细胞蛋白所含的营养物质丰富, 粗蛋白含量一般在 30% ~ 45%, 此外还含有未知生长因子^[7]。

国内外对微生物发酵生产蛋白饲料已进行了初步研究^[8]。Vaccarino 等^[9]研究绿色木霉 (*Trichoderma viride*) 和白地霉 (*Geotrichum candidum*) 发酵柑橘皮生产单细胞饲料的最佳条件, 在温度 28 °C、pH 5.5、发酵时间 60 h 条件下, 发酵产

物中粗蛋白含量提升到 20%。Nwabueze 等^[10]发现柑橘皮渣可以促进酿酒酵母的生长, 在 pH 5.5、温度 36 °C、时间 12 h 条件下, 得到粗蛋白含量为 57% 的单细胞蛋白产品, 粗蛋白含量大大提高。周炼等^[11]发现当产阮假丝酵母 (*Candida utilis*)、黑曲霉 (*Aspergillus niger*)、康宁木霉 (*Trichoderma konigii*) 混合比例为 3:1:2 时, 粗蛋白含量是纯培养的 3 ~ 4 倍。殷钟意等^[12]研究表明单一菌种发酵不如混合菌种发酵的效果, 当发酵菌种为 *A. niger*、米曲霉 (*Aspergillus oryzae*) 和拟囊复膜孢酵母 (*Saccharomycopsis fibuligera*) 时, 粗蛋白含量可从 10.00% 提高到 34.40%。李亦翎等^[13]发现通过添加酵母可以将粗蛋白含量从 8.17% 提高到 28.06%, 粗蛋白提升明显。王帅^[3]发现柑橘皮渣发酵饲料可以促进仔猪肠绒毛的生长发育, 以及营养物质的消化和吸收, 从而提高营养物质的利用率。通过以上学者的研究, 可以看出多菌种混合发酵柑橘皮渣具有明显优势, 可以显著提高产品粗蛋白的含量^[14]。

据报道, 真菌对光的反应不一, 光照既可刺激真菌发育, 也可抑制真菌发育^[15-16], 并受其他环境因子或营养因子的影响^[17-18], 光照显著影响氨基酸和糖类的质量和含量。在 *P. blakesleeanus* 中, 光照降低鸟氨酸脱羧酶活性^[19]。在 *B. emersonii* 中, 光激活多糖合成和降低葡萄糖-6-磷酸脱氢酶活性^[21]。在 *T. viride* 中, 谷氨酸脱羧酶被光诱导, 该酶催化 L-谷氨酸 α -脱羧变为 γ -氨基酪酸^[19,21]。在 *T. harzianum* 中, 经光照后在分生孢子发生阶段磷酸甘油酸激酶和甘

基金项目 国家自然科学基金项目 (51278509); 国家科技支撑计划 (2015BAI04B05)。

作者简介 刘智萍 (1973-), 女, 重庆人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事废水处理理论与技术研究。* 通讯作者, 研究实习员, 从事环境微生物技术的研究。

收稿日期 2017-04-14

油醛-3-磷酸脱氢酶被下调^[22]。Envoy 不仅对光强烈地响应,而且显著影响纤维素酶基因的表达^[23]。总之,真菌所需光强一般为 10~1 500 lx,最佳光强因真菌种类而异^[24-26]。国内尚少见学者研究光强对微生物发酵柑橘皮渣生产蛋白质饲料的影响。

以柑橘废渣为主料,麸皮为辅料,通过固体发酵技术生产单细胞蛋白饲料,首先,对发酵混菌的最佳比例进行优化,在此基础上通过单因子变量法逐步优化固态发酵工艺,得到高品质蛋白质饲料。在最佳发酵条件下,考察光照强度对发酵饲料的影响,探索提高饲料品质的新方法,对提高废弃物资源化利用效率,解决我国蛋白饲料短缺问题,以及提高蛋白质饲料品质都具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 原料与菌种 柑橘皮渣:榨汁剩余的皮渣,采自重庆长寿柑橘加工园区,作为发酵的主要原料。麸皮:重庆长寿农业园区面粉厂加工后剩余的麸皮,作为发酵的辅助原料。菌种:康宁木霉(*T. konigii*)、米曲霉(*A. oryzae*)、热带假丝酵母(*C. tropicalis*)以及球拟圆酵母(*T. globosa*)。*T. konigii* 主要功能是降解粗纤维,*A. oryzae* 主要功能是降解果胶,菌株功能由实验室其他人员经过试验得出。

1.2 培养基 果胶固体培养基^[25],马铃薯葡萄糖琼脂固体培养基^[26],纤维素固体培养基^[26],酵母膏蛋白胨固体培养基^[27]。

1.3 研究方法

1.3.1 成分测定方法。粗脂肪、粗蛋白、粗纤维、灰分的测定采用国家标准 GB/T 5915-2008 的方法^[28]。果胶含量采用咔唑比色法^[29]。有机碳(TOC)、总氮(TN)、总磷(TP)、氢(H)、硫(S)、钾(K)采用元素分析仪测定。

1.3.2 发酵方法。

(1)菌种复苏。挑取菌体,用划线法接种在对应固体培养基上,置于培养箱中,在 30 ℃下培养 48 h,至平板上出现明显菌丝。

(2)种子液制备。挑取固体培养基上生长良好的菌落接种到对应液体培养基中,放置于温度 30 ℃、转速 160 r/min 的摇床中培养 24 h。

(3)固态发酵。把种子液按比例接种到发酵基质中,调节培养基含水率,搅拌均匀后置于培养箱中按照所需温度及时间发酵,产物于 55 ℃烘干,备用。

1.4 发酵条件优化

1.4.1 初始发酵条件。柑橘皮渣发酵蛋白质饲料的初始条件:自然 pH 条件下,温度 30 ℃,菌液接种量 0.5 mL/g,柑橘皮渣质量比例 16%,麸皮质量比例 4%,含水率质量 80%,时间 3 d。发酵结束后,发酵产物在 55 ℃下烘干至恒重,然后对发酵产物进行成分分析。

1.4.2 发酵条件优化。采用单因子变量法逐步优化发酵试验条件。发酵时间:48、60、72、84、96 h;发酵温度:27、30、33、36、39、42 ℃;培养基含水率:50%、60%、70%、80%、90%;菌液接种量:0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL/g;光照强度:

1 000、2 500、10 000 lx。

2 结果与分析

2.1 柑橘皮渣主要成分分析 对柑橘皮渣主要成分的含量进行测定,结果表明:除含水率为 4.84% 外,其他成分以干物质质量计,其中粗蛋白含量仅为 11.86%,含量较低;粗纤维、果胶、粗脂肪分别为 27.40%、9.47%、3.81%;TP、H、S、K、TOC、TN 的含量分别为 0.18%、6.74%、0.40%、0.45%、39.59%、0.80%。

2.2 最佳菌种筛选与组合

2.2.1 单菌发酵结果。设置空白组和试验组,空白组用无菌水代替菌液按照 0.5 mL/g 接种到发酵基质中,试验组分别接种 0.5 mL/g 的 *T. globosa*、*A. oryzae*、*T. konigii*、*C. tropicalis* 菌液到发酵基质中,在初始发酵条件下,在绝干基础上测定粗蛋白含量,结果表明空白组粗蛋白含量为 14.63%,4 株菌发酵后粗蛋白含量都有所上升,但是 *T. globosa* 发酵后粗蛋白含量仅提高了 2.19 个百分点,其他 3 株菌发酵后粗蛋白含量都提高了 4.67 个百分点以上,其中 *A. oryzae*、*T. konigii* 菌液处理的粗蛋白含量分别为 19.90%、19.30%;*C. tropicalis* 发酵后粗蛋白含量最高,达到了 25.50%。

2.2.2 多菌种发酵结果。保持上述试验条件不变的情况下,接种液总量不变,不同菌种按等比例接种(例如:组 A 中 *T. globosa* 与 *T. konigii* 按照 0.25 mL/g 分别接种到发酵基质中),发酵结果如表 1 所示。

表 1 多菌种发酵后粗蛋白含量

Table 1 Crude protein content after fermentation by mixed stains

| 分组 Group | 菌种组合 Strain combination | 粗蛋白含量 Crude protein content // % |
|-------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| A | <i>T. globosa</i> / <i>T. konigii</i> | 23.50 |
| B | <i>T. globosa</i> / <i>C. tropicalis</i> | 25.60 |
| C | <i>A. oryzae</i> / <i>T. konigii</i> | 26.10 |
| D | <i>A. oryzae</i> / <i>C. tropicalis</i> | 28.35 |
| E | <i>T. konigii</i> / <i>C. tropicalis</i> / <i>A. oryzae</i> | 29.30 |
| F | <i>T. konigii</i> / <i>T. globosa</i> / <i>A. oryzae</i> | 27.50 |

注:粗蛋白含量在绝干基础上测得

Note:Crude protein content was determined based on absolute dry

由表 1 可以看出,6 种组合发酵产品粗蛋白含量较单菌发酵都有明显提高,其中 E 组发酵效果最好,粗蛋白含量提高了 14.67 个百分点,说明 *T. konigii*、*C. tropicalis* 和 *A. oryzae* 具有较好的兼容性,3 株菌间的协同作用使粗蛋白的转化率大大提升,且多菌株组合具有更好的生物稳定性^[30]。因此,后续试验选取 *T. konigii*、*C. tropicalis*、*A. oryzae* 3 株菌的组合作为发酵混菌。

2.2.3 发酵混菌比例优化。选用 *T. konigii*、*C. tropicalis*、*A. oryzae* 3 株菌分别按照 1:1:1、2:2:1、1:2:2、2:1:2 比例混合,菌液接种总量为 0.5 mg/L,其他条件不变,结果如表 2 所示。

由表 2 可以看出,第 2 组发酵产生的粗蛋白含量最高为 32.89%,通过对比可以发现 *T. konigii* 和 *A. oryzae* 比例较高的时候,发酵产物粗蛋白含量较低,这主要是因为 *A. oryzae*

主要作用是分解果胶^[31], *T. konigii* 主要作用是分解纤维素^[32], 这 2 株菌生产蛋白的能力较差, 当混菌中这 2 株菌的含量较高时, 粗蛋白的生产能力较差, 而果胶和纤维素的分解能力较强; 当 *C. tropicalis* 比例较高时, 发酵产物粗蛋白含量较高, 这主要是因为 *C. tropicalis* 主要作用是生产蛋白质。另外, 第 3 组发酵后粗蛋白含量比第 2 组低 2.75 百分点, 推测可能是因为原料中果胶含量为 9.47%, 而纤维素含量较高为 27.40% (表 2)。当 *T. konigii* 含量较高时, 混菌能将更多的纤维素大分子分解成小分子, 为生产蛋白质提供更多容易被利用的小分子物质, 所以第 2 组优于第 3 组, 主要是因为原料中粗纤维含量高于果胶含量。

表 2 发酵混菌比例优化

Table 2 Optimization of mixed stains ratio

| 分组 Group | <i>T. konigii</i> : <i>C. tropicalis</i> : <i>A. oryzae</i> | 粗蛋白含量 Crude protein content // % |
|-------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1 | 1:1:1 | 29.30 |
| 2 | 2:2:1 | 32.89 |
| 3 | 1:2:2 | 30.14 |
| 4 | 2:1:2 | 27.96 |

注:粗蛋白含量在绝干基础上测得

Note:Crude protein content was determined based on absolute dry

2.3 最佳发酵条件的筛选 采用单因子变量法逐步优化发酵条件。

2.3.1 时间对发酵饲料品质的影响。当发酵条件为 30 ℃、自然 pH、含水率 80%、菌液接种量 0.5 mL/g, *T. konigii*:*C. tropicalis*:*A. oryzae* = 2:2:1 时, 结果如图 1 所示。在 48 ~ 84 h 阶段, 粗蛋白、粗脂肪含量增长显著, 同时粗纤维含量急剧下降, 在此阶段微生物充分利用基质中的营养物质, 快速合成蛋白质。84 h 以后, 粗蛋白、粗脂肪含量趋于稳定, 主要是因为营养物质含量与微生物浓度达到平衡, 微生物生长进入稳定期。因此, 后续试验选取 84 h 为最佳发酵时间。

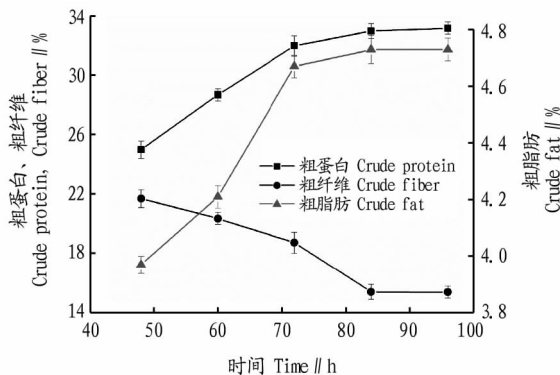


图 1 发酵时间对饲料成分的影响

Fig. 1 Impact of fermentation time on feed ingredients

2.3.2 环境温度对发酵饲料品质的影响。从图 2 可以看出, 当温度在 30 ~ 42 ℃ 时, 粗纤维含量都低于 15.41%, 该温度范围适合粗纤维的降解。而粗蛋白、粗脂肪含量在 33 ℃ 最高, 推测原因是 33 ℃ 酶的活性较高, 促进了粗蛋白和粗脂肪的生产。因此, 后续试验选取 33 ℃ 作为最佳发酵环境温度。

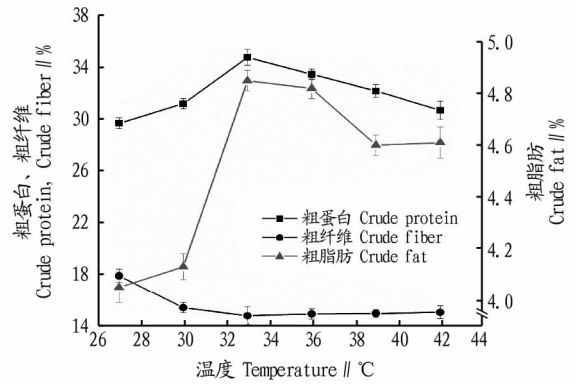


图 2 温度对饲料成分的影响

Fig. 2 Impact of fermentation temperature on feed ingredients

2.3.3 培养基初始含水率对发酵饲料品质的影响。由图 3 可见, 当含水率为 70% 时, 发酵产品粗蛋白、粗脂肪含量最高, 粗纤维含量最低, 主要是因为含水率为 70% 时, 原料的松散度较好, 适宜的孔隙有利于物质和氧气传递, 当培养基含水率低于 70% 时, 原料膨胀度降低, 影响物质的传递, 且水分含量不足以支持微生物生长。同时, 过高的含水量导致培养基呈浆状混合物, 孔隙度降低, 氧气传递速率降低, 微生物的代谢受到抑制, 所以该研究采用 70% 为最佳含水率。

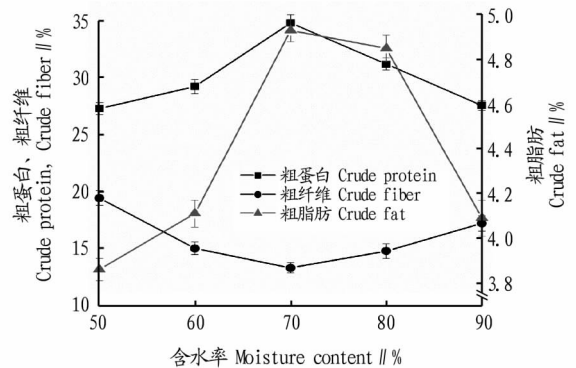


图 3 含水率对饲料成分的影响

Fig. 3 Impact of moisture content on feed ingredients

2.3.4 菌液投加量对发酵饲料品质的影响。从图 4 可以看出, 菌液接种量在 0.1 ~ 0.4 mL/g, 随着菌液投加量增加, 粗蛋白、粗脂肪含量随之增大, 粗纤维含量随之降低, 微生物与基质逐步达到平衡; 接种量超过 0.4 mL/g 后, 粗蛋白和粗脂肪含量下降, 同时粗纤维含量增大, 其原因可能是微生物浓度过大, 原料中的营养物质浓度有限, 不能满足所有微生物的生长需求, 微生物生长和降解粗纤维能力受限, 所以选择 0.4 mL/g 作为最佳接种量。

研究得到的最佳发酵条件为: 菌株投加比例 *T. konigii*:*C. tropicalis*:*A. oryzae* = 2:2:1, 发酵时间 84 h, 温度 33 ℃, 含水率 70%, 菌液接种量 0.4 mL/g, 在此条件下, 微生物生产蛋白质和脂肪以及降解粗纤维的能力最强, 发酵后饲料中粗蛋白含量达到 35.03%, 粗脂肪含量达到 4.92%, 同时粗纤维含量低至 12.08%。

2.4 光照对发酵饲料品质的影响 在不同光照强度下, 研究粗蛋白、粗纤维、粗脂肪含量的变化特征, 其他发酵条件均

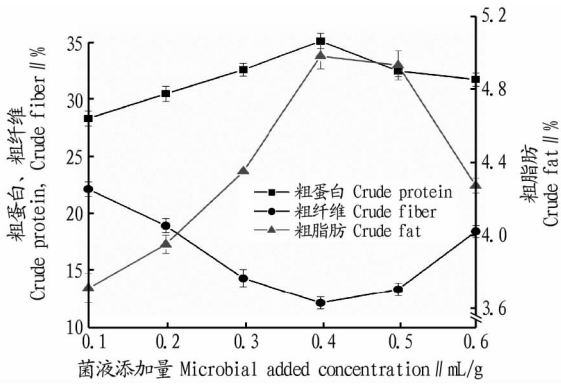


图4 菌液投加量对饲料成分的影响

Fig. 4 Impact of microbial added concentration on feed ingredients

采用最佳条件。

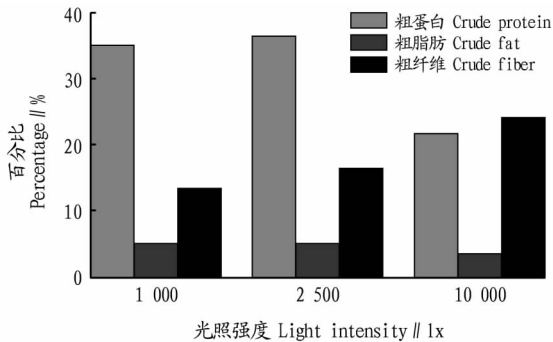


图5 光照强度对于发酵结果的影响

Fig. 5 Impact of crude protein and crude fiber by light intensity

光照强度对发酵饲料的影响是在试验过程中偶然发现的。由图5可以得出,在光照强度为2 500 lx时,发酵后粗蛋白与粗脂肪含量达到最高,分别为36.42%、4.96%,与上文无光照试验结果相比,粗蛋白和粗脂肪分别提高了1.39个百分点和0.04个百分点,说明微生物在2 500 lx的光强下生产蛋白和脂肪的能力增强。当光照强度为1 000 lx时,粗蛋白与粗脂肪含量与无光照试验一致,说明大于1 000 lx的光强才对微生物生产蛋白和脂肪能力有一定促进作用,已有研究也有类似的报道,非光合微生物在光照刺激下活性增强,例如尹冬雪等^[33]在2012年研究光照强度对猪粪、牛粪厌氧发酵的影响,发现光照条件比黑暗条件能产生更多的沼气,光照对微生物生长代谢具有显著影响。说明光照条件对非光合微生物的活性有一定的促进作用。当光照强度为10 000 lx时,粗蛋白与粗脂肪含量较无光照试验分别降低了13.30个百分点和1.43个百分点,说明光强过大时,微生物生产蛋白质和脂肪的能力都受到抑制。

由图5还可以看出,光照条件下,发酵饲料中粗纤维含量都高于13.32%,且随着光照强度增加,粗纤维含量越来越高,均高于无光照条件下发酵饲料中粗纤维的含量(12.08%),说明光照条件不利于粗纤维的降解,推测原因可能是微生物在光照条件下产纤维素酶、半纤维素酶的能力受到抑制,导致纤维素降解率降低,含量上升。通过以上分析可以发现,光照条件对非光合微生物发酵饲料既有促进作用

又有抑制作用,作用机理需要进一步研究才能得出。

3 结论

从热带假丝酵母(*Candida tropicalis*)、康宁木霉(*Trichoderma konigii*)、米曲霉(*Aspergillus oryzae*)、球拟圆酵母(*Torulopsis globosa*)4株菌中,优选出效果最佳的菌株并优化菌株最佳混合比例,确定*T. konigii*:*C. tropicalis*:*A. oryzae*最优比例为2:2:1,发酵时间84 h,温度33℃,含水率70%,菌液接种量0.4 mL/g,发酵后粗蛋白含量达到35.03%,粗脂肪含量达到4.92%,同时粗纤维含量为12.08%。通过光照强度对发酵饲料的影响试验可知,光强在1 000~2 500 lx时,可以促进微生物生产蛋白质和脂肪,当光强为10 000 lx时,微生物生产蛋白质和脂肪的能力受到抑制;另外,光照条件不利于粗纤维的降解,可能由于光照抑制了微生物产纤维素酶、木质素酶或者半纤维素酶的活性,光强对3株菌发酵蛋白质饲料的影响机理还需要进一步的研究。

参考文献

- [1] 王颖. 柑橘橘皮渣发酵饲料蛋白实验研究[D]. 重庆:重庆工商大学, 2007.
- [2] 李世忠,黄建国,李治玲,等. 柑橘皮渣降解菌的筛选及特性[J]. 食品科学, 2014, 35(23): 188-192.
- [3] 王帅. 发酵柑橘渣对仔猪生长和肠道发育的影响[D]. 重庆:西南大学, 2014.
- [4] 赵建,袁玲,黄建国,等. 柑橘皮渣高温堆肥生产有机肥[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 270-276.
- [5] 王旭峰,何计国,陶纯洁,等. 小麦麸皮的功能成分及加工利用现状[J]. 粮食与食品工业, 2006, 13(1): 19-22.
- [6] DE GREGORIO A, MANDALARI G, ARENA N, et al. SCP and crude pectinase production by slurry-state fermentation of lemon pulps[J]. Biore-source technology, 2002, 83(2): 89-94.
- [7] 赵蕾. 柑橘皮渣单细胞蛋白饲料生产技术及对生长猪饲喂效果研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2008.
- [8] MAMMA D, KOURTOGLOU E, CHRISTAKOPOULOS P. Fungal multi-enzyme production on industrial by-products of the citrus-processing industry[J]. Biore-source technology, 2008, 99(7): 2373-2383.
- [9] VACCARINO C, LO CURTO R, TRIPODO M M, et al. SCP from orange peel by fermentation with fungus-Submerged and 'surface' fermentations[J]. Biological wastes, 1989, 29(4): 279-287.
- [10] NWABUEZE T U, OGUNTIMAIN G B. Sweet orange (*Citrus senensis*) residue as a substrate for single cell protein production[J]. Biological wastes, 1987, 20(1): 71-75.
- [11] 周炼,王日葵,郭莉,等. 甜橙皮渣发酵蛋白饲料的研制[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(5): 51-54.
- [12] 殷钟意,王颖,郑旭煦,等. 柑橘皮渣发酵高蛋白饲料菌种筛选与工艺研究[J]. 饲料研究, 2009(4): 43-46.
- [13] 李赤翎,李彦,俞建. 柑橘皮渣发酵饲料研究[J]. 食品工业科技, 2009(5): 169-170.
- [14] 单杨. 我国柑橘工业现状及发展趋势[J]. 农业工程技术, 2014(4): 13-17.
- [15] MURAO S, SATOI S. Studies on Pepsin Inhibitor (S-PI) from *Streptomyces naniwaensis*[J]. Bioscience, biotechnology, and biochemistry, 1971, 35(10): 1477-1481.
- [16] PARDO A G, FORCHIASSIN F. Effect of light and nutrition on fruiting of *Ascobolus biguttulatus*[J]. Current microbiology, 1993, 27(2): 69-72.
- [17] LAPOINTE D S, COHEN R J. Ornithine decarboxylase in *Phycomyces*: *In vitro*, and *in vivo*, properties[J]. Archives of biochemistry & biophysics, 1983, 224(2): 515-525.
- [18] POKORNÝ R, VARGOVIČ P, HÖLKER U, et al. Developmental changes in *Trichoderma viride* enzymes abundant in conidia and the light-induced conidiation signalling pathway[J]. Journal of basic microbiology, 2005, 45(3): 219-229.
- [19] STRIGÁCOVÁ J, CHOVAŇEČ P, LIPTAJ T, et al. Glutamate decarboxylase activity in *Trichoderma viride* conidia and developing mycelia[J]. Archives of microbiology, 2001, 175(1): 32-40.

(下转第31页)

产量要高^[9-10],但略低于高丹草(10 000~27 000 kg/hm²)和黑麦草(18 000~22 000 kg/hm²)^[11-12]。这表明红麻作为饲草,在干物质产量方面具有一定的优势。

饲草作物中,作为衡量营养价值的指标之一,叶产量在总产量中的占比越高,营养价值越高^[13]。供试的7个红麻品种中,C品种的叶干物质产量超过了7 500 kg/hm²,占总干物质产量的45.09%;与紫花苜蓿(50%)相比,还有一定的差距^[14]。究其原因,可能是因为长期以来红麻育种仅关注纤维含量及质量。因此,已有红麻品种叶干物质含量高的品种非常少。另一方面,饲用作物叶产量的测算方法包括叶干物质产量直接测算法以及叶茎比计算法^[15]。该试验采用留茬刈割收获的方法,计算叶茎比不能在最大程度上反映出叶干物质产量,因此采用叶干物质产量直接测算法。该试验结果表明,在红麻饲用材料育种过程中应针对性地选择叶茎比高的材料。

郑凯等^[16]报道评价牧草饲用营养价值最主要的2个指标是粗蛋白和粗纤维的含量。当粗蛋白含量大于20%时,可认为是蛋白性饲草;当粗纤维含量高于18%时,可定性为纤维性饲草。该研究中7个品种红麻全秆粗蛋白含量低于20%,粗纤维含高于18%,可将7个供试红麻品种定性为纤维性饲草。供试红麻品种粗蛋白产量很高,供试品种粗蛋白产量为1 844.84~2 398.30 kg/hm²,与杂交象草的粗蛋白年产量(2 000 kg/hm²)相当,是黑麦草的粗蛋白年产量(1 220 kg/hm²)的2倍,说明红麻具有良好的饲用开发前景。

7个供试红麻品种的干物质产量为16 071.35~19 528.52 kg/hm²,粗蛋白含量为10.15%~18.43%,粗纤维含量为18.42%~42.42%;7个品种中,D品种的干物质产量最高,粗蛋白产量同样最高;C品种的叶干物质产量比例最大,占比为45.09%,并且粗蛋白含量显著高于其他品种($P < 0.05$);对应分析结果表明,D品种与产量性状紧密关联,C品种与叶干物质产量和粗蛋白含量紧密相关。C品种

具有高粗蛋白含量和低粗纤维含量的特点,且具有最高的叶干物质产量,因此在7个供试品种中最有潜力被培育成红麻饲用品种。D品种则因为3次收获所得到的生物产量最高,从而获得了最高的粗蛋白产量,所以D品种可作为优质的植物蛋白来源。因此,与其他5个红麻品种相比,C(K66)和D(K68)品种均为较好的饲用红麻品种。

参考文献

- [1] 王道波,李伏生,周端阳. 施肥水平和方式对红麻生长和产量的影响[J]. 华中农业大学学报,2014,33(4):13-18.
- [2] 蔡敦江,周兴民,朱廉,等. 苜蓿添加剂青贮、半干青贮和与麦秸混贮的研究[J]. 草地学报,1997,5(2):123-127.
- [3] 白杰,黄思齐,李建军,等. 红麻饲用价值的研究进展[J]. 中国麻业科学,2015,37(1):30-34.
- [4] 董志国. 苜蓿干草收获技术研究[C]//中国草学会饲料生产委员会第15次饲草生产学术研讨会论文集. 北京:中国草学会,2009.
- [5] 洪建基,曾日秋,吴松海,等. 饲用红麻产量及品质研究初报[J]. 中国麻业科学,2007,29(5):276-278.
- [6] 戴志刚,栗建光,陈基权,等. 我国麻类作物种质资源保护与利用研究进展[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(5):714-719.
- [7] WEBBER C L III, BLEDSOE V K. Plant maturity and kenaf yield components[J]. Industrial crops and products,2002,16(2):81-88.
- [8] 梁洪卉,程舟,杨晓伶. 马来西亚的红麻研究及开发进展[J]. 中国麻业,2003,25(6):286-291.
- [9] 陈柔屹,唐祈林,荣廷昭,等. 刈割方式对饲草玉米 SAUMZI 产量和饲用品质的影响[J]. 四川农业大学学报,2007,25(3):244-248.
- [10] 王永军,王空军,董树亭,等. 留茬高度与刈割时期对墨西哥玉米再生性能的影响[J]. 中国农业科学,2005,38(8):1555-1561.
- [11] 梁欢,游永亮,李源,等. 高丹草青贮加工及饲喂利用技术研究进展[J]. 草地学报,2015,23(5):936-943.
- [12] 张静,玉柱,邵涛. 丙酸、乳酸菌添加对多花黑麦草青贮发酵品质的影响[J]. 草地学报,2009,17(2):162-165.
- [13] CHANTIRATIKUL A, CHAIKONG C, CHINRASRI O, et al. Evaluation of yield and nutritive value of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) at various stages of maturity[J]. Pakistan journal of nutrition,2009,8(7):1055-1058.
- [14] 王彦华,余春林,高永革,等. 不同紫花苜蓿品种营养品质及相关性研究[J]. 中国农学通报,2010,26(2):11-15.
- [15] 韩路,贾志宽,韩清芳,等. 紫花苜蓿主要性状的对应分析[J]. 中国草地学报,2003,25(5):38-42.
- [16] 郑凯,顾洪如,沈益新,等. 牧草品质评价体系及品质育种的研究进展[J]. 草业科学,2006,23(5):57-61.

(上接第4页)

- [20] GOLDSTEIN A, CANTINO E C. Light-stimulated polysaccharide and protein synthesis by synchronized, single generations of *Blastocladiella emersonii*[J]. Journal of general microbiology,1962,28(4):689-99.
- [21] GOLDMAN G H, GEREMIA R A, CAPLAN A B, et al. Molecular characterization and regulation of the phosphoglycerate kinase gene from *Trichoderma viride*[J]. Molecular microbiology,1992,6(9):1231-1242.
- [22] PUYESKY M, PONCE-NOYOLA P, HORWITZ B A, et al. Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase expression in *Trichoderma harzianum* is repressed during conidiation and mycoparasitism[J]. Microbiology,1997,143(10):3157-3164.
- [23] SCHMOLL M, FRANCHI L, KUBICEK C P. Envoy, a PAS/LOV domain protein of *Hypocrea jecorina* (Anamorph *Trichoderma reesei*), modulates cellulase gene transcription in response to light[J]. Eukaryotic cell,2005,4(12):1998-2007.
- [24] 郑晓冬,张红印,席玛芳. 罗伦隐球酵母对草莓采后灰霉病害的生物防治[J]. 农业工程学报,2003,19(5):171-175.
- [25] 蓝丽精,周琴,蔡琪敏,等. 一株高产果胶酶青霉菌株的筛选鉴定[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2011,34(4):452-456.
- [26] 周宏. *Cytophaga hutchinsonii* 纤维素利用及运动相关基因的研究[D]. 济南:山东大学,2014.
- [27] 马恩陵,廉东波,李云玖,等. 实时定量 PCR 检测大肠埃希菌在 LB 培养基和血中对抗生素的耐药敏感性[J]. 中华临床营养杂志,2006,14(4):212-216.
- [28] 农业部饲料工业中心. 仔猪、生长肥育猪配合饲料:GB/T 5915—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [29] 任雪梅,胡梅,周传静,等. 咪唑比色法测定掺假蜂蜜中果胶的含量[J]. 山东农业科学,2011(3):100-102.
- [30] 刘树立. 增加柑橘皮渣发酵饲料粗蛋白含量的菌种筛选研究[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [31] 汤鸣强,陈颖颖. 海藻酸钠固定化米曲霉产果胶酶及其性质[J]. 食品研究与开发,2010,31(9):167-170.
- [32] 崔福绵,刘茵,韩辉. 康宁木霉 CP88329 纤维素酶产生条件的研究[J]. 微生物学通报,1995,22(2):72-76.
- [33] 尹冬雪,刘娟娟,季艳敏,等. 光照强度对猪粪、牛粪厌氧发酵的影响研究[J]. 农业环境科学学报,2012,31(2):428-434.