

茯苓菌固态发酵小麦基质的成分变化

李佳欢^{1,2}, 林辉^{1,2}, 金文松^{1,2}, 张燎原^{1,2}, 胡开辉^{*1,2}

(1. 福建农林大学 生命科学学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学(古田)菌业研究院, 福建 宁德 352200)

摘要: 以小麦基质为培养基,对茯苓固态发酵过程中的酶活力及营养成分进行测定。结果表明:发酵过程中,淀粉酶在 20 d 时达最高值,约为 494.2 U/mL,随后基本保持稳定;木聚糖酶在 20 d 达 1 073.2 U/mL,随后略有下降;纤维素酶随培养时间延长不断提升,40 d 时达 1 280.5 U/mL。与未发酵小麦相比,经发酵后的小麦中总糖质量分数明显下降,但还原糖、多糖、三萜的质量分数显著提升。茯苓菌可以通过酶的作用,利用小麦的营养成分,进而提升小麦的营养价值。

关键词: 茯苓;小麦;固态发酵;酶学性质;营养成分

中图分类号:TS 201.3 文章编号:1673-1689(2019)12-0103-07 DOI:10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.12.015

Changes of Nutrient Components during Solid-State Fermentation by *Poria cocos* Using Wheat as Substrate

LI Jiahuan^{1,2}, LIN Hui^{1,2}, JIN Wensong^{1,2}, ZHANG Liaoyuan^{1,2}, HU Kaihui^{*1,2}

(1. College of Life Sciences, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Edible Fungi Research Institute (Gutian) of Fujian Agriculture and Forestry University, Ningde 352200, China)

Abstract: *Poria cocos* was cultured on the solid medium using wheat as the sole substrate. The kinetic changes of extracellular enzyme activities and nutrient components were analyzed. The results showed that the amylase activity reached its maximum (494.2 U/mL) on the 20th day of the fermentation, which was maintained till the fermentation end. The highest xylanase activity of 1 073.2 U/mL appeared on the 20th day, and hereafter a slight decrease was observed. For the cellulase activity, there was an increase with cultivation time, and the maximum activity was up to 1 280.5 U/mL after 40 days cultivation. In comparison with the unfermented wheat, total sugar of fermented-wheat showed significant decrease, whereas the contents of reducing sugar, polysaccharide and triterpenoid were increased obviously. Hence, enzymatic catalysis of *Poria cocos* by solid-state fermentation could efficiently improve the nutrient value of wheat.

Keywords: *Poria cocos*, wheat, solid-fermentation, enzyme activity, compositions

收稿日期: 2017-03-13

基金项目: 福建省产业技术重大研发平台建设计划项目(2014N2101);福建省国家重大农技推广项目(KNJ153000)。

作者简介: 李佳欢(1992—),女,硕士,助理实验师,主要从事食用菌开发与利用方面研究。E-mail:644719198@qq.com

* 通信作者: 胡开辉(1962—),男,教授,博士研究生导师,主要从事食用菌的应用、开发与工厂化栽培方面研究。

E-mail:2692609765@qq.com

引用本文: 李佳欢,林辉,金文松,等. 茯苓菌固态发酵小麦基质的成分变化研究[J]. 食品与生物技术学报,2019,38(12):103-109.

茯苓(*Poria cocos* (Schw.) Wolf)作为一种药用真菌,目前已报道的生物活性物质包括多糖类、甾体类、蛋白质、四环三萜类、三环二萜类等^[1-3]。现代药理学研究证实,茯苓具有抗肿瘤、抗氧化、增强免疫功能等多种生物活性^[4-6]。现阶段,人们对茯苓的利用不仅局限于子实体,还可以通过其菌丝体进行液态或固态发酵,提取其发酵产物。

谷物因具有丰富的营养成分,如淀粉、蛋白质、植物脂肪、微量元素等,可供微生物生长所需的营养成分,是很好的发酵基质。营养学分析表明,谷物在经发酵后,其营养成分将会更加丰富。文献^[7]的研究表明,经自然发酵后的豇豆等豆科植物,其赖氨酸、苏氨酸等必需氨基酸质量分数明显提升。文献^[8]的研究中指出,燕麦、大豆2种混合谷物经灰树花孔菌进行固态发酵后,其总三萜、总多酚等抗氧化活性成分均有所提升,清除自由基能力显著增强。文献^[9]对桑黄发酵的薏米、稻米展开研究,发现两种谷物经发酵后,其抗氧化能力明显增强。

在微生物的作用下,谷物的营养组成发生了变化,同时发酵中产生的代谢产物,一定程度上提升了谷物的附加值。但在已有的研究中鲜见以茯苓菌为菌种对谷物进行发酵的报道,更未有研究对发酵过程中的酶活及各有效物质的变化展开研究。本研究采用无毒保健的茯苓菌对小麦进行发酵,初步分析了发酵过程中茯苓菌关键酶活性质的变化,并探讨了酶活变化与产物营养成分变化之间的关系,以期对茯苓发酵口服液、饮料等功能性产品的开发提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

小麦购自福州农贸市场;茯苓菌种由福建农林大学微生物工程实验室提供;葡萄糖购自Sigma试剂公司;其他试剂皆为分析纯试剂。

1.2 仪器与设备

Agilent1100 高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司产品;BS110S 型电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司产品;LDZX-50KBS 型立式压力蒸汽灭菌锅,上海申安医疗器械厂制造;DHG-9203 型鼓风干燥机,上海精宏公司产品;LRH-250 型恒温培养箱,宁波江南仪器厂制造;UV1100 型紫外分光光度计,上海美谱达仪器有限公司产品;5804R 型高速

冷冻离心机,德国 Eppendorf 公司产品;PB10 型 pH 计,德国赛多利斯集团产品。

1.3 实验方法

1.3.1 培养基 PDA 加富固体培养基:土豆(去皮)200 g、葡萄糖 20 g、蛋白胨 3 g、酵母提取粉 3 g、硫酸镁 1.5 g、磷酸二氢钾 1.5 g、维生素 B₁ 0.1 g、琼脂 20 g,加水定容至 1 000 mL,pH 自然,115 °C 灭菌 30 min。

小麦固体培养基:去除小麦中杂质与空心小麦颗粒,用蒸馏水冲洗 2~3 次,去除灰尘、麦麸等杂质,加蒸馏水至刚好浸没小麦,于 40 °C 水浴 2 h,将小麦捞出,按料液比 1:1.2 加入蒸馏水煮至小麦饱满全熟无白心,注意小麦不能裂开,以避免营养散失。将煮好的小麦粒分装于栽培瓶中,每瓶 110 g,压平,封口膜封口后 121 °C 灭菌 120 min。

1.3.2 发酵与样品收集 将灭菌后的小麦固体培养基冷却至室温,取活化好的茯苓菌种按 5 mL/hg 的接种量接至小麦栽培料,置于 26 °C 恒温培养箱中培养。接种后每隔 5 d 取 1 次样,将所得样品混匀后置于 60 °C 鼓风干燥机中干燥 48 h。将干燥后的发酵小麦经中草药粉碎机粉碎后,过 60 目筛,于干燥封闭环境下保存以供后续营养成分测定实验。未接种的小麦经过上述处理后作为对照,所有实验设定 3 组平行。

1.3.3 提取液的制备 将发酵小麦取出搅拌均匀后,称取 10 g 于研钵中,研磨后移至 100 mL 三角瓶中,加入 50 mL 双蒸水,于 150 r/min,25 °C 恒温振荡摇床培养 90 min,经纱布过滤后,8 000 r/min 离心 15 min,取上清液即为提取液,用于相关酶活、草酸和 pH 值的测定。

1.4 测定方法

1.4.1 酶活力的测定方法 淀粉酶活力测定在文献^[10]的方法上进行改良,采用淀粉-碘化钾显色法。定义 60 °C、pH 6.0 条件下,1 min 液化 1 μg 可溶性淀粉所需酶量为 1 个酶活力单位“U”。

木聚糖酶活力测定方法在文献^[11]等方法上进行改良,采用 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法。定义 50 °C、pH=5.2 条件下,1 min 生成 1 μg D-木糖所需酶量为 1 个酶活力单位“U”。

羧甲基纤维素酶的测定方法在文献^[12]的方法上进行改良,采用 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法。定义 50 °C、pH 4.6 的条件下,1 min 生成 1 μg 葡萄糖(GLU)所需酶量为 1 个酶活力单位“U”。

1.4.2 茯苓菌发酵小麦营养成分变化

1) pH 值测定:用 pH 计对样品粗酶提取液进行测定。

2) 草酸测定方法:本研究采用 HPLC 法来测定小麦中草酸的质量分数。取粗酶液 0.4 mL,加入 0.2 mL 酸性乙醇,在振荡器上混合 1 min,8 000 r/min 离心 10 min,上清液经 0.22 μ m 滤膜过滤。色谱分离柱:SB-Aq C18 柱;流动相:0.025 mol/L 磷酸二氢钾和四丁基氢氧化铵溶液(磷酸调 pH2.0);紫外检测波长:220 nm;进样量 2 μ L;流动相速度:流速 0.6 mL/min;柱温 30 $^{\circ}$ C。以草酸标品质量浓度(mg/mL)为 X 轴与峰面积的值(Y 轴)绘制标准曲线。所得标曲的线性回归方程为 $Y=3\ 039.1X+5.096$, $R^2=0.997\ 7$ 。

3) 总糖测定:参考文献^[13]的方法测定小麦当中的总糖质量分数,采用葡萄糖溶液进行标准曲线的测定,根据葡萄糖质量(X 轴)与 OD 值(Y 轴)绘制标准曲线。所得标准曲线的线性回归方程为:

$$Y=14.971X-0.001\ 85, R^2=0.999\ 8。$$

4) 还原糖质量分数测定:参考文献^[14-15]的方法测定小麦当中的还原糖质量分数,采用 DNS 法进行还原糖测定。以葡萄糖溶液进行标准曲线的测定,根据葡萄糖质量(X 轴)与 OD 值(Y 轴)绘制标准曲线。所得标准曲线的线性回归方程为:

$$Y=1.605\ 7X-0.014\ 72, R^2=0.999\ 3。$$

5) 多糖测定:参考文献^[16]的方法提取小麦粉中多糖,用苯酚硫酸法测定其吸光值,将结果代入葡萄糖标准曲线计算其多糖质量分数。

6) 总三萜质量分数测定:参考文献^[17]的方法对小麦中的总三萜,采用香草醛-冰醋酸测定样品中三萜质量分数。以熊果酸作为标品进行标准曲线的测定,根据熊果酸质量(X 轴)与 OD 值(Y 轴)绘制标准曲线,所得标准曲线的线性回归方程为:

$$Y=1.019\ 2X-0.066\ 22, R^2=0.999\ 4$$

7) 水溶性三萜酸测定:取 10 g 栽培料至三角瓶,加入 50 mL 的双蒸水,60 $^{\circ}$ C 水浴 2 h,每隔半小时摇晃混匀,8 000 r/min 离心 15 min,取上清液 2 mL 于烘干箱 60 $^{\circ}$ C 烘干,烘干后用 1 mL 双蒸水溶解,添加 1 mL 乙酸乙酯(质量分数 99.5%)进行萃取 2 遍;合并上层液烘干后使用香草醛-冰醋酸测定样品中三萜酸质量分数。

1.5 数据处理

实验数据用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析,

用 EXCEL 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 茯苓发酵小麦过程中菌丝生长变化情况

图 1 表示的是不同培养时间下,茯苓菌在小麦培养基上的长势情况,可以看出茯苓菌丝呈白色,菌丝较为纤细,生长速度快,培养 6 d 即可满瓶。随着培养时间的延长,菌丝密度逐渐升高且呈白色,充斥麦粒之间的间隙,培养至 30 d 后菌丝密度不再发生明显变化。



图 1 茯苓栽培过程的生长情况

Fig. 1 Growth of the *P. cocos*

2.2 茯苓固态发酵过程中酶活力变化情况

茯苓栽培过程中纤维素酶、木聚糖酶和淀粉酶的活力变化如图 2 所示。

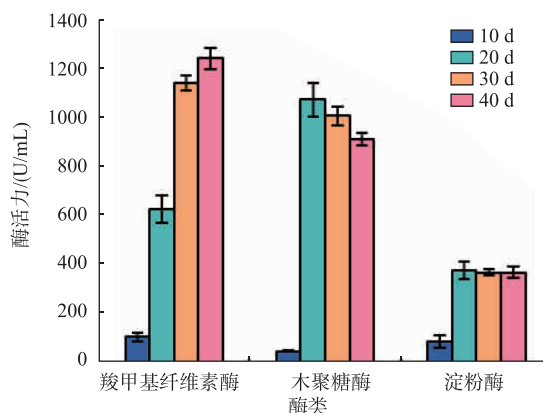


图 2 茯苓固态发酵过程纤维素酶、木聚糖酶和淀粉酶活力

Fig. 2 Activity variation of cellulase, xylanase and amylase produced by *P. cocos* during the process of solid-state fermentation

小麦基质中含有大量的淀粉、纤维素、木聚糖等,这些物质可以在相关酶的作用下,分解成单糖以供食用菌的生长所需。通过分析发酵过程中相关酶活力的变化,观察茯苓菌的生长情况及其对小麦培养基中营养成分的利用情况。

淀粉为小麦中主要贮藏物质,质量分数约为 53%~70%。在茯苓菌发酵小麦的过程中,淀粉酶的

活力对菌丝生长起着重要作用。由图 2 可知,随着发酵时间的增加,淀粉酶活力不断增强,在 20 d 时活力达最大值 247.1 U/mL,随后基本维持在 240 U/mL 左右,持续降解淀粉以供茯苓菌丝生长所需。其可能原因为小麦中的淀粉质量分数一直较高,故淀粉酶作为茯苓菌分泌的一种诱导酶,其活力将保持着相对稳定的状态。

纤维素是麦麸中的主要成分之一,其质量分数约占其干物质的 35%~40%^[18]。茯苓菌若要利用小麦胚乳中的营养成分,首先要具有降解麸皮中纤维素的能力,因此茯苓菌纤维素酶是茯苓菌能否在小麦基质中生长的关键酶之一。从图 2 可以看出,酶的活力在培养 10 d 时为 100 U/mL,随茯苓菌发酵时间的延长,纤维素酶活力以每隔 10 d 500 U/mL 的速度提升,培养 30 d 时纤维素酶活达 1 150 U/mL,后酶活提升趋势减缓,40 d 时其活力为 1 250 U/mL 左右。说明茯苓菌可以很好的降解小麦胚乳中的纤维素,以供菌丝生长和代谢所需。

小麦中可溶性多糖(非淀粉)的质量分数可达 6%以上,而其主要成分为阿拉伯木聚糖,是机体无法消化利用的成分之一,因此将降低其能量的利用效率^[19],而茯苓菌分泌的木聚糖酶可降解小麦中的木聚糖。由图 2 可知,木聚糖酶活力在 10~20 d 时显著提高,由 54 U/mL 提升至 1 080 U/mL,之后随着培养时间的延长,木聚糖酶活力逐渐降低,在 40 d 时酶活力为 920 U/mL。

2.3 发酵产物总糖、还原糖及多糖的变化

由图 3 可知,小麦发酵前总糖质量分数高达 80%以上,但经茯苓菌发酵后,小麦中的总糖质量分数逐渐降低。培养前 10 d 总糖降低速度较慢,但 10~20 d 期间,总糖被迅速消耗,20 d 时栽培料中的总糖质量分数仅剩 57.2%,随后总糖下降速率减缓。通过相关性分析发现,总糖的变化与纤维素酶、木聚糖酶及淀粉酶的变化趋势呈现显著的负相关性(r 值分别为-0.961、-0.925 和-0.958),结合发酵过程中的酶活力变化可知,培养前 10 d,由于茯苓菌菌丝酶活力较弱,对营养的利用率较低,总糖降低速率较低。发酵 10~20 d 期间,茯苓菌的代谢较旺盛,生长速度加快,淀粉酶、羧甲基纤维素酶及木聚糖酶的活力在该阶段的活力大幅提升($P<0.01$)。在 3 种酶的作用下,小麦中的淀粉、纤维素及木聚糖被大量消耗,总糖质量分数下降速度加快,第 20 天时

产物中的总糖质量分数下降了 43.6%。

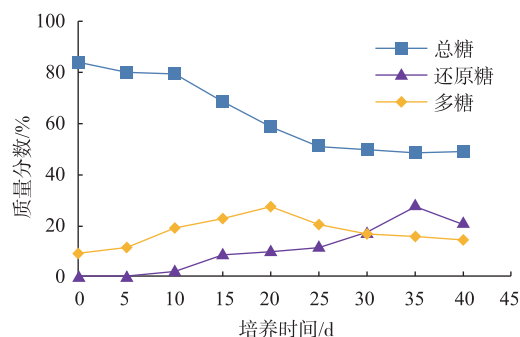


图 3 茯苓固态发酵过程总糖、还原糖、多糖质量分数变化
Fig. 3 Changes of total sugar, reducing sugar and polysaccharide contents during the solid-state fermentation of *P. cocos*

茯苓菌在发酵小麦的过程中,不能直接利用基质中的淀粉、纤维素等物质,而需要通过相应酶系的作用,将其降解为还原糖后再进行利用,所以还原糖质量分数的变化可以在一定程度上反映真菌对碳水化合物的有效利用率^[20]。未发酵小麦的还原糖质量分数仅为 0.389%,发酵过程中小麦还原糖质量分数呈整体上升趋势,发酵 35 d 时的还原糖质量分数高达 27.40%,为未发酵小麦的 70 倍。通过相关性分析发现,总糖的变化与纤维素酶、木聚糖酶及淀粉酶的变化趋势呈现正相关性(r 值分别为 0.986、0.734 和 0.804)。发酵 0~35 d 期间,发酵产物中的还原糖质量分数不断上升,可能是由于在发酵过程中产生的淀粉酶、纤维素酶、木聚糖酶等多酶体系的作用下,碳水化合物转化为还原糖以供菌丝生长利用,而在 35 d 之后,还原糖质量分数明显下降,提示茯苓菌菌丝对淀粉、纤维素等碳水化合物的利用率降低。

茯苓发酵小麦多糖的质量分数在培养 0~20 d 内大幅上升,由 8.72% 上升至 26.83%。多糖质量分数在培养 20 d 后开始下降,至 40 d 时下降为 14.96%。可能是因为发酵前期,在相关酶系的作用下,小麦基质中的碳水化合物被降解为单糖、还原糖和多糖,茯苓菌首先利用单糖和还原糖,多糖积累下来,其质量分数逐渐提升。随着茯苓菌代谢逐渐旺盛,其他糖类不能供给茯苓菌丝的正常生长,茯苓菌开始降解小麦基质中的多糖供能。多糖的变化情况其与淀粉酶之间存在着一定的正相关性($r=-0.468$)。

2.4 发酵产物 pH 值及草酸的变化情况

由图 4 可知,茯苓菌发酵小麦的 pH 值随培养时间增加而呈下降趋势,后期趋于平缓。发酵前期,茯苓菌生长进入对数期,由于其生长速度快,在利用小麦淀粉为碳源生长时,产生了大量草酸、月桂酸、茯苓酸等有机酸,pH 显著下降,在 15 d 左右 pH 值降至 3.70 左右后逐渐趋于平稳,进入稳定期,此时茯苓菌生物量基本保持稳定,有利于产物的合成。而随着培养时间的延长,草酸质量分数有所提高,但在培养的 25 d 内草酸质量分数变化不大,质量分数维持在 1.2 g/kg 左右,而培养 25 d 以后,产物中的草酸质量分数迅速提高。

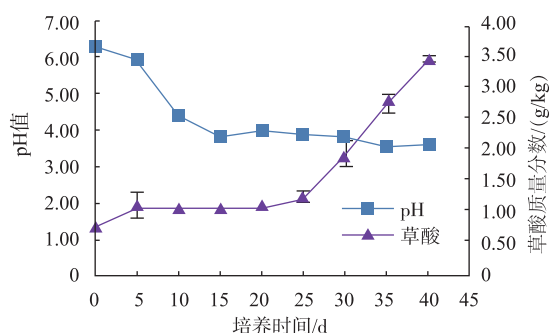


图 4 茯苓固态发酵过程 pH 值及草酸质量分数变化

Fig. 4 Changes of pH and oxalic acid during the process of solid-state fermentation of *P. cocos*

2.5 发酵产物三萜质量分数的变化

三萜是萜类物质中的一种,是真菌和植物在生长过程中产生的一种次级代谢产物。具有抗肿瘤、免疫调节、醛固酮拮抗等功效,是一种极具潜力的功能性物质^[21]。然而仅通过日常饮食摄入,无法满足人体对三萜的需求。因此,通过食用菌对谷物发酵,既改良了谷物原本的营养结构,同时可制成富含三萜类物质的功能性食品。由图 5 可知,发酵过程中总三萜与水溶性三萜酸变化趋势相同,随着培养时间的延长,总三萜与水溶性三萜酸质量分数逐渐提高,在培养至 25 d 时达到最高值,分别为 1.6 g/kg 与 0.13 g/kg,但随着培养时间的继续延长,两者的质量分数略有降低。研究指出,茯苓子实体、菌丝体三萜类化合物种类并无差异,只是其质量分数有所不同。本研究得到的茯苓发酵小麦,采用全麦小麦培养基,通过茯苓菌进行发酵,其菌丝的生长极大地提升了小麦中的三萜物质质量分数,因此,可以以茯苓发酵后小麦为原料,开发富含三萜类物质的

功能性食品。

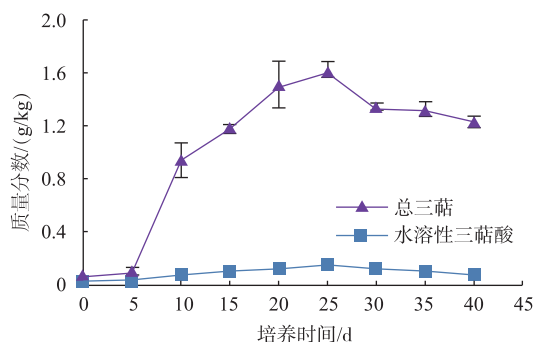


图 5 茯苓固态发酵过程三萜质量分数变化

Fig. 5 Changes of triterpenes contents during the process of the solid-state fermentation of *P. cocos*

2.6 讨论

茯苓菌作为一种木腐菌,在生长过程中可以分泌多种酶,将大分子营养物质降解为可供其利用的小分子物质。研究菌丝生长过程中的关键酶的活性,可以反映出菌丝的生长发育情况及其对基质的生物转化率^[22]。本文对茯苓菌发酵小麦的过程中的酶活分析结果表明,纤维素酶活力随培养时间延长不断上升,40 d 时达 1 280.5 U/mL,这与文献^[23]在研究茯苓菌发酵木屑培养基中纤维素酶的变化趋势不同,其原因可能是所采用的发酵基质不同;文献^[24]对杏鲍菇固态发酵过程中木聚糖酶的变化情况的研究与本研究所得结果一致,在茯苓菌发酵小麦的过程中,木聚糖酶活力在 20 d 时达最大值,为 1 073.2 U/mL,随后略有下降,可能原因是发酵后期,小麦中木聚糖质量分数下降,导致其酶活力逐渐降低;淀粉酶活力在发酵 20 d 时达最高值,约为 494.2 U/mL,随后基本保持稳定,这一结果与文献^[25]对银耳与香灰菌混合培养过程中的变化趋势一致。由于小麦胚乳中含有大量淀粉,淀粉酶可能作为一种诱导酶存在,在淀粉量维持稳定时,其酶活性变化不大。

3 结 语

茯苓菌固态发酵的过程中,发酵产物中的总糖、还原糖、多糖、三萜类物质等质量分数都有明显变化。与未经发酵的小麦相比,茯苓菌发酵小麦中的总糖质量分数明显下降,减少了 53%;还原糖质量分数显著上升,由发酵初期的 0.389% 上升至 27.40%;多糖质量分数由 8.72% 上升至 14.96%,发

酵过程中最高可达26.83%;总三萜与水溶性三萜的质量分数逐渐提高,在培养至第25天时达到最高值,分别高达1.6 g/kg与0.13 g/kg。

通过对茯苓菌发酵小麦过程中茯苓菌酶活变化和基质中营养成分变化的分析,可以看出茯苓菌在发酵的过程中,通过纤维素酶、木聚糖酶及淀粉酶等酶系的共同作用可将大分子物质降解,改善小

麦原有的营养结构。由于固态发酵方式工艺简单、原料成本低,又因小麦本身的可食性,在进行后期加工时不需采取将菌丝分离的步骤,极大地简化了加工流程。综上所述,可将固态发酵技术与传统谷物加工结合,开发具有高营养价值的谷物产品,既能促进传统谷物的应用,又提升了其营养价值,其市场价值可期。

参考文献:

- [1] CHANG H H, YE H C H, SHEU F. A novel immunomodulatory protein from *Poria cocos* induces Toll-like receptor 4-dependent activation within mouse peritoneal macrophages[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2009, 57(14): 6129-6139.
- [2] AKIHIS A T, NAKAMURA Y, TOKUDA H, et al. Triterpene acids from *Poria cocos* and their anti-tumor-promoting effects[J]. **Journal of Natural Products**, 2007, 70(6): 948-953.
- [3] GAO Xueling, YANG Suyun, YAN Yunmei, et al. Optimical liquid fermentation conditions of total triterpenoids from *Poria cocos* mycelium by response surface methodology[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2012, 31(10): 1112-1119. (in Chinese)
- [4] JIA X J, MA L S, LI P, et al. Prospects of *Poria cocos*, polysaccharides: Isolation process, structural features and bioactivities[J]. **Trends in Food Science and Technology**, 2016, 54: 52-62.
- [5] CUELLA M J, GINER R M, RECIO M C, et al. Two fungal lanostane derivatives as phospholipase A2 inhibitors[J]. **Journal of Natural Products**, 1996, 59(10): 977-979.
- [6] HUANG Congliang, ZHENG Jiali, LI Fenglin, et al. Effect of pachymaran to the antioxidant capacity and bax, Bcl-2 protein expression of renal tissue in mice with type II diabetes[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2016, 35(1): 82-88. (in Chinese)
- [7] ZAMOR A F, FIELDS M L. Nutritive quality of fermented cowpeas (*Vigna sinensis*) and chickpeas (*Cicer arietinum*) [J]. **Journal of Food Science**, 1979, 44(1): 234-236.
- [8] ZHANG Xinchao, GUO Liqiong, PENG Zhini, et al. Analysis of antioxidant components of *Grifola frondosa* solid fermented substrates[J]. **Mycosystema**, 2011, 30(2): 331-337. (in Chinese)
- [9] LIANG C H, SYU J L, MAU J L. Antioxidant properties of solid-state fermented adlay and rice by *Phellinus linteus* [J]. **Food Chemistry**, 2009, 116(4): 841-845.
- [10] PENG Zhini, GUO Liqiong, ZHANG Xinchao, et al. Compositions and antioxidant activities of soybean substrate during solid-state fermentation by *Cordyceps militaris* [J]. **Mycosystema**, 2011, 30(2): 338-342. (in Chinese)
- [11] HAN D K, HUBBELL J A. Synthesis of polymer network scaffolds from L-Lactide and poly (ethylene glycol) and their interaction with cells[J]. **Macromolecules**, 1997, 30: 6077-6083.
- [12] CAO Chunlei, CUI Baokai, QIN Wenmin. Activity changes of several extracellular enzymes in liquid culture of *Phellinus mori* [J]. **Mycosystema**, 2011, 30(2): 275-280. (in Chinese)
- [13] ZUO Qi, YANG Haifeng, XING Zengtao, et al. Determination of total sugar in fruit bodies of five edible mushroom species [J]. **Acta Edulis Fungi**, 2008, 15(4): 57-61. (in Chinese)
- [14] WANG Lulu, CAI Guolin, ZHU Dewei, et al. Effect of ball milling pretreatment and solid state fermentation on the feed quality of corn straw [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2014, 33(11): 1148-1153. (in Chinese)
- [15] MILLER G L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar [J]. **Analytical Chemistry**, 1959, 31: 426-428.
- [16] 陈柏翰. 微波萃取茯苓固态发酵产物中粗三萜及其降血糖效果之研究[D]. 宜兰: 国立宜兰大学, 2014.
- [17] LIANG Jia, SUN Mengyi, ZHANG Teng, et al. Optimization of extracting triterpene from *Phellinus igniarius* by response surface methodology [J]. **Chinese Agricultural Science Bulletin**, 2011, 27(10): 235-238. (in Chinese)

- [18] 李军涛. 近红外反射光谱快速评定玉米和小麦营养价值的研究[D]. 北京:中国农业大学,2014.
- [19] ZHANG Zhishi, LIN Hui, WANG Lifan, et al. Relationship between physical and chemical indicators and maturity of *Hypsizygus marmoreus* [J]. **Edible Fungi of China**, 2012, 30(2): 154-156. (in Chinese)
- [20] CHE Shuang, LI Qing, HUO Yanshuang, et al. RP-HPLC simultaneous determination of five triterpenoid acids in different parts of *Poria cocos* by UV wavelengths switch [J]. **Acta Pharmaceutica Sinica**, 2010(4): 494-497. (in Chinese)
- [21] LI Yi, WAN Deguang, ZHONG Shihong, et al. Study of quality standards of natural *Poria cocos* and liquid fermented *Poria cocos* [J]. **Journal of Chengdu Medical College**, 2009, 4(4): 251-254. (in Chinese)
- [22] WU Xuejun, AN Qi, DAI Yucheng. Physiological and biochemical characteristics of the *Pleurotus ostreatus* CCEF89 [J]. **Mycosystema**, 2015, 34(4): 621-631. (in Chinese)
- [23] 杨静. 茯苓 (*Wolfiporia cocos*) 胞外酶活性生理特性与菌种质量的相关性研究[D]. 重庆:西南大学,2015.
- [24] WU Ping, SHI Jun, LI Zhengpeng, et al. Solid-phase fermentation condition and enzymatic characteristics of xylanase from *Pleurotus eyngii* [J]. **Journal of Nuclear Agricultural Sciences**, 2010, 24(3): 542-547. (in Chinese)
- [25] LIN Hui, LAI Shufang, ZHENG Zhushuang, et al. Interaction rules of enzyme system between *Hypoxylon* sp. and *Tremella fuciformis* [J]. **Edible Fungi of China**, 2015, 34(4): 57-61. (in Chinese)

科 技 信 息

欧盟评估一种 6-植酸酶作为饲料添加剂的安全性和有效性

2019 年 11 月 7 日,据欧盟食品安全局(EFSA)消息,应欧盟委员会要求,欧盟动物饲料添加剂和产品(FEEDAP)研究小组就 PHYTA FEED? 20,000 GR/L(6-植酸酶(6-phytase))作为火鸡和小型家禽饲料添加剂的安全性和有效性发表科学意见。

据了解,该添加剂是一种 6-植酸酶制剂,其中 6-植酸酶由一种转基因巴斯德毕赤酵母(*Komagataella phaffii*)菌株产生。经过评估,FEEDAP 小组得出结论认为,此种添加剂不会给消费者和环境带来安全问题,在 250 U/kg 饲料的使用水平下对目标物种有效。

[信息来源] 食品伙伴网. 欧盟评估一种 6-植酸酶作为饲料添加剂的安全性和有效性 [EB/OL]. (2019-11-11). <http://news.foodmate.net/2019/11/539961.html>

欧盟修订部分食品中芥酸和氢氰酸的最高含量

2019 年 11 月 8 日,据欧盟官方公报消息,欧盟委员会发布(EU)2019/1870 号条例,修订芥酸(Erucic acid)和氢氰酸(Hydrocyanic Acid)在部分食品中的最大含量。具体修订如下:

(EC)1881/2006 号法规附件的第 8 节中,条目 8.1 和条目 8.3 分别替换为以下内容:

食品		最高质量分数/ (mg / kg)
8.1	芥酸,包括结合在脂肪中的芥酸	
8.1.1	市场上出售给最终消费者或用作食品成分的植物油和油脂,芥蓝油,芥末油和琉璃苣油除外	20.0
8.1.2	芥蓝油,芥末油(1)和琉璃苣油	50.0
8.1.3	芥末酱(调味品)	35.0
8.3	氢氰酸,包括结合在氰苷中的氢氰酸	
8.3.1	市场上出售给最终消费者的未加工整粒和各种碎杏仁	20.0

注:(1)经主管当局认可,最高限量不适用于本地生产和消费的芥末油。

[信息来源] 食品伙伴网. 欧盟修订部分食品中芥酸和氢氰酸的最高含量 [EB/OL]. (2019-11-8). <http://news.foodmate.net/2019/11/539963.html>