

基于智能视觉的白酒发酵过程精度控制

范晓云

(苏州技师学院创意服务系, 江苏苏州 215009)

摘要: 针对传统方法由于智能化程度低导致白酒发酵控制精度低的问题, 采用智能视觉方法, 从发酵温度、原料数量、发酵时间以及发酵环境 pH 值四个方面, 实现白酒发酵过程的精度控制。为验证该技术的有效性, 设计对比实验, 将传统的控制技术作为对照组, 将基于智能视觉的控制技术作为实验组, 对两种技术控制下的白酒进行了全方位分析。经过对比实验得出结论: 实验组白酒中的乙醇含量为 95.18%, 对照组为 95.26%, 两组白酒中的乙醇含量相似。但对照组的酯类含量为 0.0046%, 醛类与醇类的总含量为 0.0079%, 实验组的白酒酯类含量为 0.0069%, 醛类与醇类的总含量为 0.0026%, 由于实验组酯类含量高, 而醛类与醇类含量少, 因此该组白酒的品质更好。实验组的整体控制精度为 90.65%, 与对照组相比提高了 4.93%。实验组的控制误差率始终在 0 上下波动, 温度控制准确率始终保持在 95.36% 以上, 白酒成品质量评分均在 4.73 分以上, 以上数据均说明基于智能视觉的白酒发酵过程精度控制技术的可靠性与实用性好, 可在实际中推广使用。

关键词: 智能视觉; 白酒发酵; 发酵过程; 精度控制技术

文章编号: 1673-9078(2020)10-247-252

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.10.0349

Precision Control of Baijiu Fermentation Process Based on Intelligent Vision

FAN Xiao-yun

(Suzhou Technician Institute, Department of creative services, Suzhou 215009, China)

Abstract: Due to the problem of low precision of Baijiu fermentation control caused by the low degree of intelligence of traditional methods, intelligent vision method was adopted to realize the precision control of Baijiu fermentation process from four aspects of fermentation temperature, raw material quantity, fermentation time and pH value of fermentation environment. In order to verify the effectiveness of the technology, a comparative experiment was designed. The traditional control technology was used as the control group, and the control technology based on intelligent vision was used as the experimental group. The results showed that the alcohol content of the experimental group was 95.18%, and that of the control group was 95.26%. The alcohol content of the two groups was similar. However, the ester content of the control group was 0.0046%, the total content of aldehydes and alcohols was 0.0079%. However, the total content of aldehydes and alcohols in the experimental group was 0.0069%, the total content of aldehydes and alcohols in the experimental group was 0.0026%. Due to the high content of ester content of the experimental group and the low content of aldehydes and alcohols, the quality of the Baijiu in the experimental group was better. The overall control accuracy of the experimental group was 90.65%, which was 4.93% higher than that of the control group. The control error rate of the experimental group always fluctuated from 0 to 0, the accuracy rate of temperature control always kept above 95.36%, and the quality scores of Baijiu products were all above 4.73. The results in this work showed that the precision control technology of Baijiu fermentation process based on intelligent vision had good reliability and practicability, which can be popularized in practice.

Key words: intelligent visual; liquor fermentation; the fermentation process; precise positioning technology

引文格式:

范晓云. 基于智能视觉的白酒发酵过程精度控制[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 247-252

FAN Xiao-yun. Precision control of Baijiu fermentation process based on intelligent vision [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 247-252

收稿日期: 2020-04-16

基金项目: 江苏省技工院校教育教学项目 (17SJY0904); 苏州市“高技能人才培养研发项目 (GJNP201601)

作者简介: 范晓云 (1971-), 女, 高级讲师, 研究方向: 计算机软件应用、图像分析技术及教学

酒是中国饮食中的重要饮品之一,其化学成分是乙醇^[1],一般还含有微量的杂醇和酯类物质,酒的食用浓度一般在 60 ℃ 以下,食用酒主要是以粮食作为原料经过发酵酿造而成^[2]。市面上常见的酒类按照商品大类划分可分为白酒、黄酒、葡萄酒以及啤酒等,不同的酒类使用的粮食原料不同,其中白酒的酿造原料为谷类和薯类,如高粱、玉米、甘薯等,一般优质原料为高粱为主,适当搭配玉米、小麦、糯米、大米等粮食^[3]。不同类型的酒按照包含的酒精含量可以分为高度酒、中度酒和低度酒。按照不同的酿造发酵工艺可以分为发酵酒、蒸馏酒和配制酒^[4],其中白酒是市面上销量最高的发酵酒,其制作过程主要包括:原料处理、制曲、淀粉糖化、酒精发酵等多个步骤,在发酵过程中酒原料中的微生物在不同的发酵环境下得出的白酒成分含量也各不相同^[5]。现阶段随着科学技术的发展,白酒发酵的生产规模越来越大,在结合改进发酵工艺与设备的同时,也逐渐注意发酵单元的操作与控制^[6]。建立描述白酒发酵反应过程的各种数学模型及过程的控制,极具计算机应用意义,对白酒发酵过程的优化控制研究也尤为重要。为了保证白酒发酵过程中每一个发酵步骤的正常运行,获得最优的发酵结果,需要针对每一个影响因素进行控制^[7]。传统的控制技术包括:基于物联网技术的发酵过程控制技术、模糊控制技术以及基于 PLC 的控制技术。经过一段时间的应用研究,发现三种传统控制技术均存在精度低的问题,而基于 PLC 的控制技术,相比于另两种传统控制技术精度较高,但需要手动进行控制编码,不具有智能性,因此在白酒发酵过程控制技术中引入智能视觉的概念。智能视觉指的是利用计算机图像视觉分析技术,分析白酒发酵过程中的参数,并进行相应控制。引入智能视觉概念,可以提升发酵过程的控制精度,将智能视觉进行白酒发酵过程优化控制技术应用到实际的白酒发酵过程当中,可以提升白酒的发酵品质,得到质量更高的酒品。

1 材料与方法

1.1 白酒发酵过程精度控制技术

采用智能视觉方法,分别从温度、原料数量、发酵时间以及 pH 四个方面实现白酒发酵的精度控制。

1.1.1 温度控制

整个发酵过程都会产生热量,导致密闭的发酵罐中的温度不断升高,与此同时压力也在发生改变。白酒生物酶的活性受温度、pH 值、酶液浓度、底物浓度、酶的激活剂等多种因素的影响,但温度是影响生物酶

活性的重要因素,因此需要将发酵罐控制在适宜的温度范围之内^[8]。经过研究发现,白酒发酵的适宜温度在 25 ℃ 至 30 ℃,因此需要在发酵过程中实时对温度进行监控,当发酵罐的温度升高到超出适宜温度后,利用发酵控制传感器对内部的温度进行调整。

1.1.2 原料数量控制

白酒发酵中需要加入的原料主要为谷类、薯类等,正常情况下原料与发酵成品的比例为 7.5:1,因此需要按照所需生产的白酒类型(如酱香、清香、浓香、米香、凤香、兼香、其他香型)计算原料的数量。除此之外,原料的加入量还需要考虑发酵罐中原料加入量对空气的影响,固体原料加入的数量多,固定容量的发酵罐中的空气就会越少。因此在原料的数量控制上,除了需要考虑发酵比例外,还需要考虑空气原料与固体原料数量之间的关系^[9,10]。

1.1.3 发酵时间控制

一般情况下,白酒发酵过程的时间越长,得到的酒品质量越高,但由于不同需求的限制,不同的白酒发酵的时间不同^[11]。按照不同的发酵要求对发酵时间进行计算,将计算结果以代码的形式输入到智能视觉控制传感器当中,从发酵罐启动时间开始算起,当到达设定的发酵时间时,控制器自动驱动发酵罐的开关关闭,实现发酵时间的精准控制。

1.1.4 pH 值控制

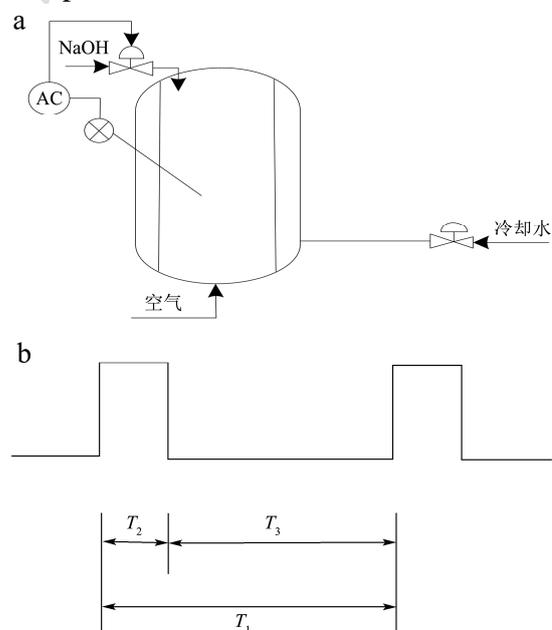


图 1 a:pH 值操作控制示意图;b:pH 值控制开关周期示意图

Fig.1 a: schematic diagram of pH operation control; b: schematic diagram of pH control switch cycle

在 pH 控制中,可以选择 pH 值和给定值之差作为过程的输入,加入酸或碱的量为过程输出,通过开关

量输出来控制酸碱液电磁阀的启动次数,使得 pH 值可以稳定控制在设定值上,以此来达到良好的控制效果。在发酵过程中,酒曲菌体通过代谢产生一些有机酸,因此在代谢过程中,pH 值始终在下降^[12]。为此控制器输出的是氢氧化钠或氨水滴加装置的开关,每启动一次,滴加 1 mL 的碱性溶液,通过控制周期与原理对滴加开关进行具体控制。控制操作示意图与开关周期示意图如图 1 所示。

图中 T_1 表示控制周期, T_2 、 T_3 分别为控制阀门的启动和关闭周期。 T_2 的启动长短需要根据 pH 值的偏差程度进行具体计算控制。



图 2 白酒发酵环境

Fig.2 Liquor fermentation environment

在白酒发酵过程中分别使用实验组和对照组,对

得出的白酒发酵结果进行成分分析,以此来判定控制技术的有效性和精度。在本次实验中白酒发酵环境如下图 2 所示。

1.2 实验材料与方法

1.2.1 原料与方法

将小麦作为此次的实验原料,分别采用本文所设计的精度控制技术与传统控制技术完成实验,将本文所设计的精度控制技术作为实验组,将传统控制技术作为对照组。

1.2.2 主要仪器与软件

实验的主要仪器为白酒成分分析专用色谱仪(型号:GC-7980BJ;厂商:郑州泽铭科技有限公司),除此之外还需要在实验中设置其他的辅助仪器,包括滴管、试管、烧杯(厂商:潍城区豪德祥意化玻仪器商行)等。标准品信息如表 1 所示。

分别将相同体积的实验原料放置在白酒成分分析专用色谱仪上,配置白酒专用的色谱柱,配合 FID 氢火焰离子化检测器,直接对白酒发酵结果中的乙醇、酸类、酯类、高级醇与多元醇的成分含量进行测量。实验环境如图 3 所示。

表 1 标准品信息

Table 1 Standard product information

指标名称	高度酒		低度酒	
	优级	一级	优级	一级
酒精度/(% vol)	41~68		25~40	
总酸(以乙酸计)/(g/L)	0.40	0.30	0.25	0.20
总酸(以乙酸乙酯计)/(g/L)	1.00	0.60	0.70	0.40
乙酸乙酯/(g/L)	0.60~2.60	0.30~2.60	0.40~2.20	0.20~2.20
固形物	0.40		0.70	



图 3 实验环境

Fig.3 Experimental environment

绘图采用 Origin 数据处理软件,WindowsXP 操作系统,微软 SQL server 2010 R2, MATLAB 数学软件,利用 SPSS19.0 分析软件对白酒发酵数据采集到的原始数据进行统计学分析。

1.2.3 数据处理

表 2 发酵数据采集结果

Table 2 Results of fermentation data collection (°C)

标准参考值	测量值	标准参考值	测量值
-0.25	-0.24	11.54	11.56
0.00	0.02	12.05	12.00
1.03	1.5	13.34	13.36
1.59	1.52	14.11	14.10
2.05	2	15.65	15.62
3.59	3.62	16.94	16.87
4.10	4.13	17.19	17.22
5.13	5.20	17.96	17.90
6.15	6.18	18.22	18.25
7.69	7.68	19.25	19.30
8.72	8.73	20.28	20.30
10.00	10.04	20.54	20.56

本文遵循行业标准，将白酒发酵温度测量精度控制在±0.5℃以内，测量范围在-10~100℃之间，通过白酒发酵过程的温度监控界面可实时观测发酵罐内温度、压力、液位、pH值等，根据温度监控界面，利用ZCTB-40DL低温校正仪采集白酒发酵系统的发酵数据，采集结果如表2所示。利用VB6.0软件，通过白酒发酵过程的温度监控界面，以插入发酵罐各部分处的一个温度传感器作为控温元件，在大气环境温度为10℃以下的条件下获得该实验数据。将本文方法实时将控制曲线绘制出来。白酒发酵温度控制曲线如图4所示。

白酒发酵罐内分为上部、中部和下部，根据图4罐内各部温度分布变化数据可知，oa段为自然升温段，不需要外部控制温度；ob段为主酵阶段，控制温

度在12℃；bc段为逐渐降温后发酵；cd段为后酵阶段，控制温度在5℃；de段为逐渐降温后贮酒阶段。通过白酒发酵温度控制结果，对当日的加热控温后制冷过程进行实验分析。如表3所示。

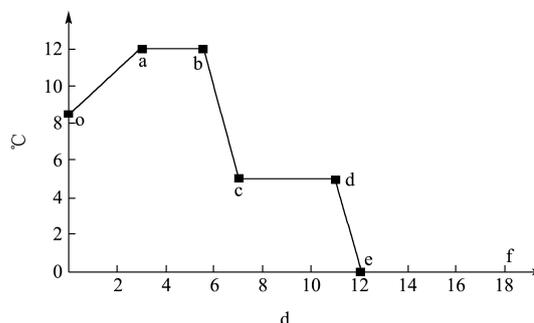


图4 白酒发酵温度控制曲线图

Fig.4 Temperature control curve of liquor fermentation

表3 制冷过程实验数据

Table 3 Experimental data of refrigeration process

时间	上部			中部			下部		
	T _{0.4}	T _{0.2}	T ₀	T _{0.4}	T _{0.2}	T ₀	T _{0.4}	T _{0.2}	T ₀
15.00	23.50	23.50	23.46	23.44	22.32	22.25	22.10	22.01	21.96
15.01	23.46	23.45	22.68	22.76	22.62	22.52	22.41	21.36	21.28
15.02	23.33	23.30	22.29	22.67	22.58	22.26	22.17	22.06	20.78
15.03	23.26	23.24	23.12	23.69	23.52	23.43	23.36	23.24	23.10
15.04	23.12	23.10	23.06	23.59	23.43	23.31	23.19	22.86	22.68
15.05	22.98	22.96	22.87	23.62	23.49	23.35	23.26	23.12	23.04
15.06	22.85	22.83	22.63	22.76	22.65	22.42	22.39	22.25	22.13
15.07	22.77	22.75	22.62	22.62	22.46	22.33	22.28	22.15	22.06
15.08	22.62	22.60	22.46	22.65	22.58	22.43	22.38	22.20	22.11
15.09	22.59	22.56	22.43	22.58	22.43	22.31	22.16	22.05	21.59
15.10	22.43	22.40	22.35	22.42	22.36	22.10	21.59	21.46	21.30

根据表3的实验数据分析可以发现发酵罐内上部、中部和下部的各温度相差较小，大部分时间内罐内液体温度分布均匀一致，在制冷过程中壁面温度变化都比罐内相应位置温度变化快，罐内温度变化相对于壁面温度有一定的滞后。

1.2.4 白酒成品质量评分标准

白酒成品质量评分过程中需要70位专家对成品进行评分，最高分为5分，最低分为0分。详细的评分过程为：向70位专家邮寄测试样本，样本均用快递防震气柱袋进行包装，选择运输时效最短的快递将样品送至专家手中，最大程度上保证样品质量不受损坏。由于每个专家对酒的评价环境不一致，可能造成评价结果的主观性较强，因此令专家在不同环境下进行酒品质量多次评价，通过网络与电话回访的形式获取评分结果，最终对每位专家的评价结果取均值。将70位品酒专家分为7组，每组10人，取每组评分结果的

平均值。评分规则为：香气0~1分；深度0~1分；复杂性0~1分；回香0~1分；纯度要求0~1分。

2 结果与讨论

通过50次实验统计白酒发酵结果中的成分，得出统计结果如表4所示。一般情况下，白酒的酯类含量越高，则酒越香；而醛类与醇类的含量越少，则说明酒中杂质越低，酒越纯。从表中可以看出，实验组白酒中的乙醇含量为95.18%，对照组白酒中的乙醇含量为95.26%，两组白酒中乙醇的含量相似。但对对照组的酯类含量为0.0046%，醛类与醇类的总含量为0.0079%，实验组的白酒酯类含量为0.0069%，醛类与醇类的总含量为0.0026%。相比之下实验组发酵的酒品更好，经过计算，可以计算出对照组的整体控制精度为85.72%，实验组的整体控制精度为90.65%，相比之下提高了4.93%。

表4 实验成分统计表

Table 4 Statistical table of experimental components

	对照组	实验组
乙醇含量/%	95.18±0.02	95.26±0.03
乙酸含量/%	0.0023±0.0003	0.0034±0.0002
乳酸含量/%	0.0028±0.0001	0.0041±0.0003
丁酸乙酯含量/%	0.0025±0.0002	0.0038±0.0002
乙酸乙酯含量/%	0.0021±0.0001	0.0031±0.0003
糠醛含量/%	0.0004±0.0001	0.0002±0.0001
丁醛含量/%	0.0010±0.0001	0.0007±0.0001
异丁醇含量/%	0.0004±0.0001	0.0002±0.0001
丙三醇含量/%	0.0025±0.0002	0.0003±0.0001
2,3-丁二醇含量/%	0.0040±0.0002	0.0012±0.0001

表5 误差率对比结果

Table 5 Error rate comparison results

实验次数/次	对照组误差率/%	实验组误差率/%
5	0.21	4.46
10	0.26	5.89
15	-0.45	5.69
20	0.32	-4.92
25	-0.24	-8.56
30	-0.33	7.23
35	0.27	6.41
40	-0.35	-8.44

在构建发酵过程控制模型之时，本文主要考虑到了误差以及误差变化率，为了验证本文研究方法的误差控制效果，进行误差变化率比较，误差变化率越接近 0，说明控制误差越低，白酒发酵过程的精度控制效果越好，误差率对比结果如表 5 所示。实验组的控制误差率在-0.45%~0.32%之间，对照组的控制误差率在-8.56%~7.23%之间，与对照组相比，实验组误差率更接近于 0，说明了本文研究方法的控制误差低，进一步验证了该技术具有较高的控制精度，能够实现白酒发酵过程的精准控制。

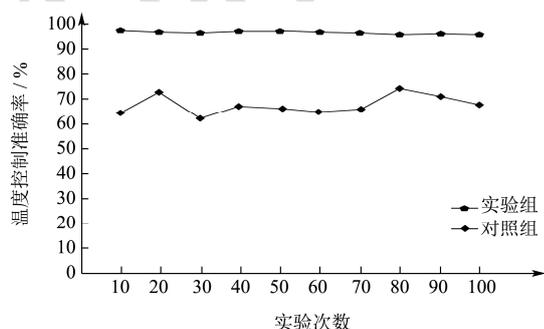


图5 白酒发酵过程温度控制准确率比较

Fig.5 Comparison of temperature control accuracy in liquor fermentation process

为了进一步验证本文研究方法的优越性，需要进行白酒发酵过程的温度控制准确率比较，实验结果如图 5 所示。实验组的温度控制准确率始终保持在 95.36% 以上，对照组的控制准确率在 62.12%~86.49% 的范围内波动，说明本文研究方法的温度控制精度较高。

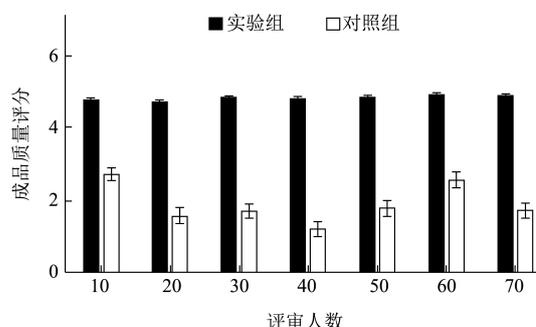


图6 白酒成品质量评分比较

Fig.6 Comparison of liquor product quality scores

在进行上述实验的基础上，进行白酒成品质量比较测试，成品质量评估结果如图 6 所示。对照组的白酒成品质量较低，其评分均在 2.74 分以下。而实验组白酒成品质量评分均在 4.73 分以上，说明酒品感官质量较高。

3 结论

鉴于白酒发酵过程的复杂性与不稳定性，探讨发酵过程的控制特性与控制参数，在基于智能视觉的基础上，设计出精度较高的发酵过程控制技术。实验结果表明，该方法具有较高的控制精度与温度控制准确率的同时，还能够保证白酒成品的品质。将该技术应用到实际白酒发酵工作当中，得到了较好的应用效果与反馈，可在实际中进一步推广使用。然而精准控制技术仅针对温度、pH 值、发酵时间等基本参数进行精准控制，未考虑到一些特定环境下的影响条件，因此在未来的研究工作当中，需要对上述问题进行进一步研究。

参考文献

[1] 张航,刘国海,江辉,等.基于近红外光谱技术的乙醇固态发酵过程参数定量检测[J].激光与光电子学进展,2017,54(2): 320-326
ZHANG Hang, LIU Guo-hai, JIANG Hui, et al. Quantitative detection of ethanol solid-state fermentation process parameters based on near infrared spectroscopy [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(2): 320-326

[2] 胡鑫,冯晶,赵立欣,等.干法厌氧发酵反应器及过程控制技术的研究进展[J].中国沼气,2018,46(2):236-240

- HU Xin, FENG Jing, ZHAO Li-xin, et al. Progress in dry anaerobic fermentation reactor and process control technology [J]. *Biogas*, 2018, 46(2): 236-240
- [3] 陈兴明. 浅谈浓香型白酒发酵过程的管理[J]. *化工管理*, 2018, 489(18): 101-102
- CHEN Xing-ming. A brief talk on the management of luzhou-flavor liquor fermentation process [J]. *Chemical Management*, 2018, 489(18): 101-102
- [4] 孙中理, 王超凯, 彭奎, 等. 桑葚果酒主发酵温度控制对产品质量的影响[J]. *酿酒科技*, 2017, 21(10): 52-56
- SUN Zhong-li, WANG Chao-kai, PENG Kui, et al. Effects of fermentation temperature control on product quality of mulberry wine owners [J]. *Brewing Technology*, 2017, 21(10): 52-56
- [5] 韩英, 陈建新. 汾酒地缸发酵系统热过程模式及数值模拟研究[J]. *食品与机械*, 2017, 33(7): 20-25
- HAN Ying, CHEN Jian-xin. Study on the thermal process model and numerical simulation of Fenjiu fermentation system [J]. *Food and Machinery*, 2017, 33(7): 20-25
- [6] 毛青钟. 自动化酿造黄酒系统发酵过程理化动态变化研究[J]. *酿酒*, 2017, 18(5): 86-90
- MAO Qing-zhong. Study on the dynamic changes of physicochemistry in the fermentation process of automatic rice wine brewing system [J]. *Brewing*, 2017, 18(5): 86-90
- [7] 赵伟, 阮哲友, 赵兵涛, 等. 生物质发酵制乙醇过程中消除抑制研究进展[J]. *生物加工过程*, 2017, 15(2): 49-55
- ZHAO Wei, RUAN Zhe-you, ZHAO Bing-tao, et al. Progress in elimination of inhibition in biomass fermentation to ethanol [J]. *Bioprocessing Processes*, 2017, 15(2): 49-55
- [8] 徐云鹏. 关于 PLC 的智能化 PID 啤酒发酵罐温度控制系统设计研究[J]. *现代盐化工*, 2017, 44(1): 26-27
- XU Yun-peng. Design and research on intelligent PID beer fermentation tank temperature control system based on PLC [J]. *Modern Salt Chemical Industry*, 2017, 44(1): 26-27
- [9] 于佳俊, 王德良, 郝建秦, 等. 啤酒生产清洗过程中表面活性剂残留检测与控制研究[J]. *啤酒科技*, 2017, 31(1): 37-45
- YU Jia-jun, WANG De-liang, HAO Jian-qin, et al. Study on the detection and control of Surfactant Residues in beer production and cleaning process [J]. *Beer Science and Technology*, 2017, 31(1): 37-45
- [10] 王磊. 对生物发酵过程采用基于支持向量机的内模控制应用[J]. *西部皮革*, 2017, 39(12): 24-24
- WANG Lei. The application of internal model control based on support vector machine in biological fermentation process [J]. *Western Leather*, 2017, 39(12): 24-24
- [11] 马腾, 何连顺, 米造吉, 等. L-精氨酸发酵条件中溶氧、PH 控制的优化[J]. *中国科技纵横*, 2017, 11(2): 54-59
- MA Teng, HE Lian-shun, MI Zuo-ji, et al. Optimization of dissolved oxygen and PH control in L-arginine fermentation conditions [J]. *China Science and Technology*, 2017, 11(2): 54-59
- [12] 户红通, 徐达, 刘子强, 等. 谷氨酸发酵过程膜偶联间歇透析发酵工艺研究[J]. *食品与发酵科技*, 2018, 21(1): 34-39
- HU Hong-tong, XU Da, LIU Zi-qiang, et al. Membrane-coupled intermittent dialysis fermentation process for glutamic acid fermentation [J]. *Food and Fermentation Technology*, 2018, 21(1): 34-39

(上接第 139 页)

- [23] 刘娟, 吴伟杰, 郜海燕, 等. 贮藏温度对鲜切火龙果品质及微生物的影响[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(10): 168-175
- LIU Juan, WU Wei-jie, GAO Hai-yan, et al. Effects of different storage temperatures on quality and microorganism of fresh-cut pitaya [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(10): 168-175
- [24] 王海莉, 肖生苓, 岳金权, 等. 不同保鲜剂含量的保鲜纸对番茄保鲜效果的研究[J]. *食品科技*, 2015, 40(9): 325-330
- WANG Hai-li, XIAO Sheng-ling, YUE Jin-quan, et al. Study on the different preservative contents preservative papers on the fresh keeping effects of tomatoes [J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(9): 325-330
- [25] 姜爱丽, 胡文忠, 田密霞, 等. 纳他霉素在草莓保鲜中应用的研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(12): 515-520
- JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, TIAN Mi-xia, et al. Study on utilization of natamycin in storage of strawberry fruit [J]. *Food Science*, 2007, 28(12): 515-520