

5种食用菌液态发酵稻谷统糠 改善其品质的效果分析

Ashfaq Ahmad, 杨美智子, 庄永亮, 孙丽平*

(昆明理工大学云南省食品安全研究院, 云南昆明 650500)

摘要:本研究通过灵芝、茶树菇、杏鲍菇、金针菇和香菇5种食用菌种对稻谷统糠进行液体发酵,采用国标方法测定了统糠发酵前后主要组成成分变化,并对统糠发酵前后的持水性、持油性、溶胀性和葡萄糖透析阻滞能力等理化性能进行了分析。结果表明:5个菌种均可显著提高统糠中可溶性膳食纤维的含量($p < 0.05$),其中茶树菇和金针菇效果最为显著,分别增长了4.17和4.39倍;粗蛋白含量有所上升,粗脂肪含量没有显著性变化($p > 0.05$);茶树菇和金针菇发酵后总酚含量由2.90 mg GAE/g DW显著增加为4.03 mg GAE/g DW和4.46 mg GAE/g DW($p < 0.05$);稻谷统糠的持油性能较强,为4.50 g/g,发酵过程对其没有显著影响($p > 0.05$);统糠的持水性能和溶胀性能较弱,发酵处理增强效果不大,只有灵芝发酵对持水性显著提高($p < 0.05$);统糠的葡萄糖透析阻滞能力较弱,杏鲍菇和金针菇可以显著增强其葡萄糖透析阻滞能力($p < 0.05$)。食用菌发酵处理在一定程度上可以改善统糠品质,综合组成成分和理化功能,以金针菇液态发酵效果最好。

关键词:稻谷统糠,食用菌,发酵,可溶性膳食纤维,理化性能

Effect of liquid fermentation on the quality of rice milled by-products by five edible mushrooms

AHMAD Ashfaq, YANG Mei-zhizi, ZHUANG Yong-liang, SUN Li-ping*

(Yunnan Institute of Food Safety, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: Rice milled by-products (RMP) were liquid fermented by five edible mushrooms, *Ganoderma lucidum* (GL), *Agrocybe aegerita* (AA), *Pleurotus eryngii* (PE), *Flammulina velutipes* (FV) and *Lentinus edodes* (LE). The chemical composition (crude protein, crude fat, soluble dietary fiber and total phenols) and the physicochemical property of RMP were determined. The results showed that liquid fermentation by five mushrooms caused significantly were increase in soluble dietary fiber contents ($p < 0.05$), especially for AA and FV, being a 4.17 and 4.39-fold increase, respectively. Crude protein were increased and fat were insignificantly effected by the fermentation ($p > 0.05$). Total phenolic contents were significantly increased from 2.90 GAE/g DW to 4.03 mg GAE/g DW and 4.46 mg GAE/g DW after fermented by AA and FV, respectively. RMP showed significant oil-holding capacity, being 4.50 g/g. Fermentation insignificantly affected the oil-holding capacity. Water-holding capacity and swelling capacity of RMP were not obvious. Fermentation insignificantly affected these capacities, except that GL fermentation increased water-holding capacity ($p < 0.05$). Glucose dialysis retardation index was significantly increased by fermentation of FE and FV ($p < 0.05$). Fermentation process by edible mushroom could improve the quality of rice milled by-products, especially for FV fermentation.

Key words: rice milled by-products; edible mushroom; fermentation; soluble dietary fiber; physicochemical property

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)19-0151-04

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.19.023

稻谷在碾白过程中产生稻壳和米糠等副产品。稻壳约占稻谷总质量的20%,富含粗纤维、戊聚糖等。米糠是由稻米的外果皮、中果皮、交联层、糊粉

层以及种皮组成,约占稻谷总质量的5.5%~10%,富含蛋白质、脂肪、多糖(淀粉和膳食纤维)及维生素和矿物质。目前,稻壳和米糠的高值化利用技术已经

收稿日期: 2014-11-28

作者简介: Ashfaq Ahmad (1985-), 男, 硕士, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: 2259501553@qq.com。

* 通讯作者: 孙丽平 (1981-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品质量与安全控制, E-mail: kmlpsun@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31301456)。

得到一定的研究^[1-2]。稻谷碾白时稻壳和米糠不进行分离的副产品被称为统糠。据悉,地方小作坊加工稻米时,产生的都是统糠,产量很大,一般作为饲料、肥料等,附加值极低,因此,对这部分副产品的综合利用技术进行研究是十分有必要的。

根据稻壳和米糠成分可知^[1-2],统糠中营养物质全面,且功能性成分(膳食纤维、多聚戊糖等)含量高,适合作为微生物发酵基质,可以利用微生物发酵技术改善统糠的品质,提升其作为健康功能食品原料的价值。本研究通过灵芝(*Ganoderma Lucidum*)、茶树菇(*Agrocybe aegerita*)、杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*)、金针菇(*Flammulina velutipes*)和香菇(*Lentinus edodes*)5种食用菌种对统糠进行液体发酵,测定了统糠发酵前后可溶性膳食纤维、粗蛋白质、粗脂肪、总酚含量变化,并对统糠发酵前后的持水性、持油性、溶胀性和葡萄糖透析阻滞能力等理化性能进行了分析。以期为高值化开发利用稻谷统糠作为功能性食品原料提供技术基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

稻谷统糠 云南本地稻谷加工作坊收集;实验菌种灵芝(*Ganoderma Lucidum*, GL)、茶树菇(*Agrocybe aegerita*, AA)、杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*, PE)、金针菇(*Flammulina velutipes*, FV)和香菇(*Lentinus edodes*, LE) 昆明食用菌研究所,PDA斜面保存;高温 α -淀粉酶、糖化酶、木瓜蛋白酶等Sigma试剂公司;其它试剂均为分析纯。

T18基本型分散机 德国IKA;YXQ-LS-30SH型立式压力蒸汽灭菌器 上海博讯实业有限公司;SW-CJ-2FD型双人单面净化工作台 江苏净化设备有限公司;QYC-2012C震荡培养箱 宁波江南仪器厂;TU-1901双光束紫外可见光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 统糠的发酵处理 统糠液体培养基的配制:称60g统糠,加入600mL蒸馏水,20000 r/min分散处理1min,分装至250mL三角瓶中,每瓶100mL,高压蒸汽灭菌。

实验菌种PDA培养活化后,每个菌种分别挑取约0.3g菌丝体,接种到已灭菌的统糠液体培养基中,以160 r/min 28℃培养8d。之后将发酵好的样品冷冻干燥,将干燥好的样品打碎,过40目筛,干燥器保存备用。

1.2.2 统糠发酵前后主要质量指标测定 可溶性膳食纤维(Soluble Dietary Fibre, SDF)含量的测定——采用GB/T 5009.88-2008食品中膳食纤维的测定;蛋白质含量的测定——采用GB 5009.5-2010食品中蛋白质的测定;脂肪含量的测定——采用GB/T 14772-2008食品中粗脂肪的测定;总酚含量测定——参考GB/T 8313-2008茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法。

1.2.3 统糠发酵前后理化性能分析

1.2.3.1 持水性(WHC)和持油性(OHC)测定 准确

称取250mg样品于50mL离心管中,加入25mL蒸馏水或橄榄油。混匀后在室温静置1h,3000 r/min离心15min,倒去上清液,用纸吸干残余的水后称湿质量。

WHC和OHC以每克样品所保持的水或油的克数计,g/g。

1.2.3.2 溶胀性(SC)测定 准确称取200mg干样品于10mL量筒中,加入10mL蒸馏水,混匀后在室温静置18h,记录溶胀后的固体体积。

SC以每克样品所溶胀的体积计,mL/g。

1.2.3.3 葡萄糖阻滞系数(GDRI)测定 葡萄糖阻滞系数(GDRI)参考Al-Sheraji等^[3]所述方法测定。首先将样品用80%乙醇抽提3次去除可溶性糖,60℃鼓风干燥后称取500mg的无糖样品于透析袋中,然后依次加入7.5mL蒸馏水和7.5mL 4mg/mL葡萄糖溶液作为实验组,同时在另一透析袋中加入7.5mL蒸馏水和7.5mL 4mg/mL葡萄糖溶液作为空白组。将装有混合溶液的透析袋放入盛有400mL蒸馏水的烧杯中,37℃磁力搅拌1h。在60min内每隔20min取出1mL透析液,测葡萄糖含量。GDRI用下式计算。

$$GDRI(\%) = \left(1 - \frac{\text{实验组葡萄糖透析量}}{\text{空白组葡萄糖透析量}} \right) \times 100$$

1.3 数据统计方法

每个实验至少三次重复,测定结果表达为平均值 \pm 标准偏差。使用Microsoft Office Excel 2003进行数据处理、画图及回归分析。采用SPSS11.5软件对数据进行方差分析,差异显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 食用菌液体发酵对统糠SDF含量的影响

膳食纤维原料中的SDF具有影响可利用碳水化合物和脂类代谢等诸多生理保健功能^[4]。有研究表明,膳食纤维对人体的生理保健功能与其SDF含量有很大关系^[5]。

未发酵的稻谷统糠中SDF含量很低,如图1所示,仅为2.29%(干重,DW),低于麦麸^[6]、藕渣^[7]、甘薯渣^[8]等工业副产品中SDF含量。经灵芝(GL)、茶树菇(AA)、杏鲍菇(PE)、金针菇(FV)和香菇(LE)五种食用菌液体发酵后,样品中SDF含量显著升高,分别为4.24%、9.56%、4.14%、10.06%和7.89%,表明发酵处理均可显著增加统糠中SDF的含量($p < 0.05$),其中改善效果最为显著的是茶树菇和金针菇,发酵后SDF含量分别增长了4.17和4.39倍。本研究结果与谢春艳^[6]、刘蒙瑜^[7]、丰来^[8]等研究结果一致,表明微生物发酵法用于膳食纤维的制备或品质改良理论上可行,特别是食用真菌发酵,安全性高,发酵过程中产生的真菌多糖是膳食纤维的良好来源。

2.2 食用菌液体发酵对统糠蛋白质和脂肪含量的影响

如图2所示,发酵前统糠中蛋白质含量为6.20%,比麦麸中蛋白含量低^[6],高于藕渣^[7]等一些植源性工业副产品中蛋白含量。经GL、AA、PE、FV和LE发酵后,样品中蛋白质含量分别为6.46%、

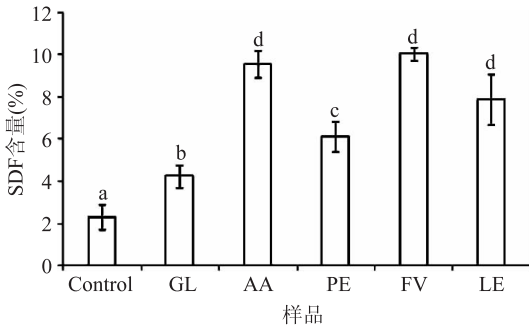


图1 五种食用菌液体发酵对统糠 SDF 含量的影响
Fig.1 Effects of liquid fermentation on SDF contents in RMP by five edible mushrooms

注:标有不同字母表示数据间差异显著 ($p < 0.05$); Control 表示未发酵的统糠样品, GL 表示灵芝发酵的统糠样品, AA 表示茶树菇发酵的统糠样品, PE 表示杏鲍菇发酵的统糠样品, FV 表示金针菇发酵的统糠样品, LE 表示香菇发酵的统糠样品, 图2 同。

6.75%、6.39%、6.44% 和 6.47%, 表明发酵处理均可在一定程度上增加样品中蛋白质含量, 这与金信江^[9]、李璐^[2] 研究结果一致。真菌发酵时, 其体系中氮元素总量在发酵前后应保持不变, 所以本研究中食用菌发酵后统糠中蛋白质含量增加, 可能是菌丝发酵时的呼吸作用释放了体系中的部分碳元素, 导致单位重量中氮元素比例升高, 进而蛋白质在百分含量有所增加, 因此, 蛋白质的增加幅度可在一定程度上反映发酵的程度。由图2 可以看出, 五个菌种中茶树菇对蛋白质含量的增加效果最为显著。

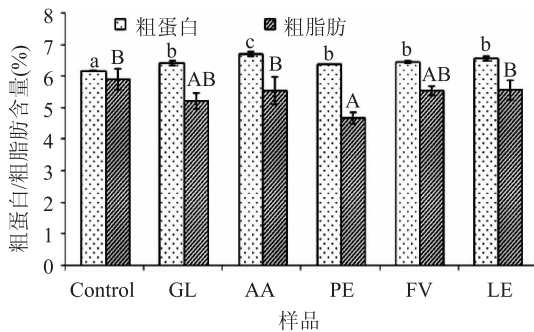


图2 五种食用菌液体发酵对统糠蛋白质和脂肪含量的影响
Fig.2 Effects of liquid fermentation on crude protein and fat contents in RMP by five edible mushrooms

米糠中脂肪含量较高, 但是碾米后一起进入到米糠中的脂肪酶和油脂互相作用, 油脂可被迅速分解为游离脂肪酸, 并进一步氧化, 造成米糠的“哈变”, 数小时即可让米糠产生一种霉味。在一些大规模的稻米加工厂中米糠的稳定化技术已经被研发和应用。但是地方的小作坊米糠没有稳定化处理, 这也是小作坊米糠不能深加工利用的主要原因之一。

表1 五种食用菌液体发酵对统糠总酚含量的影响 (mg GAE/g DW)

Table 1 Effects of liquid fermentation on total phenolic contents in RMP by five edible mushrooms (mg GAE/g DW)

食用菌	control	GL	AA	PE	FV	LE
总酚含量	2.90 ± 0.16 ^c	2.18 ± 0.06 ^b	4.03 ± 0.11 ^d	1.76 ± 0.06 ^a	4.46 ± 0.14 ^e	2.53 ± 0.12 ^{bc}

注:同行不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$), 表2 同。

五种食用菌液体发酵可以降解统糠中的脂肪, 如图2 所示。发酵前统糠中脂肪含量为 5.68%, 经 GL、AA、PE、FV 和 LE 发酵后, 脂肪含量降低为 5.23%、5.56%、4.69%、5.56% 和 5.58%, 其中 PE 对统糠中脂肪的降解效果显著 ($p < 0.05$)。这可能是真菌发酵对统糠中的脂肪有所消耗和利用, 提供菌丝生长发育所需能量或重新合成为自身的非脂成分。本研究结果与王稳航等的研究结果一致。研究采用的索氏提取法测定的样品中粗脂肪含量还包括了菌丝体中的脂质成分, 所以微生物发酵法可以作为抑制米糠脂质酸败或去除已氧脂质的潜在途径。

2.3 食用菌液体发酵对统糠总酚含量的影响

酚类物质是植物的次级代谢产物, 在植物生殖和生长发育过程中起着关键作用, 具有较强的抗氧化性, 可保护生物体内大分子免受氧化损伤, 也是植源性食品对人体保健功能性的主要物质基础之一。目前, 对于稻壳和米糠中酚类物质的研究还很少。本研究测定了稻谷统糠发酵前后酚类物质的含量如表1 所示。发酵前统糠中总酚含量 2.90 mg GAE/g DW, 高于李青等^[10] 报道的一些籼米稻壳中酚酸含量, 这可能是由于本研究中的原料混有 25% ~ 50% 的米糠。GL、AA、PE、FV 和 LE 的发酵处理对统糠中的酚酸含量有影响, 其中茶树菇和金针菇发酵后酚酸含量显著增加 ($p < 0.05$), 分别为 4.03 mg GAE/g DW 和 4.46 mg GAE/g DW, 这可能与该两种真菌降解稻糠纤维, 释放了纤维结合的酚类物质, 与其发酵后 SDF 含量显著增加具有一致性。灵芝、杏鲍菇和香菇发酵后酚酸含量有所降低, 分别为 2.18、1.76、2.53 mg GAE/g DW, 这可能是三种菌对统糠中酚类物质的利用率较高。

2.4 食用菌液体发酵对统糠理化性能的影响

分析发酵统糠的理化性能可在理论上支持其作为保健食品的原料或优质膳食纤维来源是否可行。如表2 所示, 发酵前统糠的 WHC、OHC 和 SC 分别是 3.83、4.50 g/g 和 0.75 mL/g, 表明统糠持油效果显著, 高于桔子膳食纤维的 1.27 g/g、芒果膳食纤维的 1.0 g/g、麦麸的 1.6 g/g、火龙果皮膳食纤维的 2.65 g/g^[11]、蔗渣的 3.26 g/g^[12] 等一些植源性膳食纤维的持油效果; 但是统糠的持水性能和溶胀性能较弱, 低于常见植源性膳食纤维的持水性能^[5] 和溶胀性能^[13]。经 GL、AA、PE、FV 和 LE 的发酵后, 统糠的 WHC 和 SC 可保持不变或有所降低, 如表2 所示。但是发酵处理对统糠的持油性没有显著提高效果, 表明发酵前后的统糠均可在一定程度上作为高纤维添加成分应用于需要滞留油脂、吸收胆固醇的食品中。

葡萄糖阻滞系数一个很好的体外评价指标, 它

表2 五种食用菌液体发酵对统糠理化性能的影响

Table 2 Effects of liquid fermentation on functional properties of RMP by five edible mushrooms

食用菌	control	GL	AA	PE	FV	LE
WHC(g/g)	3.83 ± 0.34 ^b	3.85 ± 0.05 ^b	3.86 ± 0.33 ^b	3.92 ± 0.14 ^b	3.14 ± 0.03 ^a	3.20 ± 0.12 ^a
OHC(g/g)	4.50 ± 0.13 ^{ab}	5.25 ± 0.045 ^b	5.04 ± 0.22 ^{ab}	4.98 ± 0.13 ^{ab}	4.64 ± 0.28 ^{ab}	4.21 ± 0.40 ^a
SC(mL/g)	0.75 ± 0.00 ^c	0.90 ± 0.14 ^c	0.50 ± 0.14 ^b	0.80 ± 0.00 ^c	0.20 ± 0.00 ^a	0.40 ± 0.00 ^{ab}
GDMI(%)						
20 min	14.54 ± 1.80 ^a	21.17 ± 1.80 ^a	15.81 ± 0.72 ^a	27.89 ± 4.69 ^b	20.15 ± 0.35 ^a	15.05 ± 3.25 ^a
40 min	22.18 ± 1.11 ^b	22.50 ± 1.11 ^b	16.99 ± 0.45 ^a	30.51 ± 2.23 ^c	36.80 ± 1.77 ^d	19.19 ± 3.11 ^{ab}
60 min	13.75 ± 0.18 ^a	14.01 ± 0.90 ^a	16.07 ± 0.90 ^{ab}	29.70 ± 1.63 ^c	27.64 ± 1.64 ^c	18.13 ± 0.54 ^b

可以反映出膳食纤维延缓葡萄糖被胃肠道吸收的能力大小。如表2所示,发酵前统糠的GDMI在20、40和60 min时分别为14.54%、22.18%和13.75%,低于市售纤维素的GDMI(21.6%、23.8%和29.2%);同时也低于研究报道的一些果皮纤维,如火龙果皮粉的GDMI(60.2%、59.2%和62.8%)^[11]和芒果皮粉的GDMI(46.8%、53.4%和58.5%)^[5],表明统糠延缓葡萄糖被胃肠吸收的能力较弱。GL、AA、PE、FV和LE的发酵处理对统糠的GDMI有影响,其中杏鲍菇和金针菇发酵后统糠的GDMI显著增强,其GDMI在20、40、60 min分别是27.89%、30.51%和29.70%以及20.15%、36.80%和27.4%,与市售纤维素的GDMI(21.6%、23.8%和29.2%)相当。

3 结论

稻谷统糠中可溶性膳食纤维含量较低,5种食用菌发酵后可显著提高统糠中可溶性膳食纤维的含量,茶树菇和金针菇的效果最显著。发酵处理对统糠的粗脂肪含量影响不显著,但可以一定程度上增加粗蛋白含量。统糠中具有一定的酚酸含量,茶树菇和金针菇发酵后显著提升了统糠中酚酸含量。统糠表现了较强的持油性能,且发酵对其没有影响;统糠的持水性能和溶胀性能较弱,发酵处理也未能增强其效果;统糠的葡萄糖透析阻滞能力较弱,杏鲍菇和茶树菇可以显著增强其葡萄糖透析阻滞能力。研究表明金针菇发酵处理可用于改善统糠品质,其发酵条件优化有待进一步研究。

参考文献

- [1] 李瀛. 稻壳高附加值产品的新工艺研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [2] 李璐. 米糠发酵制品及功能评价[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.

(上接第150页)

Negative-Acting Nitrogen Control Gene, nmr, in *Neurospora crassa* and Other *Neurospora* and Fungal Species[M]. *Biochemical Genetics*, 1991, 29(9/10): 447-459.

[9] 王晓杰, 郝喜群. 好食脉孢霉发酵玉米酒糟生产新型饲料的工艺研究[J]. *农产品加工*, 2008(7): 118-121.

[10] Chun HE, Sun XY, Duan BH. Regulates Conidiation and Carotenoid Production[J]. *Agriculture Science and Technology*, 2013, 14(1): 14-17.

[11] 张燕鹏, 杨瑞金, 王贺, 等. 传统豆渣菌的菌相分析及蛋白酶和纤维素酶主要产生菌株的鉴定[J]. *食品工业科技*, 2012(1): 171-174.

[3] Al-Sheraji SH, Ismail A, Manap MY, et al. Functional Properties and Characterization of Dietary Fiber from *Mangifera pajang* Kort. Fruit Pulp[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59: 3980-3985.

[4] 张玉倩, 赵乃峰, 王成忠, 等. 膳食纤维功能特性与改性的研究[J]. *粮食加工*, 2010, 35(5): 57-59.

[5] Hassan FA, Ismail A, Hamid AA, et al. Characterisation of fibre-rich powder and antioxidant capacity of *Mangifera pajang* K.fruit peels[J]. *Food Chemistry*, 2011, 126: 283-288.

[6] 谢春艳. 茶新菇发酵制备麦麸膳食纤维与阿魏酰低聚糖及其生物活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.

[7] 刘蒙瑜. 发酵法制取藕渣膳食纤维技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.

[8] 丰来. 灵芝发酵甘薯渣产可溶性膳食纤维的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.

[9] 金信江. 固态发酵法制取麦麸膳食纤维技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.

[10] 李青, 张名位, 张瑞芬, 等. 5种种稻品种谷壳中游离态和结合态酚类物质含量及其抗氧化活性比较[J]. *中国农业科学*, 2012, 4(6): 1150-1158.

[11] 张玉锋, 孙丽平, 庄永亮, 等. 火龙果皮中膳食纤维含量及其物理化学特性[J]. *食品科学*, 2012, 33(19): 164-167.

[12] Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, et al. Dietary fiber and fiber-rich by-products of food processing: characterization, technological functionality and commercial applications: A review[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124: 411-421.

[13] Rodríguez R, Jiménez A, Fernández-Bolaños J, et al. Dietary fiber from vegetable products as source of functional ingredients[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2006, 17: 3-15.

[12] 卫琳, 宋俊梅, 宁维颖, 等. 米曲霉固态发酵豆粕制备大豆肽的研究[J]. *粮食加工*, 2009, 34(1): 34-36.

[13] 陈炳钊, 周文艺, 吴焜, 等. 复合微生物固态发酵豆粕的工艺条件研究[J]. *福建畜牧兽医*, 2013, 35(5): 8-11.

[14] Sardjono, Yang Zhu, Wieger Knol. Comparison of fermentation profiles between lupine and soybean by *Aspergillus oryzae* and *Aspergillus sojae* in solid-state culture systems[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998(40): 3376-3380.

[15] 陈中平, 周安国, 王之王, 等. 米曲霉发酵豆粕营养特性的研究[J]. *营养饲料*, 2011, 48(9): 40-44.