

超滤膜处理高浓酵母废水特性的研究

李友明¹, 葛广德¹, 胡松青², 侯轶^{1,2}

(1. 华南理工大学制浆造纸国家重点实验室, 广东广州 510640)

(2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 本文采用超滤膜分离法处理高浓酵母废水, 考察探究了废水中有机物成分的变化及对废水水质特征的影响。研究结果表明, 废水中有机物成分复杂, 主要包括酚类、醇类、酮类和脂类等, 其中相对含量大于 5.00% 的有机物有 3,4-二甲氧基苯酚、苯乙醇、3,4,5-三甲氧基苯酚、苯酚、2,5-二甲氧基-1,4-对苯二酚和邻苯二甲酸二戊酯, 总和占到有机物含量的 69.81%, 同时含量最高的酚类化合物占 58.44%。另外, 超滤膜能够有效截留酵母废水中的大量有机物, 如苯酚、苯乙醇, 3,4-二甲氧基苯酚和 3,4,5-三甲氧基苯酚等, 回收品质良好的焦糖色素, 提高酵母废水资源化利用率, 使得超滤后废水中有机物种类和含量大大减少, 废水的 COD_{Cr} 总量和色度大幅度降低, 可生化性提高, 各项水质指标得到优化, 为高浓酵母废水的有效处理提供了新的技术路线。

关键词: 酵母废水; 超滤分离; 焦糖色素; 透析液

文章编号: 1673-9078(2018)03-108-112

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.03.016

Study on the Characteristics of High-concentration Yeast Wastewater Treated by Ultrafiltration Membrane

LI You-ming¹, GE Guang-de¹, HU Song-qing², HOU Yi^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Pulp and Papermaking, South China University of Technology Guangzhou 510640, China)

(2.College of Food Science and Engineering, South China University of Technology Guangzhou 510640, China)

Abstract: In this paper, high-concentration yeast wastewater was treated by ultrafiltration membrane separation method, and the changes of organic compounds in wastewater and its effects on the water quality characteristics were investigated. The results showed that the organic compounds in the wastewater were complex, mainly including phenols, alcohols, ketones, liquids and so on. The main organic compounds with relative contents of more than 5.00% were 3,4-dimethoxyphenol, phenyl ethanol, 3,4,5-trimethoxyphenol, phenol, 2,5-dimethoxy-1,4-hydroquinone and diamyl phthalate accounting for 69.81% of total organic matter content, while the highest content of phenolic compounds accounted for 58.44%. In addition, ultrafiltration membrane could effectively remove a lot of organic compounds in yeast wastewater from yeast wastewater, such as phenol, phenyl alcohol, 3,4-dimethoxyphenol and 3,4,5-trimethoxyphenol. And some caramel pigments can be recycled. Hence, by using membrane ultrafiltration, the utilization and biodegradability of yeast wastewater can be significantly improved. This research provided a new way for the efficient treatment of high-concentration yeast wastewater.

Key words: yeast wastewater; ultrafiltration separation; caramel color; dialysate

我国酵母工业主要是利用废糖蜜(甜菜糖蜜和甘蔗糖蜜)作为酵母的生长碳源, 工业上一般以蔗糖、葡萄糖或其它淀粉糖为原料, 并以硫酸铵、氯化钠、硫酸镁和磷酸铵等作营养盐生产酵母。由于酵母不能完全利用废糖蜜中的有机物质, 剩余的有机物质以及

收稿日期: 2017-06-06

基金项目: 广东省科技计划项目(2015A020215009); 国家自然科学基金项目(21476091)

作者简介: 李友明(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事制浆造纸清洁生产、造纸化学品等的研究

通讯作者: 侯轶(1973-), 女, 博士, 高级工程师, 硕士生导师, 主要从事工业废水处理工艺与设计的研究

酵母在生长代谢过程中产生的有机物都进入到废水中, 产生大量高浓度的且难以降解的酵母废水。高浓度有机物给酵母废水带来了极大的治理难度, 同时随着酵母工业的飞速发展, 酵母工业废水直接排放对环境的污染问题日益突出, 已成为制约国内酵母企业发展的瓶颈^[1]。研究表明, 酵母废水外观呈现出深褐色, 色度一般高达数万度, COD_{Cr} 高达 200000~800000 mg/L, 废水中含有大量难降解的有机物, 导致废水的可生化性能一般, 直接进入生化处理环节后, 出水 COD 和色度浓度较高难以达标排放^[2]。

国外一般实行浓淡分开方法处理酵母工业废水, 高浓度废水经蒸发浓缩后, 用作肥料和饲料, 而低浓

度废水直接进入生物处理系统,或者与处理后的城市废水以一定比例混合,用于农业灌溉,农灌法投资少、操作方便,且非常适合于干旱地区的农田灌溉^[3],但是农灌法受土地类型、施用量、容纳能力等条件限制。如果盲目滥用则会烧死植物、破坏土壤,污染地下水,甚至破坏整个生态系统。国内酵母生产企业较少实现浓淡分开,则废水直接进入生化处理阶段,由于酵母工业废水硫含量高,其中的焦糖色素等大分子物质难以被微生物彻底降解,制约了应用成本较低的厌氧/好氧生化处理该类型废水的工艺。

另外,焦糖色素是食品工业常用的一种食用色素,具有广阔的应用市场和较高的经济价值。不同的食品需要添加不同特性的焦糖色素,在食品配方中,主要根据焦糖色素的色率、红色指数、pH值及胶体电荷等来选取不同的焦糖色素。其使用范围包括糖果、果汁饮料、饼干、酱油、食醋、醋酸饮料和调味酱等,更由于焦糖色素具有水溶性好、着色能力强、性质稳定及安全无毒等特点,它在食品工业中的应用更加广泛。酵母废水中焦糖色素成分含量较高,开展酵母工业废水中焦糖色素的高值化回收利用及废水有效治理,对发酵工业节能减排和可持续发展具有重要的应用价值。

因此,本文探讨采用超滤膜分离高浓酵母废水工艺的机理及可行性,回收焦糖色素,净化废水水质,为后续生化处理提供可能性,为实现酵母废水的综合利用和达标排放开辟新的途径。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 废水的来源

废水来自广东某药业有限公司,该公司以甘蔗糖蜜为原料,发酵生产药用酵母,主要产品有干酵母片、食母生片。该企业产生的酵母废水主要为生产过程中的一级分离废水和二级分离废水,混合后进入废水处理系统。本论文水样为企业产生的一级分离废水,废水呈酸性,pH值在4.5左右,COD_{Cr}浓度为19185.00 mg/L, BOD₅浓度为4796.00 mg/L, SO₄²⁻浓度为1438.00 mg/L,色度为11060.00度,现场取样后废水送到实验室后保存在0~4℃的环境下备用。

1.1.2 主要仪器设备与试剂

仪器:DR6000分光光度仪器,美国HACH公司;Trak II BOD检测仪,美国HACH公司;LRH-250BOD恒湿恒温培养箱,广东省医疗器械厂;PB-10 pH计,德国Sartorius公司;DZF-6020真空干燥箱,上海一

恒科学仪器有限公司;TDL-40B高速离心机,上海安亭科学仪器厂;RGB15/10二级膜分离试验机,山东博纳膜分离集团有限公司;3 ku中空纤维超滤膜,山东博纳膜分离集团有限公司;C-MAG HP10加热电动搅拌机,IKA 仪器设备有限公司;7890GC-5975MS分析仪,美国Agilent Technology公司。

试剂:重铬酸钾、浓硫酸、硝酸银、硫酸汞、氢氧化钠、乙酸乙酯、无水硫酸钠、氢氧化锂皆为分析纯;BOD营养液;哈希水质检测试剂和99%纯度的焦糖色素。

1.2 实验方法

1.2.1 超滤膜处理废水

取一定量的酵母废水,用高速离心机对酵母废水离心处理,转速为4000 r/min,时间为5 min,取上清液。调节二级膜分离试验机,安装截留分子量为3 ku的中空纤维超滤膜,安装完毕后,启动试验机,将上清液置于二级膜分离试验机中超滤分离。实验完成后,超滤截留的浓缩液进行高温蒸煮,真空干燥,回收焦糖色素,透析液则进行水质检测和分析,考察废水中有机物种类及含量的变化。

1.2.2 焦糖色素的提取

超滤的浓缩液首先采用高温蒸煮的方法,加热电动搅拌机中水浴100℃持续蒸煮至黏胶状,后在真空干燥箱中进行真空干燥,绝对压力为0 Pa,恒温80℃干燥24 h得到焦糖色素的干粉样品。此后对焦糖色素干粉样品的品质和超滤透过液的各项水质指标进行检测。焦糖色素的品质包括色度、纯度、耐酸度、耐盐度及黄色指数、红色指数等。

1.2.3 检测分析

废水水质分析:COD_{Cr}浓度采用重铬酸钾消解比色法^[4],BOD₅采用5日生化培养法^[5],氨氮采用水杨酸法^[6],SO₄²⁻测定采用USEPA标准方法,总磷(PO₄³⁻)、硫酸盐(SO₄²⁻)、总铁(Fe)、硅(SiO₂)测定采用哈希检测方法^[7],色度测定采用铂钴比色法^[8]。

焦糖色素品质检测:色度采用侯振建的焦糖色素色度测定新方法,测定其EBC色度^[9];纯度采用GB 1886.64所提供的方法进行测定,红色指数采用比色分析法测定^[10];黄色指数采用比色分析法测定^[11];耐酸性和耐盐性采用浊度仪法测定^[12]。

1.2.4 气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析

1.2.4.1 预处理方法

废水样品需经液-液萃取预处理步骤后,进行气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析检测,样品萃取步骤介绍如下:

(a) 分别取在 4000 r/min 的转速下离心 10 min 后的上清液水样 3 份, 每份 50 mL, 分别调节 pH 至 4、7、12。静置 30 min 后, 在分液漏斗中对三份水样分别进行萃取。

(b) 在水样中加入 50 mL 乙酸乙酯, 用力振荡 15 min, 使废水样品和萃取剂充分混合均匀、进行萃取, 静置 30 min, 使有机相和水相能够充分分离, 分离出有机相。

(c) 对分离的水相加入 50 mL 乙酸乙酯进行二次萃取, 分离有机相。

(d) 合并上述三种 pH 值水样萃取分离出的有机相, 加入无水硫酸钠脱水后进行干燥, 直到剩余约 10 mL, 待 GC-MS 分析用。

1.2.4.2 分析方法

EI 电离源, 电子轰击能量 70 eV, 离子源温度 250 °C, 全扫描方式, 扫描速度 500 u/s, 扫描范围 33~500 u; 载气: 高纯氮, 流量 1 mL/min; 色谱柱: DB-5 石英毛细管柱, 30 m×0.25 mm (内径)×0.25 mm

(膜厚); 采用 7683B 系统进样器(Agilent Technology; 美国) 自动进样, 进样口温度为 250 °C, 四级杆温度为 150 °C, 传输线温度为 280 °C, 程序升温: 初始 60 °C, 保持 2 min; 再以 10 °C/min 升至 280 °C, 保持 6 min; 溶剂延迟 4 min。分流比: 2:1; 进样量: 1 μL。检测出的有机物经 NIST 和 Wiley 标准质谱谱库进行分析, 最后采用合适积分进行筛选记录。

1.2.5 数据统计分析

检测分析所得到的数据, 整理分组后应进行数据统计分析。每项指标设 3~5 五个平行样数据, 计算数学期望, 方差及标准偏差, 确定数据的准确性及统计学意义之后, 取数学期望为实验检测最终数据。

2 结果与讨论

2.1 水质分析

酵母废水和超滤后透析液的各项水质指标如表 1 所示。

表 1 酵母废水的水质污染分析

Table 1 Analysis of the yeast wastewater quality

检测项目	废水	透析液	去除率/%	酵母工业废水污染物直接排放标准
COD/(mg/L)	19185.00±21.43	15000.00±16.87	21.80	150.00
BOD ₅ /(mg/L)	4796.00±10.12	4498.00±10.33	6.21	30.00
COD 总量*/g	19.19±0.02	12.48±0.01	35.00	0.15
pH	4.27±0.06	5.60±0.05	-	6.00~9.00
色度	11060.00±8.37	6956.70±9.41	37.10	30.00
氨氮(NH ₃ -N)/(mg/L)	150.00±5.01	142.00±3.04	5.30	10.00
总磷(PO ₄ ³⁻)/(mg/L)	6.00±0.05	6.00±0.05	0	0.80
硫酸盐(SO ₄ ²⁻)/(mg/L)	1438.00±5.85	1420.00±7.02	1.30	N/A
硅(SiO ₂)/(mg/L)	116.00±2.25	111.00±4.23	4.30	N/A

注: *以原水 1000 mL 为基准核算。

从表 1 可以看出, 比对《酵母工业水污染排放标准》中的 9 项水质控制指标, 该酵母废水具有高 COD、高色度、高 SO₄²⁻ 含量, 可生化性低 BOD₅/COD=0.25 的特征, 且外观呈棕黑色, 表明废水中存在大量的发色基团和助色基团, 导致了废水较难直接进行生化处理。分析实验数据, 超滤分离对于降低酵母废水污染负荷效果比较明显, 表观浊度及色度明显下降, 其中废液中 COD_{Cr} 浓度下降了 21.8%, 色度下降了 37.1%, COD_{Cr} 总量下降了 35.0%, 有机物负荷明显下降, BOD₅/COD_{Cr} 由 0.24 升高至 0.30, 改善了废水的可生化性能。另外, 超滤工艺每次进水体积为 1 L, 透析出水体积为 0.83 L, 其余浓缩液可经高温蒸煮等方法提取焦糖色素, 提高了酵母废水的回收利用价值, 且透析液各项水质特性得到提高, 为后续废水处理系统

中生物处理工艺段的高效运行提供了保障。

2.2 废水和透析液 GC-MS 分析

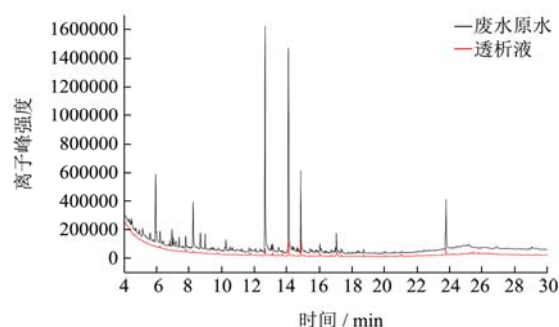


图 1 酵母原水超滤前后总离子流图

Fig.1 TIC of organic compound before and after ultrafiltration of yeast wastewater

酵母废水和透析液中有机组分的定性分析采用气相色谱/质谱 (GC/MS) 联用分析方法。废水萃取物经 GC/MS 石英毛细管柱程序升温分离, 采集总离子流图如图 1 所示。

其中有机成分较为复杂, 将主要的各色谱吸收峰质谱图经计算机检索 NIST 和 Wiley 标准质谱谱库, 并参考保留时间及相关文献资料, 人工解析确定含量, 结果列于表 2。由图 1 和 GC-MS 分析谱库可以看出, 酵母废水中有机污染物主要为酚类、醇类、酮烃和脂类等, 其中相对含量大于 5% 的有机物有 3,4-二甲氧基苯酚、苯乙醇、3,4,5-三甲氧基苯酚、苯酚、2,5 二甲氧基-1,4 对苯二酚和邻苯二甲酸二戊酯, 总和占到有机物含量的 69.80%。

同时含量最高的酚类化合物占 58.44%, 这是因为酚类物质来源于糖蜜原料甘蔗当中, 在制糖和酵母发

酵生产过程中, 经过一系列的加热化学反应, 甘蔗中的酚类物质经转化或降解后仍存在于废水中, 使得废水污染负荷增大, 颜色加深, 难于降解, 同时部分有机物 (例如苯酚) 可对自然环境造成毒害作用, 对废水中的生物处理形成抑制甚至是毒害作用, 是酵母废水难以达标处理的重要原因所在。另外, 结合水质特性分析结果和图谱中离子峰数量的减少及强度的减弱表明, 废水经超滤膜分离处理后, 总有机物含量下降了约 35%, 存在的大量有机物种类及含量得到了有效去除, 其中苯酚、苯乙醇和蝶呤-6-羧酸等被完全去除, 3,4 二甲氧基苯酚和 3,4,5 三甲氧基苯酚等物质含量大幅度减少, 降低了废水中难降解有机物的含量, 减轻了对环境及生物的危害, 提高了废水的可生化性, 利于后续净化处理工艺的进行。

表 2 酵母废水原水中 GC/MS 分析的主要有机物

Table 2 The main organic compounds detected by GC/MS in yeast wastewater

序号	时间	原液有机物	透析液有机物	分子式	原液有机物相对含量/%
1	5.956	苯酚	-	C ₆ H ₆ O	6.05
2	6.004	2,3 环氧丁烷	-	C ₄ H ₈ O	1.62
3	6.224	N-乙基脲	-	C ₃ H ₈ N ₂ O	1.52
4	6.826	4-甲基, 1,3 二氧戊烷	-	C ₄ H ₈ O ₂	0.58
5	6.960	苯甲醇	-	C ₇ H ₈ O	1.73
6	7.040	丁酸乙酯	-	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.94
7	7.191	蝶呤-6-羧酸	-	C ₇ H ₅ N ₅ O ₃	1.25
8	7.395	2-乙酰基吡咯	-	C ₆ H ₇ NO	1.07
9	7.863	邻甲氧基苯酚	-	C ₇ H ₈ O ₂	1.36
10	8.259	苯乙醇	-	C ₈ H ₁₀ O	5.09
11	8.705	吡喃酮	-	C ₆ H ₈ O ₄	1.53
12	8.995	对乙基酚	-	C ₈ H ₁₀ O	1.30
13	10.214	1-苯氧基-2-丙胺	-	C ₉ H ₁₃ NO	0.48
14	10.268	1,6-己内酰胺	-	C ₆ H ₁₁ NO	1.10
15	10.520	对苯乙酚	-	C ₆ H ₆ O ₂	0.59
16	12.674	3,4 二甲氧基苯酚	3,4 二甲氧基苯酚	C ₈ H ₁₀ O ₃	22.95
17	13.141	2-甲氧基-4-丙基苯酚	2-甲氧基-4-丙基苯酚	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	0.83
18	13.511	4-苯基-2-丁胺	-	C ₁₀ H ₁₅ N	0.66
19	14.107	2,5 二甲氧基-1,4 对苯二酚	2,5 二甲氧基-1,4 对苯二酚	C ₈ H ₁₀ O ₄	21.49
20	14.349	对甲氧基苯乙胺	-	C ₉ H ₁₄ NO	0.96
21	14.446	N-甲基己内酰胺	-	C ₇ H ₁₃ NO	1.22
22	14.870	3,4,5-三甲氧基苯酚	3,4,5-三甲氧基苯酚	C ₉ H ₁₂ O ₄	7.95
23	16.046	2,6 二甲氧基 4 丙烯基苯酚	2,6 二甲氧基 4 丙烯基苯酚	C ₉ H ₁₄ O ₃	0.89
24	17.055	愈创木酚甘油醚	愈创木酚甘油醚	C ₁₀ H ₁₄ O ₄	1.62
25	18.725	1-(3-羟基苯基)-2-(N-甲基氨基)乙醇	-	C ₉ H ₁₃ NO ₂	0.52
26	23.795	邻苯二甲酸二戊酯	邻苯二甲酸二戊酯	C ₈ H ₂₆ O ₄	6.26

2.3 焦糖色素品质分析



图2 焦糖色素干粉样品

Fig.2 The dry powder sample of caramel color

焦糖色素干粉的色度, 纯度红色指数, 黄色指数等理化性质如表3所示。

从图2和表3中可以看出, 提取出的样品焦糖色

表3 焦糖色素干粉理化性质

Table 3 Physical and chemical properties of caramel color dry powder

膜切割分子量	干粉质量 (g/L)	纯焦糖色素 (g/L)	色度/ 10^4 EBC	纯度	红色指数	黄色指数	耐盐性/NTU	耐酸性/NTU
3 ku	6.71±0.07	3.59±0.01	6.21±0.01	53.50%	3.19±0.01	5.31±0.01	39.60±3.51	94.4±6.72

3 结论

3.1 酵母废水中的有机物成分十分复杂, 其中有机污染物主要为酚类、醇类、酮类和脂类等, 相对含量大于5%的有机物有3,4-二甲氧基苯酚、苯乙醇、3,4,5-三甲氧基苯酚、苯酚、2,5-二甲氧基-1,4-对苯二酚和邻苯二甲酸二戊酯, 总和占到有机物含量的69.8%, 同时含量最高的酚类化合物占58.44%。废水中大部分有机物难于降解, 且具有发色助色基团, 使得废水污染负荷大, 可生化性低, 颜色加深, 呈黑褐色, 不利于生化工艺直接处理废水。

3.2 超滤膜分离法能够有效去除酵母废水中的大量有机物, 如苯酚、苯乙醇、3,4-二甲氧基苯酚、吡喃酮和3,4,5-三甲氧基苯酚等。超滤截留的浓缩液可资源化利用, 回收焦糖色素, 品质优良, 纯度较高, 各项感官指标符合国家标准, 具有一定的市场应用价值。同时滤后的透析液浊度和色度明显降低, 各项水质指标均得到优化, 改善了废水的可生化性, 为后续生物处理废水提供了良好的保障。

参考文献

- [1] 周旋, 刘慧. 酵母废水处理技术进展[J]. 工业水处理, 2007, 27(7): 8-11
ZHOU Xuan, LIU Hui. Advances in yeast wastewater treatment technology [J]. Industrial Water Treatment, 2007, 27(7): 8-11
- [2] 方学兴. 糖蜜酵母废水的焦糖色素提取及厌氧工艺处理[D]. 广州: 华南理工大学, 2016

颜色较深, 具有较高的色度, 干粉样品纯度为53.50%, 色度为 6.21×10^4 EBC单位, 红色指数和黄色指数为3.19和5.31, 且具有良好的耐盐性和耐酸性。样品外观为粉状颗粒, 黑褐色且具有明显的焦香味, 综合结果表明所得焦糖色素感官指标符合食品添加剂焦糖色素的国家标准GB 8817-2001的相关要求, 且废水中焦糖干粉提取率为6.71 g/L, 其中99%纯度焦糖色素提取率为3.59 g/L。

因此, 超滤膜分离高浓酵母废水, 不仅能显著降低废水的有机物污染负荷, 同时可有效截留焦糖色素等大分子物质, 得到水溶性和质量较好的焦糖色素产品, 具有一定回收价值和经济效益。

- FANG Xue-xing. The extraction of caramel color with high concentration of yeast wastewater and anaerobic treatment process [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016
- [3] 齐焯. 高浓度酵母废水生化处理技术的试验研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011
- QI Shuo. Test and research about biochemistry technique disposing high concentration yeast wastewater [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011
- [4] 孔彩云. 浅谈COD与工业废水的检测[J]. 河北企业, 2015, 9: 154
- KONG Cai-yun. Introduction to COD and industrial wastewater [J]. Hebei Enterprise, 2015, 9: 154
- [5] 李国刚, 王德龙. 生活需氧量测定方法综述[J]. 中国环境监测, 2004, 20(2): 55-57
- LI Guo-gang, WANG De-long. Review on determination methods of Biological Oxygen Demand (BOD) [J]. Environmental Monitoring in China, 2004, 20(2): 55-57
- [6] 倪林. 工业废水中氨氮测定预处理的新法探讨[J]. 干旱环境监测, 2004, 18(3): 188-190
- NI Lin. New pretreatment method of determining $\text{NH}_3\text{-N}$ in industry sewage [J]. The Drought Environment Monitoring, 2004, 18(3): 188-190
- [7] 余景芝. 酵母生产与应用手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005
- YU Jing-zhi. Handbook of yeast production and application [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2005
- [8] 钱飞跃. 工业废水色度的测定方法研究[J]. 工业水处理,

- 2011,31(9):72-75
- QIAN Fei-yue. Research on the chroma measurement of industrial wastewater [J]. Advances in Yeast Wastewater Treatment Technology, 2011, 31(9): 72-75
- [9] 侯振建,岳春,王可.焦糖色素色度测定新方法研究[J].食品科学,2002,3(11):114-115
- HOU Zhen-jian, YUE Chun, WANG Ke. Caramel color plain rate of new measuring method [J]. Food Science, 2002, 23(11): 114-115
- [10] 郑海燕.酱油中红色指数的测定方法[J].中国调味品,1999, 1:29-30
- ZHENG Hai-yan. Soy sauce in red index method [J]. China Condiment, 1999, 1: 29-30
- [11] 秦祖赠,陈永梅,栗春富.焦糖色素黄色指数的测定[J].中国调味品,2003,7:37-39
- QIN Zu-zeng, CHEN Yong-mei, LI Chun-fu. Soy sauce in yellow index method [J]. China Condiment, 2003, 7: 37-39
- [12] 谢长兴.焦糖色素的耐盐性及检测方法[J].中国调味品, 2004,12:35-36
- XIE Chang-xing. The salt resistance of caramel pigment and testing methods [J]. China Condiment, 2004, 12: 35-36