

喷雾干燥法生产富含 γ -氨基丁酸的麦胚营养粉

白青云, 翟学折

(淮阴工学院生命科学与化学工程学院, 江苏淮安 223003)

摘要: 采用喷雾干燥法对富含 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, 简称 GABA)的麦胚孵育液进行干燥熟化, 研究喷雾干燥进料速度、进风温度和喷雾压力对麦胚粉冲调性能的影响。运用 Mixture-D-Optimal 混料设计和模糊综合评价法对麦胚粉、黄豆粉、燕麦粉、白砂糖混合, 研究麦胚营养粉的最佳配方。结果表明, 在喷雾压力 0.7 MPa, 进料速度 0.9 L/h, 进风温度 130 °C 时, 麦胚粉的溶解时间最短, 为 38 s。产品配方试验得出, 麦胚营养粉的最优配方为麦胚含量 42%, 黄豆粉含量 28%, 燕麦粉含量 23%, 白糖含量 7%, 此时产品的感官评分为 3.83 分。模糊综合评价表明, 以此配方生产的麦胚粉达到“较喜欢”级别。产品色泽浅黄, 有浓郁的豆香和麦香味, 其中 GABA 含量为 1.02%。

关键词: 麦胚粉; γ -氨基丁酸; 喷雾干燥; 配方

文章编号: 1673-9078(2013)4-775-779

Preparation of γ -Aminobutyric Acid-Enriched Wheat Germ Powder by Spray Drying Method

BAI Qing-yun, ZHAI Xue-zhe

(School of Life Science and Chemical Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223003, China)

Abstract: γ -Aminobutyric acid (GABA) enriched wheat germ incubation solution was dried and riped using spray drying method. The effects of feed rate, inlet air temperature and spray pressure during spray drying on dissolvability of wheat germ powder were researched. Using wheat germ power, soybean flour, oat flour and white granulated sugar as main raw materials, the formula of wheat germ nutritive power were investigated by Mixture-D-Optimal design and fuzzy mathematic comprehensive evaluation. The results showed that the optimum parameters of spray drying were spray pressure 0.7 MPa, the feed rate 0.9 L/h and the inlet air temperature 130 °C, under the optimized conditions, dissolution time of wheat germ powder was shortest (38 s). The optimal formula of wheat germ nutritive powder were wheat germ power 42%, soybean flour 28%, oat flour 23% and sugar 7%, with which the sensory evaluation score was 3.83. Fuzzy comprehensive evaluation indicted this nutritive power reached to “prefer” level. The products showed light yellow color and fragrant flavor with GABA content being of 1.02%.

Key words: wheat germ powder; γ -aminobutyric acid; spray drying; formula

麦胚占麦粒总重的 2~3%, 在制粉中常将其去除。麦胚中含有丰富的优质蛋白、油脂、谷胱甘肽、黄酮等营养物质^[1]。现代研究证明, 麦胚具有美容养颜、延缓衰老、防癌抗癌、提高生育、改善肝功、增强体力、保护大脑等功效^[2]。麦胚经孵育后通过自身蛋白酶可将蛋白质水解成肽和氨基酸, 通过生物调控技术可以富集 γ -氨基丁酸(GABA)^[3]。GABA 为哺乳动物中枢神经系统中一种主要的抑制性神经递质, 具有抗心律失常、降血压、利尿、镇静神经、改善失眠以及肾肝功能活化等作用^[4]。

喷雾干燥法是一种较为实用的生产粉质类食品的

加工手段, 由于喷雾干燥法得到的颗粒均匀, 对原料浆液干燥彻底, 对原料成分保存完好, 目前被广泛应用于食品工业中^[5]。近年来, 我国膳食模式逐步向多元化方向发展, 食物结构和食物消费向营养、健康、快速、便捷的方向发展。针对近年来人们工作压力增大的现象, 特别是年轻人经常出现烦躁不安的情绪, 而麦胚中的 GABA 具有养心安神, 缓解脑部压力的作用, 因此在现代社会有极大的发展前景。

本研究以富含 GABA 的麦胚孵育液为原料, 通过喷雾干燥方法得到麦胚粉, 运用 Mixture-D-Optimal 混料设计, 对麦胚粉、黄豆粉、燕麦粉和白砂糖进行复合, 研制富含 GABA 的麦胚营养粉, 为新产品开发提供理论依据。

1 材料与方法

收稿日期: 2012-11-14

项目来源: 江苏省淮安市科技支撑计划(农业)(SN1077)

作者简介: 白青云(1973-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为农产品加工与贮藏

1.1 材料与试剂

麦胚, 淮安新丰面粉有限公司赠送(保藏于 -20°C); 豆粉、麦片、白砂糖等购于淮安市乐天玛特超市; GABA 标品和磷酸吡哆醛(PLP)试剂购自美国 Sigma 化学品公司, 其他生化试剂均购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器设备

HH-6型数显恒温水浴锅, 常州国华电器有限公司; Labplant SD-Basic 喷雾干燥仪, 英国 Labplant 公司; TDL-40B型离心机, 上海安亭仪器厂; 722型可见分光光度计, 上海精密科学仪器有限公司; PHSJ-5型pH计, 上海雷磁电化学分析仪器公司。

1.3 试验方法

1.3.1 麦胚营养粉制作工艺流程

麦胚繁育→稀释→打浆→过滤→喷雾干燥→检验→配料混合→成品

1.3.2 操作要点

1.3.2.1 麦胚繁育工艺

参照文献^[1], 称取 50 g 麦胚, 采用水浴保温繁育的方式对麦胚进行 GABA 富集, 得出富含 GABA 的麦胚繁育液, 此时 GABA 含量为 36.78 mg/g, 比原料提高了 5.51 倍。

1.3.2.2 稀释打浆

将麦胚繁育液加水至 1 L, 用打浆机打磨后用纱布过滤得到富含 GABA 的麦胚滤液。

1.3.2.3 喷雾干燥

将麦胚滤液送入喷雾干燥机进行喷雾干燥, 各参数通过试验确定。

1.3.2.4 检验

以胚芽粉的溶解时间作为衡量冲调性能的标准, 冲调时间越短, 冲调性能越好。

1.3.2.5 配料混合

对麦胚粉、黄豆粉、燕麦粉和白砂糖进行复合, 采用感官评价的方法, 对营养粉的色泽、香气、滋味、口感、组织形态进行评价, 得出最优组合。

1.4 实验设计

1.4.1 喷雾干燥工艺参数对麦胚粉冲调性的影响

以麦胚粉的冲调时间为测定指标, 对影响喷雾干燥效果的喷雾压力、进料速度和进风温度进行单因素实验, 喷雾压力为 0.2~1.0 MPa, 进料速度为 0.4~1.2 L/h, 进风温度为 100~180 $^{\circ}\text{C}$, 通过方差分析, 利用 F 检验法确定三因素对实验结果的影响程度。以单因素实验结果为自变量, 通过正交试验法优化喷雾干燥的工艺参数。

1.4.2 麦胚粉喷雾干燥前后 GABA 含量对比

确定最优喷雾干燥参数组合后, 将在此条件下干燥后的麦胚粉与同等前处理经 60 $^{\circ}\text{C}$ 恒温烘箱干燥的麦胚粉进行 GABA 含量对比, 研究喷雾干燥对麦胚 GABA 含量变化的影响。

1.4.3 麦胚营养粉配方设计

运用 Design Expert 软件中的 Mixture-D-Optimal 混合设计, 以感官评分为响应值(Y), 对麦胚粉、黄豆粉、燕麦粉和白砂糖四因素进行复配, 随机组合, 实验重复 3 次。为突显此次研究的目的, 麦胚应占主要部分。另外, 其他组分占比例大于零。设定麦胚粉范围 0.3~0.5, 豆粉 0.1~0.3, 燕麦粉 0.1~0.3, 白糖粉 0.05~0.2, 总量为 1.0。

1.4.4 产品感官评定

根据麦胚营养粉的特点, 采用模糊数学综合评价法对产品进行评价, 确定评语论域为 $V=1, 2, 3, 4, 5$, 对应“喜欢”-5, “较喜欢”-4, “可接受”-3, “勉强接受”-2, “无法接受”-1。选择色泽、香气、滋味、口感和组织形态共 5 个最能反应其质量的评价指标, 由经过训练的 12 人组成的评价小组进行评分。设麦胚粉的评定领域 $U=(\text{色泽、香气、滋味、口感、组织形态})$, 规定对应的权重值为 $X=(0.15, 0.10, 0.30, 0.25, 0.20)$ ^[6]。

1.5 测定指标与方法

1.5.1 理化指标

蛋白质含量: 采用凯氏定氮法测定^[7]; 脂肪含量: 采用索氏抽提法测定^[7]; 总糖含量: 蒽酮比色法测定^[7]; GABA 含量测定: 采用分光光度计法^[8]; 大肠菌群、细菌总数及致病菌的检测参照国标 GB/T 4789.21。

1.5.2 冲调性

参照郭卫芸等的方法^[9], 量取 50~55 $^{\circ}\text{C}$ 的蒸馏水 100 mL 放入 200 mL 量筒中, 称取 13.6 g 麦胚粉, 将其迅速倒入烧杯的同时启动秒表开始记时, 麦胚粉到达底部后, 利用玻璃棒轻轻搅动, 至其全部溶解, 整个过程的所用时间, 为麦胚粉冲调时间。

2 结果与分析

2.1 麦胚繁育液喷雾干燥参数优化

2.1.1 喷雾压力对麦胚粉冲调性的影响

试验发现, 当喷雾压力在 0.4 MPa 及以下时, 料液经雾化后所得液滴颗粒过大, 且不均匀, 产品不能被有效干燥。随着压力的进一步升高, 料液雾化效果逐渐提升, 产品颗粒逐渐变细。测定各个处理所得粉料的溶解时间, 结果见图 1。

由图 1 可知, 冲调时间在 0.6 MPa 时为最低值, 其后又呈上升的趋势。这可能是由于当压力低于 0.4 MPa

时, 由于干燥效果较差, 粉料内部含水量高, 易被溶解。随着压力的提升, 液体颗粒被雾化的效果逐渐提升, 并在压力达到0.6 MPa时, 获得的麦胚粉颗粒分散性最好, 颗粒易于溶解。当压力大于0.6 MPa后, 冲调时间呈现逐渐上升的趋势, 这是因为随着压力的提升, 雾化所得雾滴颗粒粒径进一步减小, 致使干燥后所得粉质颗粒过小, 从而降低了粉料的分散性及冲调性^[10]。所以当喷雾压力为0.6 MPa时, 麦胚粉的冲调性能最佳, 冲调时间为49 s。

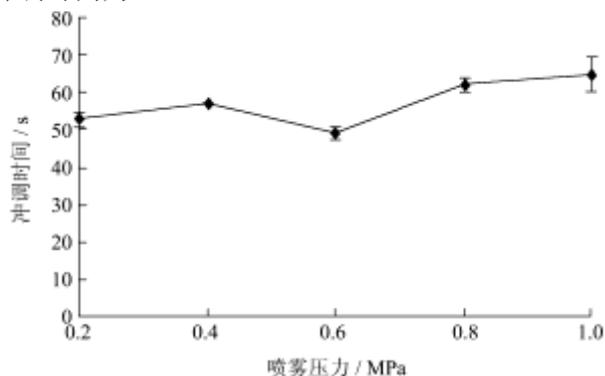


图1 喷雾压力对麦胚粉冲调性能的影响

Fig.1 Effect of spray pressure on dissolvability of wheat germ powder

2.1.2 进料速度对麦胚粉冲调性能的影响

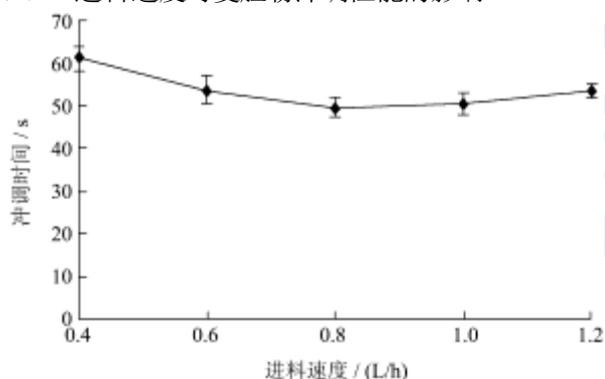


图2 进料速度对麦胚粉冲调性能的影响

Fig.2 Effect of feed rate on dissolvability of wheat germ powder

图2表明, 当进料速度低于0.6 L/h时, 所得物料的冲调时间长, 这是因为物料流量太低导致单位面积的物料受热过度, 物料干燥较彻底, 从而分散性和冲调性下降, 另外部分麦胚易焦化。当进料速度高于1 L/h时, 物料不易被干燥, 容易结块, 从而冲调时间也变长。由此可见, 在一定喷雾压力和进风温度条件下, 最适进料速度为0.8 L/h, 此时麦胚粉的冲调时间为49.7 s。

2.1.3 进风温度对麦胚粉冲调性能的影响

测定不同进风温度下所得粉料的冲调时间, 结果见图3。随着进风温度的提高, 粉质冲调时间呈先下降后上升的趋势, 进风温度对粉质的冲调性影响显著。

进风温度低于120 °C时, 所得粉质易粘结, 旋风分离器内壁粘挂物料严重; 当温度大于120 °C, 粉质干燥效果较好; 当进风温度达到180 °C时, 物料颜色发黄, 表明已有部分焦化现象发生。研究表明, 进风温度影响干燥速度和干燥能力, 同时也影响产品的颗粒质构、表面吸湿性等^[5]。由此可知, 在试验所设的其他参数一定的条件下, 当进风温度为140 °C时, 干燥所得颗粒具有较好的分散性及吸湿性, 冲调时间为52.3 s。

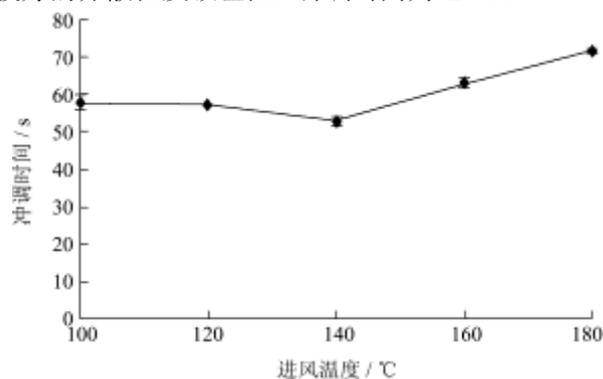


图3 进风温度对麦胚粉冲调性能的影响

Fig.3 Effect of inlet air temperature on dissolvability of wheat germ powder

2.1.4 正交试验

经方差分析, 喷雾压力、进料速度、进风温度均对麦胚粉的冲调性能有显著影响。根据上述单因素试验, 选定喷雾压力(A)、进风温度(B)、进风温度(C)为主要因素进行三因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交设计试验, 以冲调时间为优化依据, 选择最佳喷雾干燥工艺参数, 试验数据和分析结果见表1。

由表1可知, 以冲调时间为优化指标(数值越小, 表示待测样品的冲调性能越好)时, 各因素对结果的影响次序为: A>C>B, 最适工艺参数为 $A_3B_3C_1$, 因 R_A, R_B, R_C 均大于 R_D , 故该试验结果可靠。即当喷雾压力为0.7 MPa、进料速度0.9 L/h、进风温度130 °C时, 所得产品的冲调时间最短, 冲调性能最好。

2.1.5 验证试验

取原麦胚200 g, 按最优的喷雾干燥工艺流程进行前期操作, 设置喷雾干燥参数分别为: 喷雾压力0.7 MPa、进料速度0.9 L/h、进风温度130 °C, 获得干燥产品后, 分3次测定该产品的冲调时间, 求平均值为38s, 低于正交试验方案中的最低值, 再次验证正交优化试验结果可靠。

2.2 喷雾干燥对麦胚GABA含量变化的影响

GABA是一种非蛋白质组成的天然氨基酸, 喷雾干燥过程主要影响参数为进风温度。而GABA的分解点为202 °C, 本实验最高温度为180 °C, 因此喷雾干燥对GABA的含量几乎无影响, 实验结果见图4。由图4可见,

喷雾干燥后GABA的含量由原料的27.24 mg/g下降为26.12 mg/g, 这可能是由于喷雾干燥过程中少量GABA受热分解, 导致含量降低。

表1 喷雾干燥正交试验结果L₉(3⁴)

Table 1 The results of spray drying orthogonal tests

实验号	A(喷雾压力/MPa)	B[进料速度/(L/h)]	C(进风温度/°C)	误差列	冲调时间/s
1	1(0.5)	1(0.7)	1(130)	1	56
2	1	2(0.8)	2(140)	2	62
3	1	3(0.9)	3(140)	3	48
4	2(0.6)	1	2	3	59
5	2	2	3	1	55
6	2	3	1	2	50
7	3(0.7)	1	3	2	48
8	3	2	1	3	42
9	3	3	2	1	47
K ₁	166	163	148	158	
K ₂	164	159	168	160	
K ₃	137	145	151	149	
k ₁	55.3	54.3	49.3	52.7	
k ₂	54.7	53.3	56	53.3	
k ₃	45.7	48.3	50.3	49.7	
R	29	18	20	11	
因素主次	A>C>B				
优方案	A ₃ B ₃ C ₁				

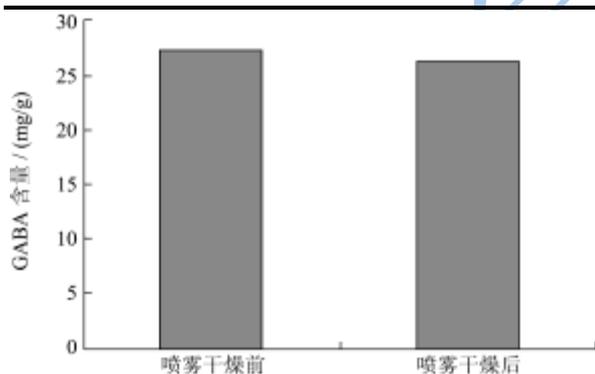


图4 喷雾干燥前后GABA含量变化

Fig.4 The changes of GABA content before and after spray drying

2.3 麦胚营养粉最优配方确定

通过 Mixture-D-Optimal 混合设计得到麦胚粉(A)、黄豆粉(B)、燕麦粉(C)和白砂糖(D)四因素复配得到的营养粉的感官评分值(Y), 见表 2。利用 Design Expert 软件对表 2 中数据采用 Scheffe 不完全三次多项式拟合, 得到感官评定预测值对麦胚粉(A)、黄豆粉(B)、燕麦粉(C)和白砂糖(D)的不完全三次多项式模型:

$$Y = -182.2A - 363.5B - 584.3C - 319.4D + 1040.5AB + 14$$

$$87.2AC + 844.9AD + 2166.9BC + 962.7BD + 2049.8CD - 3777.3ABC - 886.2ABD - 2991.5ACD - 3039.0BCD$$

表2 麦胚营养粉配方试验组合评分结果

Table 2 Experimental design of formula and sensory valuation of

wheat germ nutritive powder

序号	A	B	C	D	感官评分
1	0.40	0.30	0.10	0.20	2.83
2	0.50	0.30	0.15	0.05	2.59
3	0.39	0.30	0.20	0.12	3.13
4	0.50	0.10	0.20	0.20	2.95
5	0.50	0.12	0.30	0.08	3.25
6	0.50	0.12	0.30	0.08	3.27
7	0.30	0.30	0.20	0.20	2.56
8	0.31	0.19	0.30	0.20	2.92
9	0.42	0.25	0.29	0.05	3.15
10	0.41	0.18	0.25	0.17	3.54
11	0.30	0.30	0.30	0.10	3.03
12	0.34	0.25	0.25	0.15	3.23
13	0.30	0.30	0.30	0.10	3.02
14	0.50	0.30	0.15	0.05	2.57
15	0.50	0.22	0.22	0.06	3.46
16	0.50	0.10	0.20	0.20	2.97
17	0.38	0.24	0.18	0.20	3.52
18	0.50	0.17	0.17	0.15	2.36
19	0.50	0.26	0.10	0.14	2.83
20	0.31	0.19	0.30	0.20	2.82

注: A: 麦胚粉; B: 黄豆粉; C: 燕麦粉; D: 白砂糖。

对模型进行方差分析表明, 麦胚营养粉感官评定预测模型达到显著水平($P < 0.0001$), 模型相关系数达到 0.9972, 决定系数为 0.9913, 说明该模型拟合程度较好, 实验误差小, 可以用该模型预测和分析富含 GABA 的麦胚营养粉的感官评定值。

经 Mixture-D-optimal 软件分析后, 得到产品中麦胚粉含量为 42%、黄豆粉 28%、燕麦粉 23%、白砂糖 7% 添加, 得到感官评定最大预测值为 3.83 分。验证性试验结果表明, 以此配方生产的麦胚营养粉感官质量最好。

2.4 模糊综合评价

由 12 名经训练的评判员 (K=12, 男女各 6 名) 对得分最高的配方进行各项指标的感官评定, 评分结果见表 3。

由专家级品评人员确定模糊权向量 $X = (0.15, 0.10, 0.30, 0.25, 0.20)$ 。

则品评人员对麦胚粉的模糊综合评判结果:

$$B = X \cdot R = (0.179, 0.558, 0.225, 0.036, 0)$$

表3 评分统计结果

Table 3 Statistical results of evaluation grade

指标	评分等级				
	喜欢	较喜欢	可接受	勉强接受	无法接受
色泽	3	4	5	0	0
香气	1	8	3	0	0
滋味	3	7	2	0	0
口感	2	8	1	1	0
组织形态	1	6	4	1	0

j 所有单因素评判组成评判矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} 0.25 & 0.33 & 0.42 & 0 & 0 \\ 0.08 & 0.67 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.58 & 0.17 & 0 & 0 \\ 0.17 & 0.67 & 0.08 & 0.08 & 0 \\ 0.08 & 0.5 & 0.33 & 0.08 & 0 \end{pmatrix}$$

评判结果表明:“喜欢”这种营养米粉的比例为17.9%，“较喜欢”的比例为55.8%，“可接受”的比例为22.5%，“勉强接受”的比例为3.6%，“无法接受”的比例为0%。按最大隶属原则，以此配方生产的麦胚营养粉达到“较喜欢”级别。

2.5 含GABA麦胚营养粉品质分析

通过研究，得出富含GABA的麦胚营养粉。干粉颜色呈浅黄色，有浓郁的豆香和麦香味，冲调后组织均匀一致，无结块、口感细腻，微甜。测得麦胚营养粉中蛋白质含量为34.07%，脂肪含量4.68%，总糖含量52.27%，GABA含量为1.02%。菌落综述和大肠杆菌均符合国标要求，致病菌未检出。

3 结论

研究了喷雾干燥参数对麦胚粉冲调性的影响，得出麦胚孵育液最优的喷雾干燥条件为喷雾压力 0.7 MPa，进料速度0.9 L/h，进风温度 130 °C时，麦胚粉

的溶解时间最短，为38s。利用 Mixture-D-Optimal 混合设计和模糊综合评价法研究了麦胚营养粉的最佳配方，得出麦胚粉含量42%，黄豆粉含量28%，燕麦粉含量23%，白糖含量7%配制的产品感官评分值最高，为3.83分。模糊综合评价表明，以此配方生产的麦胚营养粉达到“较喜欢”级别。产品色泽浅黄，有浓郁的豆香和麦香味，其中GABA含量为1.02%。

参考文献

- [1] 梁丽琴,扶庆权,冯丽青,等.脱脂麦胚蛋白的分离制备[J].现代食品科技,2006,22(2):120-123
- [2] 吴素萍.小麦胚芽中生物活性物质的研究现状[J].食品工业科技,2009,30(1):348-51
- [3] 闻秀梅,纪雅慧,杨庭,等.麦胚富集 γ -氨基丁酸的培养条件优化[J].食品工业科技,2012,33(11):201-204
- [4] 林亲录,王婧,陈海军. γ -氨基丁酸的研究进展[J].现代食品科技,2008,24(5):496-500
- [5] 胡晖,刘成梅,刘伟.麦胚蛋白提取液喷雾干燥工艺的研究[J].粮食与食品工业,2006,6:22-24
- [6] 李冰冰.富含GABA发芽糙米糊化与挤压膨化特性研究[D].南京,南京农业大学,2007
- [7] 李合生主编.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000
- [8] BAI Q, CHAIM, GU Z, et al. Effects of components in culture medium on glutamate decarboxylase activity and γ -aminobutyric acid accumulation in foxtail millet (*Setaria italica* L.) during germination [J]. Food chemistry, 2009, 116: 152-157
- [9] 郭卫芸,张彦岭,曹琼.喷雾干燥法生产麦胚粉工艺研究[J].广东化工,2011,38(4):72-73
- [10] 华家才,尤玉如,钱锋.婴幼儿配方奶粉生产工艺关键技术对溶解冲调性的影响[J].中国乳品工业,2007,35(10):22-25