

螺杆挤压加工对干香菇可溶氮及氨基氮影响的研究

吴克刚¹, 唐忠盛², 罗辑¹, 柴向华¹, 王胜利², 潘显宗²

(1. 广东工业大学轻工化工学院, 广东广州 510006) (2. 东莞市百味佳食品有限公司, 广东东莞 523416)

摘要: 为提高香菇可溶性含氮化合物的溶出, 采用螺杆挤压处理, 研究了筒体温度、螺杆转速、喂料速度、物料含水量以及蛋白酶解的影响。实验结果, 以 NSI、氨基态氮为主要指标辅以其他物理特性参数, 确定螺杆挤压最佳工艺参数为: 螺杆转速 25 r/min, 物料含水量 10%, 筒体温度 160 °C, 喂料速度 9 r/min, 此时 NSI 可达 73.93%。各因素对 NSI 影响次序为: 螺杆转速 > 物料含水量 > 筒体温度 > 喂料速度。进一步采用胰蛋白酶酶解可使 NSI 及氨基态氮含量分别提高 94.94%、82.94%。

关键词: 螺杆挤压; 酶解; 氮溶指数; 氨基态氮

文章编号: 1673-9078(2012)9-1116-1119

Study on the Effect of Screw Extrusion Processing on Soluble Nitrogen and Amino Nitrogen of Dried *Lentinus Edodes*

WU Ke-Gang¹, TANG Zhong-Sheng², CHAI Xiang-Hua¹, WANG Sheng-li², PAN Xian-Zong²

(1. Faculty of Chemical Engineering and Light Industry, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

(2. Dongguan Bewaga Food Co., Ltd, Dongguan 523416, China)

Abstract: To improve the dissolution of mushrooms soluble nitrogen compounds, the screw extrusion processing was adopted and the effects of cylinder temperature, screw speed, feed rate moisture content of materials and protease hydrolysis were studied. Experimental results showed that, using NSI and amino nitrogen as the main indicators combined with other physical parameters, the optimal parameters for the screw extrusion were determined as screw speed 25 r/min, the moisture content of materials 10%, barrel temperature 160 °C and feed rate 9 r/min. under the optimum conditions, NSI value was up to 73.93%. Various factors on the NSI of the order as follows: screw speed > moisture content of materials > cylinder temperature > feed rate. Further trypsin enzyme enables the NSI and the amino nitrogen content were increased by 94.94% and 82.94%, respectively.

Key words: screw extrusion; enzymatic; NSI; amino-nitrogen

螺杆挤压加工技术是集混合、搅拌、破碎、加热、蒸煮、杀菌、膨化及成型为一体的高新技术, 是指物料经预处理(粉碎、调湿、混合等)后, 通过螺杆机械作用迫使物料通过一个专门的模具孔, 以形成一定形状和组织状态的产品^[1]。该技术的应用, 彻底改变了传统的谷物食品加工方法, 不仅减化了谷物食品的加工工艺、缩短了生产周期、降低了产品生产成本和劳动强度, 而且还丰富了谷物食品的花色品种、改善了产品的组织状态和口感、提高了产品质量, 是一种经济实用的新型加工技术^[2], 但在食用菌精深加工领域见报道的不多。本文利用螺杆挤压的高温、高压、高剪切力等作用加工处理干香菇, 研究其可溶性氮、

收稿日期: 2012-08-09

基金项目: 广东省科技计划农业攻关项目(2009B020312011); 广东省教育部分产学研结合项目(2010B090400029)

作者简介: 吴克刚(1969-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品绿色加工与储运技术

氨基态氮以及物理性质的变化, 为香菇调味品的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

干香菇: 购于农贸批发市场; 胰蛋白酶(4000 U/g): GENENCOR; 其他试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器设备

95-1 磁力搅拌器: 上海司乐仪器有限公司; 改良式凯氏定氮仪: 江都市银都玻璃仪器厂; KDC-40 低速离心机: 科大创新股份有限公司中佳分公司; SYSLG30-IV 实验双螺杆挤压机: 济南赛百诺科技开发有限公司; DXF-10A 摆摇式高速粉碎机: 广州大祥电子机械设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 氨基酸态氮的测定

采用单指示剂甲醛滴定法测定^[3]。

1.2.2 氮溶指数 (NSI) 的测定

取 5 g 挤压出并研磨混匀后的成品置于 100 mL 烧杯中, 加入一定量的水 (室温) 充分混合, 于恒温磁力搅拌器上搅拌 1 h, 然后转移至 100 mL 容量瓶中定容, 摇匀后取 10 mL 进行微量凯氏定氮测总氮含量 ($N_{总}$); 继续静置数分钟至有明显分层, 取 20 mL 上清液于离心管中, 4000 r/min 离心 10 min, 再取其上层清液 10 mL 进行微量凯氏定氮测可溶性氮的含量 ($N_{可溶}$)^[4]。计算:

$$NSI(\%) = 100N_{可溶}/N_{总}$$

1.2.3 持水性的测定

取 5 g 挤压出的成品于 500 mL 烧杯中, 加入 45 mL 水, 用磁力搅拌器搅拌 5 min。取 20 g 悬浮液于离心管中, 2500 r/min 离心 25 min, 记录未被吸收的水的质量^[5]。

$$\text{持水性}\% = 50 \times (10 - \text{析出水的质量}) / 2.0$$

1.2.4 膨化度的测定

称取一定质量的膨化产品 ($M_{样}$), 置于量筒中, 再加入已知体积的玉米粉 ($V_{玉米}$), 振动样品重复测定 3 次, 取最小值为 $V_{总}$ 的测定结果, 则样品的体积^[6]:

$$V_{样} = V_{总} - V_{玉米}$$

则容重 = $M_{样}/V_{样}$ 单位为 (g/mL)

膨化产品容重与原料干香菇粉容重之比定义为膨化度。

1.2.5 含水率的测定

按“GBT 5009.3-2010, 食品中水分的测定”测定出挤压产品中水分含量 m , 该质量与对应挤压产品质量 M 的比值为含水率。

$$\text{含水率} = \frac{m}{M} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 螺杆挤压筒体温度对香菇含氮化合物及物理特性的影响

表 1 筒体温度对香菇含氮化合物及物理特性的影响

Table 1 Effect of barrel temperature on nitrogen compounds and physical properties of *lentinus edodes*

筒体温度/°C	膨化度	持水性/%	含水率/%	氨基态氮含量/(mg/mL)	NSI/%
120	5.409	231.75	10.67	6.97	44.25
140	4.895	274.50	10.33	7.10	45.73
160	1.283	257.25	9.00	8.31	40.38

注: 干粉氨基态氮: 7.72 mg/mL。

准确调配 3 份各 500 g, 10% 含水量的干香菇粉并

搅拌均匀, 至于喂料机中, 固定喂料速度 11 r/min、主机转速 35 r/min, 在不同筒体温度条件下进行挤压加工, 其对香菇含氮化合物及物理特性的影响结果表 1。

由表 1 可以看出, 在 120~140 °C 区间时, NSI 呈增长趋势, 140~160 °C 时反而呈下降趋势。这是由于蛋白质分子受到高温、高压、高剪切力的作用, 原有的空间结构被打乱而熔融, 离开模口时, 随着压力迅速下降, 过热水急剧蒸发, 在纤维状结构中留下了多孔气泡状空间结构^[7], 有利于可溶性氮的溶解。但温度过高, 过度变性造成蛋白亚基之间的聚集, 溶解性下降且聚集后的蛋白分子减少了酶反应位点, 不利于酶的作用, 因此过高的膨化温度不利于酶解^[8]。120 °C 时氨基态氮损失多, 160 °C 时膨化度小感官差; 140 °C 下 NSI 高且持水性好, 主要是在挤压膨化过程中蛋白空间结构被破坏, 一些次级键被打开, 使蛋白与水的结合能力增强, 从而提高了持水性及溶解性。相对可溶性氮的增加, 氨基态氮的损失是可以接受的。因此, 在该实验条件下, 筒体温度选择 140 °C 为宜, 此时 NSI 达 45.73%。

2.2 螺杆转速对香菇含氮化合物及物理特性的影响

筒体温度 140 °C, 研究不同螺杆转速时挤压加工对香菇含氮化合物及物理特性的影响, 结果见表 2。

表 2 螺杆转速对香菇含氮化合物及物理特性的影响

Table 2 Effect of screw speed on nitrogen compounds and physical properties of *lentinus edodes*

螺杆转速/(r/min)	膨化度	持水性/%	含水率/%	氨基态氮含量/(mg/mL)	NSI/%
25	6.745	250.25	14.33	6.55	48.79
35	3.124	272.50	11.67	7.27	42.87
45	2.783	257.50	12.67	7.85	38.75

注: 干粉氨基态氮: 9.29 mg/mL。

由表 2 可知, 随螺杆转速的提高, NSI 逐渐降低, 且 25~35 r/min 时降幅较大, 再者 25 r/min 时其膨化度最大, 膨化效果好, 而其他物理特性如持水性、含水率等对其影响不显著。而螺杆转速与物料在挤压腔的滞留时间有关, 转速过快, 物料在挤压腔停留太短, 剪切作用强, 机械能转化为热能越大^[9], 蛋白更易变性不再降解使 NSI 下降。转速过慢, 剪切作用弱, 热能转化少, 蛋白结构未完全展开反应位点暴露的少不利于酶解, 同时持水性下降; 再者转速过慢物料滞留时间相对过长, 易使物料发生不利于物料产出的糊化、焦化等现象。综合考虑螺杆转速选择 25 r/min, 此时 NSI 达 48.79%。

2.3 喂料速度对香菇含氮化合物及物理特性的影响

筒体温度 140 °C，螺杆转速 25 r/min，研究不同喂料速度时挤压加工对香菇含氮化合物及物理特性的影响，结果见表 3。

表 3 喂料速度对香菇含氮化合物及物理特性的影响

Table 3 Effect of feed rate on nitrogen compounds and physical properties of *lentinus edodes*

喂料速度 /(r/min)	膨化 度	持水 性/%	含水 率/%	氨基态氮含 量/(mg/mL)	NSI /%
9	1.435	278	10.84	7.16	60.92
11	4.555	254	14.37	7.93	55.77
13	5.332	271	17.80	7.93	53.62
15	9.332	263	16.46	8.05	52.84

注：干粉氨基态氮：8.74 mg/mL。

由表 3 可知，膨化度、氨基态氮含量、含水率均随喂料速度的增加而提高，而 NSI 呈相反趋势，其中尤以 9 r/min 时 NSI 最高，此时持水性也最好。这可能是喂料速度在较高情况下，物料在机筒内受到剪切与摩擦力小，维持蛋白质高级结构的氢键、范德华力、离子键、二硫键遭到破坏程度低，不能形成均匀纤维状结构，从而导致 NSI 降低；反之，在喂料速度较小情况下，机筒内填充度较小，蛋白质过度变性也易导致 NSI 不高^[10]，甚至出现堵料和电机运转异常故障。考虑上述因素，采取 9 r/min 较好，即减少了机械耗能，也达到了可溶性含氮化合物溶出的目的，此时 NSI 达 60.92%。

2.4 物料含水量对香菇含氮化合物及物理特性的影响

筒体温度 140 °C，螺杆转速 25 r/min，喂料速度 9 r/min，研究不同物料含水量时挤压加工对香菇含氮化合物及物理特性的影响，结果见表 4。

表 4 物料含水量对香菇含氮化合物及物理特性的影响

Table 4 Effect of the moisture content of materials on nitrogen compounds and physical properties of *lentinus edodes*

物料含 水量/%	膨化 度	持水 性/%	含水 率/%	氨基态氮含 量/(mg/mL)	NSI /%
0	1.041	268	6.33	6.28	51.93
5	1.167	240	4.00	5.67	51.47
10	1.327	200	2.84	5.71	52.80
15	1.365	250	7.41	5.84	48.23
20	1.381	213	8.55	5.92	55.99

注：干粉氨基态氮：7.70 mg/mL。

在膨化机性能一定的条件下，物料的水分含量就是影响膨化效果的一个重要因素^[11]。从表 4 可以看出，当水分含量在 10% 时，含水率最低，NSI 较高，利于后续处理，降低能耗。物料含水量的增加，导致部分

水穿透至蛋白质结构的空洞表面导致蛋白质溶胀，提高了多肽链的移动性和柔性，当加热时这种柔性结构更易变性和水解，但水分过高，变性温度快速下降^[12]，当水分高于某一值时，一方面蛋白质变性程度加剧，变性的蛋白质不再降解；另一方面由于物料含水量过高，物料的湿润程度大，形变性和输送特性增强，受到机筒内部的压力、摩擦力和剪切力降低，在机筒内滞留时间缩短，模头压力减少，以至于纤维物料分子裂解程度降低，而不利于后续酶解。过高的含水量易使含有多糖的香菇粉粘团结块，不利于物料的传输与受热，影响其挤压膨化。故考虑采用 10% 含水量，此时 NSI 达 52.80%。

2.5 螺杆挤压工艺条件优化

在单因素的基础上，以 NSI 为考察指标，以物料含水量、筒体温度、螺杆转速和喂料速度 4 因素进行 L₉(3⁴) 正交实验，因素水平见表 5，实验结果及分析表 6。

表 5 正交实验因素水平表

Table 5 Orthogonal factor levels table

水平	因素			
	A (物料含 水量/%)	B (筒体温 度/°C)	C [螺杆转速 /(r/min)]	D [喂料速度 /(r/min)]
1	10	120	25	9
2	15	140	35	11
3	20	160	45	13

表 6 正交试验分析

Table 6 Orthogonal test analysis

试验号	A	B	C	D	NSI/%
1	10	120	25	9	62.17
2	10	140	35	11	56.24
3	10	160	45	13	55.42
4	15	120	35	13	43.97
5	15	140	45	9	52.86
6	15	160	25	11	57.98
7	20	120	45	11	49.39
8	20	140	25	13	59.71
9	20	160	35	9	59.10
k ₁	57.943	51.843	59.953	58.043	
k ₂	51.603	56.270	53.103	54.537	
k ₃	56.067	57.500	52.557	53.033	
R	6.340	5.657	7.396	5.010	

由极差分析可知，各因素对 NSI 的影响次序为：螺杆转速 > 物料含水量 > 筒体温度 > 喂料速度。其最佳工艺组合为 A₁B₃C₁D₁，即螺杆转速 25 r/min，物料含水量 10%，筒体温度 160 °C，喂料速度 9 r/min，经

验证此条件挤压处理的香菇 NSI 为 73.93%。

2.6 螺杆挤压与酶法结合提取香菇可溶性含氮化合物

在螺杆挤压的高温、高压、高剪切等作用能有效改变香菇结构的基础上,通过胰蛋白酶酶解使疏松的蛋白结构中暴露在表面的基团更易被蛋白酶水解,释放出可溶性含氮化合物的同时,也使得氨基态氮得以溶出。结果如表 7 所示。

表 7 不同处理对香菇含氮化合物提取的影响

Table 8 Effect of different treatment on nitrogen compounds of

lentinus edodes extraction

处理条件	可溶性氮 含量/(mg/g)	NSI/%	氨基态氮 含量/(mg/mL)
螺杆	6.9384	32.23	1.512
螺杆后酶解	13.5266	62.83	2.766

注:原料总氮:21.5286 mg/g。

实验结果可见,先螺杆挤压再蛋白酶酶解使得 NSI 及氨基态氮含量较只螺杆挤压不蛋白酶酶解分别提高了 94.94%、82.94%。

3 结论

通过调整双螺杆挤压过程参数来研究挤压加工对香菇物理性质以及含氮化合物的影响。双螺杆挤压机预处理干香菇粉的最佳工艺参数为螺杆转速 25 r/min,物料含水量 10%,筒体温度 160 °C,喂料速度 9 r/min,此时 NSI 可高达 73.93%。在双螺杆挤压机预处理干香菇粉的过程中,各因素对 NSI 影响大小的排列顺序为:螺杆转速>物料含水量>筒体温度>喂料速度,氨基态氮在各因素条件下均有所损失。进一步结合胰蛋白酶酶解,NSI 及氨基态氮含量

可分别提高 94.94%、82.94%。

参考文献

- [1] 朱国洪,彭超英,尹国.食品挤压技术及最新研究进展[J].食品与发酵工业,2000,4:59-62
- [2] 张欣,徐慧.挤压技术在谷类食品加工中的应用[J].河北农业科学,2008,12(6):90-91,111
- [3] 黄晓钰,刘邻渭.食品化学综合实验[M].中国农业大学出版社,2002,7:130-131
- [4] 刘天一,迟玉杰.大豆分离蛋白的磷酸化改性及功能性质的研究[J].食品与发酵工业,2004,30(6):118-124
- [5] 沈宁,杨光,吴景,等.双螺杆挤压对大豆蛋白质的影响[J].食品工业科技,2007,7:69-71
- [6] 刘剑.挤压膨化猪血蛋白品质分析[J].陕西农业科学, 2008, 2:87-91
- [7] 魏益民.挤压膨化工艺参数对产品质量影响概述[J].中国粮油学报,2005,20(2):33-36
- [8] 张智宇,朱秀清,任为聪,等.挤压膨化对胰蛋白酶酶解高变性豆粕效果的影响[J].中国粮油学报,2011,26(3): 20-29
- [9] 崔巍,吴德胜,梁浩,等.豆粕膨化加工的试验研究[J].粮油加工,2009,6:1-3
- [10] 武建堂,左进华,董海洲.双螺杆挤压对花生蛋白体外消化率影响研究[J].粮食与油脂,2008,10:25-28
- [11] 李文香,王本翠,董开玉,等.香菇高蛋白膨化食品加工工艺的研究[J].莱阳农学院学报,1999,16(2):107-110
- [12] Fujita Y, Y Noda. The effect of hydration on the thermal stability of ovalbumin as measured by means of differential scanning calorimetry [J]. Bulletin of the Chemical Society of Japan, 1981, 54: 3233-3234