

汾酒老熟研究阶段报告(二)*

杜小威,雷振河,翟旭龙,史静霞,李素琴,王普向,李慧云,吴斐轶
(山西杏花村汾酒厂股份有限公司技术开发中心,山西 汾阳 032205)

摘要: 白酒老熟机理迄今有新酒杂味挥发说,主要为含硫化物及醛类,经过自然贮存一年基本消失;分子间氢键缔合说;氧化还原说及溶出说等,主要指不同贮酒容器析出的金属离子有催熟酒体的作用。在第一报的基础上,以2001年10月产的二级原度汾酒混合样做试样,以2000年11月产原度汾酒做对照样,以上一报试验中前4种陶缸材质进行处理,即宜兴黑500:四川500:红500:无名缸片为1:1:1:1,混合后的陶缸碎片按20%加入试样处理60 d,每天搅拌2次,每次敞口排杂10 min。试验结果表明,用陶瓷缸碎片处理新产酒有加速白酒老熟的作用。最佳工艺为:新产白酒先降度至52~57度,过滤后贮存于陶缸(坛)3~5个月,然后转入大罐贮存。(庞晓)

关键词: 白酒; 汾酒; 老熟研究; 贮酒容器

中图分类号: TS262.32; TS261.4 **文献标识码:** A

文章编号: 10001-9286(2002)06-0038-04

Staggered Report on Research on Aging of Fenjiu Liquor (Part 2)

DU Xiao-wei, LEI Zhen-he, and ZHAI Xu-long et al

(Technique Development Center of Fenjiu Liquor Distillery Co. Ltd., Fenyang, Shanxi 032205, China)

Abstract: The mechanisms of liquor aging included the following theories up to now: theory of off-flavor volatilization in newly-produced liquors, it indicated the evaporation of sulfur compound and aldehydes through one year natural storage; theory of hydrogen bond association among molecules; theory of oxidation and deoxidation and dissolution theory which indicated that the metal ions isolated from different liquor containers could accelerate the aging of liquor body etc. On the basis of report I, the mixed samples of the secondary raw alcohol Fenjiu Liquor (produced in Oct. 2001) were used as test samples and the raw alcohol Fenjiu Liquor (produced in Dec. 2000) were used as contrast samples. Four kinds of pithos pieces (mix ratio, yixingblack 500 : Sichuan 500 : red 500: unnamed pottery=1:1:1:1), which used in former study, mixed and added in the test samples 20% of the total amount, then the test samples were under 60 d treatment by twice stir daily with 10 min waste discharge. The test results indicated that the application of pithos pieces in the treatment of newly-produced liquor could accelerate liquor aging and the optimal technique were as follows: alcoholicity drop of newly-produced liquor to 52%~57% (v/v) firstly, then the liquor stored in potteries for 3~5 months after filtration and stored in pithos finally. (Tran. by YUE Yang)

Key words: liquor; Fenjiu Liquor; study on liquor aging; liquor container

1 对白酒陈酿老熟机理的再认识

对白酒自然贮存老熟变化的机理探讨研究工作早在20世纪60年代就有文献报道,当时国家曾下大力气对几大名酒进行跟踪剖析试点。进入21世纪,对这一旧课题的再次提出,是因为迄今为止,虽然对白酒自然老熟机理研究结果的种种学说在不同文献中都有介绍,如分子间氢键缔合说、酯化说、氧化还原说、溶出说、挥发说等,而且基于这些学说的单一或综合人工老熟技术,也时见报道、层出不穷,老熟效果也不尽相同,但国内外尚未有一种对新产白酒催熟效果显著,且能得到众多酒厂普遍认可和推广应用的人工老熟技术。因此,有必要把近年来笔者较认同的同行研究结论摘述于此,以利进一步实践探讨和突破。

1.1 新酒杂味挥发说

新蒸馏出来的酒,一般比较燥辣,不醇和,也不绵软,主要是因为含有较多的硫化氢、硫醇、硫醚(二乙基硫)等挥发性硫化物,以及少量的丙烯醛、丁烯醛、游离氨等杂味物质。这些物质与其他沸

点接近的成分组成新酒杂味的主体^[1]。这些新酒杂味成分多为低沸点易挥发物质,自然贮存一年,基本消失殆尽。若人为外加条件如气体搅拌,还可缩短此过程。

1.2 分子间氢键缔合(物理老熟)说

1.2.1 由于氢键作用力,使白酒中的乙醇和水分子的排列方式逐步理顺,从而加强了乙醇分子的束缚力,降低了乙醇分子的活度,反映在味感上变得柔和。白酒中的其他极性分子之间也存在氢键的作用力,随着缔合的大分子群增加,酒体中受到束缚的极性分子越多,酒质也就越趋向绵软^[2]。

1.2.2 白酒陈酿老熟过程中,氢键缔合是一个平衡过程。平衡一旦建立,表征氢键缔合的参数也就趋向一恒定值,标志着物理老熟的结束。检测结果表明,新酒在自然贮存3个月,表征氢键缔合作用的三大参数:(1)化学位移:用以观察氢键缔合强度,两者为正比关系;(2)半高峰值:由于缔合作用的质子间交换作用所引起的峰形变化;(3)缔合度:形成缔合体的质子数变化不大。说明白酒中氢键

收稿日期:2002-06-30

* 汾酒老熟研究阶段报告(一)见《酿酒科技》2001年第6期51页。

缔合的物理作用在3个月已达极限。固态酒中的大量有机酸可大大加速醇水分子间的缔合作用。氢键缔合作用能减轻白酒固有的刺激感,但不能使白酒具有那种醇厚、细腻、香浓味陈的老熟感,因此,它在白酒的陈酿老熟过程中不占主导地位^[3]。

1.2.3 乙醇与水混合时的体积收缩现象。由于乙醇与水分子间的缔合作用,它们在20℃以不同比例混合时,体积收缩量呈现出一定的规律性(见图1)。从图1可以看出,100 ml乙醇水溶液中,乙醇体积占52%~57%时,体积收缩量最大,达3.67 ml^[4]。这意味着,此时乙醇与水分子间缔合度最高。因此白酒在自然贮存陈酿时,应加浆至52~57度,最有利于其自然老熟。

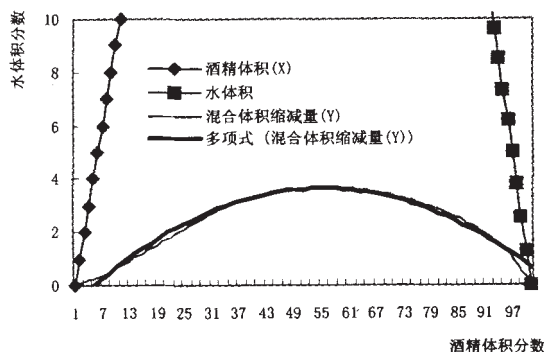


图1 20℃ 100 ml酒精水溶液体积收缩量变化曲线

$$Y = -0.0014x^2 + 0.1587x - 0.7522$$

1.3 氧化还原(化学老熟)说

白酒中醇醛酸酯等成分之间随着外界条件的变化,不断进行着缓慢转化直至达到新的平衡,其中包括氧化、还原、酯化、综合、水解等化学反应。分析数据表明,长期自然贮存老熟的结果是酸升酯降。陈木兰高工(北方观点)经过对透气性良好的陶坛与无透气性的玻璃密闭容器贮存对比研究,认为氧化还原反应是导致酸升酯降的主要原因,而白酒专家沈怡方先生(南方观点)则认为白酒贮存过程中的酸升酯降的主要原因是酯类的水解作用。这可能与不同香型(北方多清香,南方多浓香)白酒老熟过程存在差异有关,这正如浓香型白酒中二乙基甲烷是老酒的标记一样,其含量随酒龄的增长而增长,但它在清香型白酒中则始终未曾露面。

1.4 溶出说

不同的贮存容器对白酒的陈酿老熟作用不同。有人用不同包装容器试验泸州大曲,贮存3个月分析尝评,结果小陶瓷瓶第一,陶瓷坛第二,无色玻璃瓶第三,有色玻璃瓶第四,竹篓第五^[1]。经探讨,明确了陶坛的坯体结构粗细(致密度大小)、吸水率的多少、气孔率的大小是直接影响白酒陈酿老熟的重要因素,并且发现由陶坛材质中溶入酒中的微量金属离子的种类及其含量对白酒的陈酿老熟有重要的催熟作用。微量金属铁、铜离子能有效加速白酒老熟^[3]。因此,陶质酒坛贮酒后,如以铁含量计算,大致可推算出酒的老熟期。最新研究结果表明,Fe³⁺、Cu²⁺去新酒味的能力较强,它们可与酒中硫化物反应生成沉淀而除去,但酒中铁含量超过2 mg/L,就会使酒体变黄,甚至出现沉淀;白酒中含有1 mg/L左右的K、Cu,可增加酒体的醇厚感和醇甜感^[5]。

20世纪80年代以后,我国各大酒厂先后试验推广了大容器贮酒技术,几十吨、上百吨乃至上千吨的大容器屡见不鲜,材质多为不锈钢罐或瓷板贴内壁的水泥池,但也不乏沿用传统陶坛贮酒的。经过10多年的实践,这些容器(大罐、酒池、酒坛)对白酒的陈酿老熟作用各不相同,安徽古井贡酒厂曾对同一基酒在不同容器

贮存进行过跟踪分析对比,结论是,新酒在最初3年贮存于陶坛中,极有利于酯化老熟,酸最低,酯最高(但乳酸乙酯大幅下降),之后,不同容器间的变化趋于一致。故为减少坛子密封不严的损失,就应及时转移至大罐或池子中贮存,而且坛子经空隙活化(鼓风机鼓风或敞口放置)后,可继续发挥其加速新酒老熟的优势^[6]。

由此可以推断,李大和高工倡导的新酒“不要脏酒贮存”(避免交叉污染)和“密封、间歇搅拌”的做法是有一定科学道理的。

2 试验思路

根据对白酒自然陈酿老熟机理的再认识,结合上年的试验结果^[7],决定对新产汾酒先进行混合陶瓷缸碎片浸泡、间歇搅拌、排杂后,再通过引入适量酸、人工催熟等处理手段,试验其人工老熟效果,同时兼顾对前期工作得出的某些有益结论进行验证。

3 试验材料和方法

3.1 材料

3.1.1 试验酒样:2001年10月16~31日产的二级原度汾酒混合样(约100 t),酒度67.6度,总酸0.49 g/L,总酯2.87 g/L;

3.1.2 对照酒样:2000年11月生产的原度汾酒(约70 t),酒度67.4度,总酸0.58 g/L,总酯2.98 g/L;

3.1.3 陶瓷缸碎片:选取上期试验结果中的前四名陶缸材质作相同处理后,等比例混合,即:宜兴黑500:四川500:红500:无名缸片=1:1:1:1^[7];

3.1.4 超声波处理机:KQ-100E型医用超声波清洗器。

3.1.5 人工催熟处理:(1)苏祠牌白酒除苦催熟调味液;(2)山西祁县洪凯粉末活性炭;(3)自制ZS催熟剂;(4)HY-950啤酒硅胶(青岛海洋化工);(5)LSI-600催化树脂(西安蓝深公司)。

3.2 方法

3.2.1 陶缸碎片浸泡:将4种陶缸碎片等比例混合后,按20%加入试验酒液中,密封摇匀后放置,每天充分搅拌2次,每次半敞口排杂10 min后密封。

3.2.2 取经3.2.1处理60 d的试验酒样上清液,一部分加浆至45度(混浊)备用;另一部分进行半敞口超声波处理(掺20%混合陶缸碎片),水浴温度控制在29~36℃,处理30 min,取一个样,作为原度1#,处理60 min再取一个样,作为原度2#。样品处理见表1、表2。

表1 45度酒人工老熟试验样品处理

样品编号	处理方法
老熟1#	原度试验酒样用1.2%粉末炭处理24 h后过滤,加浆至45度
老熟2#	加1%粉末活性炭搅拌处理2 h后,过滤至清
老熟3#	加1%HY-950啤酒硅胶搅拌处理2 h后,过滤至清
老熟4#	加0.6%ZS催熟放香剂,充分摇匀后静置
老熟5#	加1.5%ZS催熟剂A,充分摇匀后静置
老熟6#	原度对照酒样降至45度,再经XDA-5大孔树脂柱除浊至透明
老熟7#	加0.2%ZS催熟剂B,充分摇匀后静置
老熟8#	加0.2%苏祠牌II型调味液,充分摇匀后静置
老熟9#	原度对照酒样用1.5%粉末炭处理24 h后过滤,加浆至45度
老熟10#	通过LSI-600催化树脂柱处理
老熟11#	加0.5%苏祠牌兼香调味液,充分摇匀后静置
老熟12#	加0.2%苏祠牌B型调味液,充分摇匀后静置

注:(1)取3.2.2中备用45度(混浊)试验酒样进行老熟2#和3#的处理;(2)取3.2.2中备用45度(混浊)试验酒样,先经过XDA-5大孔树脂柱除浊至清亮透明后,再进行老熟4#、5#、7#、8#、10#、11#、12#样的处理。

表2 原度酒人工老熟试验样品处理

样品编号	处理方法
原度1#	碎陶缸片浸泡60d的原度试验酒样,半敞口超声波处理30min
原度2#	碎陶缸片浸泡60d的原度试验酒样,半敞口超声波处理60min
原度3#	原度试验酒样
原度4#	原度对照酒样
原度5#	取经4种陶缸碎片浸泡110d的原度试验酒样,过滤
原度6#	原度对照酒样用1.5%粉末活性炭处理24h后过滤
原度7#	原度试验酒样用1.2%粉末活性炭处理24h后过滤

3.2.3 对45度系列的老熟酒样先进行内部品评,筛选出前7名,连同原度系列的老熟酒样,一起送质检处评酒室暗评。

3.2.4 说明:(1)自制ZS催熟剂的试制过程已充分应用了“适量有机酸可加速白酒老熟”和“金属元素的溶出有助于白酒老熟”的理论;(2)每种催熟剂的使用量和粉末活性炭的处理用量及树脂柱的处理控制参数,都是在大量试验基础上筛选出的最优条件;(3)本文中的“加浆”或“降度”均是指加“纯化水”。

4 试验结果

4.1 内部品评结果(详见表3~表6,各表中带*号者为查找Kramer检定表 $\alpha=5\%$ 时具有显著性差异)

表3 第一轮内部品评排序结果(原度)

杯号	1#	2#	4#	5#
酒样	原度1#	原度2#	原度3#	原度7#
参评人1	3	1	4	2
参评人2	3	1	4	2
参评人3	2	1	4	3
参评人4	2	1	4	3
参评人5	2	3	4	1
5人合计	12	7*	20*	11
综合评价	清香正,入口较绵甜,落口欠净	清香较正,酒体较绵甜,爽净,落口欠净	新酒味、杂味重,稍甜,欠绵,冲燥	清香较正,较绵甜,尾杂

表3结果表明,本轮4个酒样为同一试验基酒,2#杯与4#杯分别为最好与最次,差异显著,5#杯排名第三,说明活性炭处理也具有一定的老熟作用。

表4 第二轮内部品评排序结果(45度)

杯号	1#	2#	4#	5#
酒样	老熟1#	老熟2#	老熟3#	老熟6#
参评人1	2	1	4	3
参评人2	1	3	2	4
参评人3	2	4	1	3
参评人4	2	3	1	4
参评人5	2	1	4	3
参评人6	2	3	1	4
6人合计	11	15	13	21*

表4结果表明,本轮4个酒样中除5#杯为对照酒样外,其余为试验酒样。对照样明显最差,其余3个样差异不大。

表5结果表明,本轮4个酒样中除4#杯为对照明显最差外,其余3个为自制ZS催熟剂处理样。总体印象:闻香差别不大,1#、2#杯较甜爽,5#杯略带老熟感,所有酒样后口微杂,4#杯后口微苦。

表6结果表明,本轮5个酒样除1#杯为对照外,其余为试验酒样,2#、5#杯较差,普遍反映有异香,但口感尚可,可能是用量不当

表5 第三轮内部品评排序结果(45度)

杯号	1#	2#	4#	5#
酒样	老熟4#	老熟5#	老熟6#	老熟7#
参评人1	4	2	3	1
参评人2	1	2	3	4
参评人3	2	3	4	1
参评人4	2	1	4	3
参评人5	2	3	4	1
5人合计	11	11	18*	10

表6 第四轮内部品评排序结果(45度)

杯号	1#	2#	3#	4#	5#
酒样	老熟6#	老熟8#	老熟10#	老熟11#	老熟12#
参评人1	2	4	3	1	5
参评人2	5	4	2	3	1
参评人3	2	5	1	3	4
参评人4	3	5	1	2	4
参评人5	3	5	2	1	4
5人合计	15	23*	9	10	18

所至。

4.2 评酒室品评结果(详见表7、表8)

表7 第一轮原度老熟试验酒样(10人平均)

杯号	酒样	排名	评语
1#	原度1#	3	香气正,入口绵,稍燥,带杂味
2#	原度2#	1	香气正,入口微甜,淡,稍腻
3#	原度3#	7	闻香带酸,酒体淡寡,后味略杂
4#	原度4#	5	香气较正,较协调,后味淡酸
5#	原度5#	2	香气正,带腻,稍淡寡
6#	原度6#	6	香气正,酒体较协调,后味带异味
7#	原度7#	4	香气正,酒体平淡,稍腻,酸

表8 第二轮老熟试验45度酒样(10人平均)

杯号	酒样	排名	评语
1	老熟1#	4	香气稍好,较协调,稍燥,后味淡
2	老熟3#	1	香气正,较净,落口稍腻
3	老熟6#	6	香气正,酒体淡酸,后味稍腻
4	老熟7#	3	香气正,较绵,味短,单调
5	老熟9#	2	香气正,口感平淡,落口略异味
6	老熟10#	5	香气正,酒体淡寡,后味带杂
7	老熟11#	7	香气尚正,口感单调,后味异香

4.3 理化分析结果(见表9)

4.4 金属元素分析结果(见表10)

5 试验结论与讨论

5.1 用陶瓷缸碎片浸泡新产酒的确有加速白酒老熟的作用,而且效果比较明显;

5.2 经过陶瓷缸碎片浸泡老熟的酒,在外加适当条件(如人工催熟剂或吸附剂处理等)时,也有一定的老熟作用;

5.3 从对白酒陈酿老熟机理的再认识中可以看出,新产白酒的最佳贮存工艺应为:新产白酒应先降度至52~57度,过滤后,贮存于陶瓷缸(坛)中3~5个月,完成自然物理缔合过程,随后转入密封性较好的大罐中贮存。有条件的可以在大罐中投放一定量的废弃陶瓷碎屑并在罐内增加无油空气搅拌设施,定期进行搅拌和排杂,有利于加速白酒的老熟过程。这一工艺是否可行、有效,仍有待于实践检验。

参考文献:

[1] 李大和.白酒工人培训教材(第一版)[M].北京:中国轻工业出版社,

表 9		原度酒老熟试验色谱分析结果					(mg/L)
成分	原度 1#	原度 2#	原度 3#	原度 4#	原度 5#	原度 6#	
乙醛	115.28	113.68	134.62	97.60	121.50	87.07	
甲醇	178.29	203.88	230.37	285.92	221.80	289.21	
乙酸乙酯	1741.95	1770.17	2069.62	2286.61	2026.62	2083.36	
正丙醇	179.95	193.18	184.10	202.62	192.07	201.06	
仲丁醇	8.89	9.90	9.50	2.94	12.24	3.23	
乙缩醛	262.55	268.39	354.03	243.52	305.73	219.29	
异丁醇	210.38	217.90	215.21	179.54	219.04	187.65	
正丁醇	13.63	18.31	17.20	16.69	19.32	19.51	
异戊醇	470.51	479.54	469.36	536.05	471.91	529.87	
乳酸乙酯	1054.22	1066.87	1018.04	1089.83	1031.40	1124.75	
己酸乙酯	6.54	7.29	6.21	8.41	6.59	9.81	
正戊醇	12.16	12.31	11.70	12.82	12.20	12.08	
甲酸乙酯	20.49	21.48	26.60	3.57	22.74	—	
1,1-二异氧基异戊烷	4.10	4.03	4.45	3.79	4.31	4.21	
乙酸异戊酯	8.12	8.30	7.36	9.36	8.43	10.27	
辛酸乙酯	3.82	4.26	3.61	7.07	3.68	5.54	
醋西翁	6.88	9.20	5.83		3.73		
乙酸	268.70	302.33	304.77	397.91	343.70	437.09	
2,3-丁二醇	23.70	20.54	20.76	14.33	24.33	17.62	
丁二酸二乙酯	1.71	3.08	2.68	1.13	2.57	—	
β-苯乙醇	6.28	6.28	5.97	4.18	6.12	4.91	
棕榈酸乙酯	51.47	62.72	58.54	61.75	58.01	—	
油酸乙酯	17.14	35.98	24.03	19.27	20.63	—	
亚油酸乙酯*	16.90	33.00	21.10	17.00	19.00	—	

注：*为估计含量；原度1#含异丁醛0.63 mg/L，原度5#含辛酸1.99 mg/L。

表 10		金属元素分析结果					
样品	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe ²⁺	Cu ²⁺	Cr ³⁺	
原度 1#	8.53	8.33	2.55	0.072	27.06	2.747	
原度 2#	9.21	8.12	2.48	0.080	15.14	1.368	
原度 3#	0.82	0.50	2.07	0.066	未检出	1.253	
原度 4#	0.53	0.35	1.85	未检出	未检出	0.142	
原度 5#	8.15	8.07	2.53	0.034	12.29	1.866	
原度 6#	10.43	3.14	1.74	未检出	3.51	1.023	

注：(1)Cu²⁺和Cr³⁺单位为ppb；(2)其余金属元素单位为mg/kg (ppm)；(3)对所有样品进行了Pb²⁺分析，结果均未检出。

1999.535.
[2] 王元太.白酒生产工艺过程和设备[A].轻工业部白酒专业技工学校

(上接第37页)

就会使冷却损耗减少,代谢率提高,染菌机会减少,如果提高酵母的耐压二氧化碳能力,就会使在巨大、深层发酵罐或压力容器里发酵成为可能。上述都可以通过基因工程得以实现^[16]。

3 小结

为了保证纯种发酵和质量稳定,酵母菌种的稳定性至关重要。因此,遗传改良的酵母必须保持其新获得的性状。遗憾的是,目前的研究只局限于改良啤酒酵母的某一种性状,而不能同时改良啤酒酵母的几个遗传性状。显然,这是一个值得研究的方向。随着啤酒工业基础研究工作的深入开展及现代分子生物学、遗传学、基因工程技术的发展,酵母菌株的遗传学改良已经取得了很大的进步,相信不久的将来,经遗传改良的啤酒酵母将广泛地应用于啤酒酿造工业,显示出其巨大的价值。

参考文献：

[1] 黄关林.啤酒的酿造新技术[J].制酒科技总论,1981,(10)32-35.
[2] 孙黎琼,等.啤酒酵母KS003菌株的筛选[J].今日啤酒,2000,(增刊):37-40.
[3] Ermandes J.R.[J].Bisotechnol.letter,1990,(12)463-465.
[4] 贺家明,赵赵毅,陈苏萍.酵母菌耐乙醇性状的提高及其乙醇耐性的途

在职工人技术培训教材[C].1986.238.
[3] 陈木兰.浅谈白酒老熟及其催陈新技术.全国白酒生产新技术新产品汇编暨会刊[C].1993.31.
[4] 苏·М·М·葛鲁包夫,И·М·鲁伊撒尔,等.发酵酒与配制酒生产的物理计算[M].北京:中国轻工业出版社,1958.
[5] 沈怡方.白酒生产技术全书[M].北京:中国轻工业出版社,1998.508-520.
[6] 郭文杰,等.白酒的陈化、老熟与容器和时间的关系——不同容器对白酒质量的影响[J].酿酒科技,2001,(6)53.
[7] 翟旭龙,等.汾酒老熟研究阶段报告(一)[J].酿酒科技,2001,(6):51-52.

径[J].山东食品发酵,1999,(3)6-11.
[5] 梅丛笑,方元超,等.啤酒酵母改良途径[J].食品工业科技,2000,(3):70-71.
[6] 陈海昌,刘波,张岭花,等.原生质体融合技术构建糖化至啤酒酵母的研究[J].微生物通报,1994,(4)213-217.
[7] 陈海昌,唐屹,张岭花,等.原生质体融合技术提高啤酒酵母凝聚性的研究[J].微生物通报,1997,(3):159-161.
[8] 周东坡,平文祥,孙剑秋.通过灭活原生质体选育啤酒酵母新菌株[J].微生物学报,1999,(5)454-460.
[9] 吴乃虎.基因工程原理[M].北京:科学出版社,1998.43-47.
[10] Hammond JRM and KW Eckerstey[J].J.Inst.Brew.,1998,(90):167.
[11] 王正祥,诸葛健.杀伤啤酒酵母的构建及其发酵性能研究[J].食品与发酵工业,1992,(1):1.
[12] Dranginic.A.M.[J].Molocular and Cellaular Biology,1989,(9)3992.
[13] Young T.W.et al.[C].Proc.Ear.Brew.Conv.Congn.,21st Congr.,Madrid,1987,(3)521-528.
[14] Lancashire W E et al.[C].Proc.Eur.brew.Conv.Congr.Zarich,1989,491-498.
[15] Penttila M et al.[J].Carrageen.,1987,(12)413-420.
[16] 杨艳,任健,曹文伟.啤酒酵母的遗传改良[J].中国酿造,1998,(4):3-5.