

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.10.029

纯牛奶品牌识别中电子舌传感器阵列优化*

吴从元¹ 王俊¹ 肖宏^{1,2} 韦真博¹ 于勇¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029; 2. 韶关学院英东生物工程学院, 韶关 512005)

【摘要】 选取伊利、新希望、美丽健、蒙牛和光明纯牛奶作为研究对象,采用电子舌系统对这5个品牌纯牛奶进行了检测。单因素方差分析结果表明,纯牛奶品牌对各个传感器响应信号具有极显著的影响,通过剔除 F 值和决定系数 R^2 较小的传感器变量优化传感器阵列。对原始数据和优化数据(剔除BA传感器,剔除BA、BB传感器,剔除BA、BB、HA传感器,剔除BA、BB、HA、GA传感器)进行的主成分分析结果表明,剔除BA、BB、HA、GA传感器数据在区分纯牛奶品牌方面比其他数据更有效。采用逐步判别分析进行识别,校正集所有数据识别率均达到100%,剔除BA、BB、HA、GA传感器数据和剔除BA传感器数据的预测集识别率均达到90%,但剔除BA、BB、HA、GA传感器数据仅包含3个传感器变量,表明它对纯牛奶品牌具有最佳识别效果。单因素方差分析通过剔除不显著的传感器响应信号能够优化电子舌传感器阵列并且提高电子舌的识别性能。

关键词: 纯牛奶 电子舌 单因素方差分析 主成分分析 逐步判别分析

中图分类号: TP212.2; TS252.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)10-0138-05

Optimization of Electronic Tongue Sensors Array in Identifying the Brands of Pure Milk

Wu Congyuan¹ Wang Jun¹ Xiao Hong^{1,2} Wei Zhenbo¹ Yu Yong¹

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2. Henry FOK Bioengineering College, Shaoguan University, Shaoguan 512005, China)

Abstract

Pure milks, such as Yili, Xinxiwang, Meilijian, Mengniu and Guangming, were selected and detected by an electronic tongue. The results of one-way analysis of variance showed that brands had a very obvious effect on sensors signals of pure milks. Sensors array was optimized by removing sensors variable of small F and R^2 . Principal component analysis (PCA) was applied to original data and optimized data (without BA sensor; without BA, BB sensors; without BA, BB, HA sensors; without BA, BB, HA, GA sensors). Results indicated that the optimized data without BA, BB, HA, GA sensors was more effective than the other data in distinguishing the brands of pure milks. Stepwise discriminant analysis was used to recognize, the identification rates of all data in the calibration sets were 100%. In the prediction sets, the identification rates of optimized data without BA, BB, HA, GA sensors and without BA sensor were both 90%, but the optimized data without BA, BB, HA, GA sensors only included three sensors variables and showed the best identification effects on the brands of pure milks. One-way analysis of variance could optimize the sensors array of electronic tongue by removing unremarkable sensor signals and improve the recognition performance of electronic tongue.

Key words Pure milk, Electronic tongue, One-way analysis of variance, Principal component analysis, Stepwise discriminant analysis

收稿日期: 2009-08-28 修回日期: 2009-12-26

* 国家自然科学基金资助项目(30771246)、教育部新世纪优秀人才基金资助项目(NCET-04-0544)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目

作者简介: 吴从元, 硕士生, 主要从事电子舌应用技术研究, E-mail: wcy789yiling@163.com

通讯作者: 王俊, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品品质检测研究, E-mail: jwang@zju.edu.cn

引言

牛奶是一种营养成分齐全、组成适宜、易消化吸收的天然优质食品,但在市场上牛奶品牌很多,品质存在差异。另外,由于牛奶生产厂家受利益最大化的驱使,牛奶质量良莠不齐,影响了消费者的正常消费,因此牛奶的区分辨识备受牛奶行业和社会的广泛关注。

近年来,国外研究工作者开始尝试研究电子舌区分和检测牛奶^[1-5]。虽然属于一种尝试性研究,但说明电子舌在饮料和牛奶识别中具有较好的应用前景。

目前,国内研究领域将电子舌应用于牛奶检测仍处于起步阶段,未见相关研究报道。国内对于牛奶的区分辨识仍采用传统的化学分析方法和人工感官评定方法,存在着操作繁琐且样品经过复杂前处理而致使检测效率不高的情况。电子舌操作简单,不需要对样品进行前处理,且是对样品整体质量特征进行检测。但电子舌并不是每个传感器都对所检测液体具有很大响应,因此,本文研究电子舌对不同品牌纯牛奶的识别能力和方差分析对电子舌传感器阵

列的优化。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

采用当地超市购买刚上市的 5 个品牌(伊利、新希望、美丽健、蒙牛、光明)纯牛奶,并在试验前密封保存,防止其氧化变质。

1.2 试验仪器

试验采用法国 Alpha. MOS 公司的 α -ASTREE 型电子舌系统,其包含 7 个化学选择性区域效应传感器阵列和 1 个 Ag/AgCl 参比电极,每个传感器具有不同分子膜,对不同味道产生选择性吸附。表 1 列出了 7 个传感器阵列对 5 种基本味觉呈味物质检测限,即传感器感受到某种物质最低浓度(mol/L)。检测限值越低,传感器感受性越高。 α -ASTREE 型电子舌传感器的响应信号值是传感器电极接触到样品溶液后的电势 V 和参比电极(Ag/AgCl)的电势 V_0 的差值(单位为 mV)。仪器主要包括:传感器阵列、自动进样器、电子舌主机(数据采集系统和自动进样器控制系统)和计算机(与电子舌配套的数据分析软件)。

表 1 ASTREE 电子舌传感器阵列及其检测限

Tab.1 Detection threshold of ASTREE sensors array

mol/L

基本 味觉	呈味 物质	传感器						
		ZZ	BA	BB	CA	GA	HA	JB
酸	HCl	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}
咸	NaCl	10^{-6}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}
甜	Glucose	10^{-7}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
苦	Caffeine	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
鲜	MSG	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}

1.3 试验方法

在对样本未进行任何预处理的前提下,量取纯牛奶 80 mL 倒入 120 mL 电子舌专用烧杯中,并置入电子舌自动进样器上,采用校准溶液(超纯水)和纯牛奶样本交替的检测序列进行检测。每个品牌检测 24 个样本,5 个品牌纯牛奶共检测 120 个样本。对每个纯牛奶样本,由 α -ASTREE 型电子舌检测仪获取传感器响应信号数据,间隔大约 3 min 记录一次传感器响应信号值,每个样本重复检测两次,将两次测量平均值作为样本味觉信号原始数据。不同品牌纯牛奶样本作为矩阵的行,7 个传感器响应信号值作为矩阵的列,构成 120×7 数据矩阵。

1.4 分析方法

由 SAS 8.2 统计分析软件对数据进行方差分析、主成分分析和逐步判别分析。

2 结果与分析

2.1 传感器响应信号分析

图 1a 为伊利纯牛奶传感器响应信号图。从图中可以看出,各个传感器对于样本的响应不同。前 20 s 内,传感器 BA 的响应信号强度迅速增加,传感器 BB 的响应信号强度迅速减小,而传感器 JB、CA、ZZ、GA、HA 的响应信号强度则缓慢降低。20 ~ 80 s 过程内,除了传感器 BA 响应信号强度缓慢升高外,其余 6 个传感器响应信号曲线变化较小。80 ~ 120 s 的过程内,所有传感器的响应信号强度均趋于稳定,达到动态平衡。因此提取第 120 s 的传感器响应信号值数据进行分析。图 1b 为新希望纯牛奶传感器响应信号图(未列出美丽健、蒙牛和光明纯牛奶的传感器响应信号图)。图 1 表明,虽总体变化规律

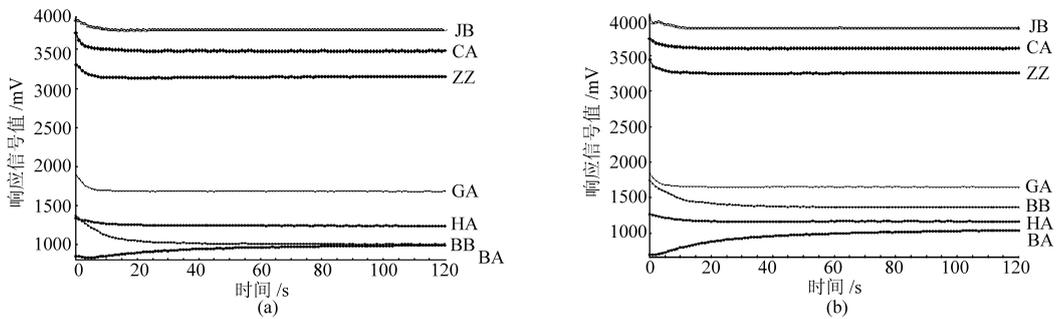


图1 纯牛奶的传感器响应信号图

Fig.1 Response signal of sensors for pure milk

(a) 伊利 (b) 新希望

有类似,但不同品牌纯牛奶传感器响应信号之间仍存在差异。

2.2 单因素方差分析

采用 SAS 软件的 MEANS 过程对 5 个品牌纯牛奶的电子舌传感器响应信号值进行分析,其结果如

表 2 所示。传感器 ZZ、CA、JB 响应信号平均值较大,表明它们对样本具有较强烈的响应;传感器 BB 变异系数 $CV^{[6]}$ 最大,表明其响应信号值离散程度最大;而传感器 CA 和 JB 变异系数 CV 较小,表明其响应信号值离散程度较小。

表 2 传感器响应信号的简单统计值

Tab.2 Simple statistics of response signals of sensors

参数	传感器						
	ZZ	BA	BB	CA	GA	HA	JB
样品数/个	120	120	120	120	120	120	120
最大值/mV	3 265.03	1 080.66	1 274.56	3 606.59	1 773.85	1 235.35	3 895.21
最小值/mV	3 036.66	912.10	907.37	3 412.85	1 535.42	1 122.47	3 689.58
平均值/mV	3 138.86	1 015.38	1 015.36	3 501.08	1 641.19	1 170.62	3 779.51
标准差/mV	70.01(2.23%)	37.06(3.65%)	77.31(7.61%)	58.12(1.66%)	50.26(3.06%)	30.60(2.61%)	60.34(1.60%)

采用 SAS 软件的 ANOVA 过程研究 5 个纯牛奶品牌对电子舌各个传感器响应信号的影响(表 3)^[7]。因素是 5 个纯牛奶品牌的 5 个处理。由表 3 可知,各个传感器的单因素方差分析模型都是极显著的,显著水平均小于 0.000 1,表明纯牛奶品牌对各个传感器响应信号具有极显著影响,意味着

利用传感器响应信号可以区分纯牛奶品牌。 F 值和决定系数 R^2 由小到大的传感器排列顺序依次为 BA、BB、HA、GA、JB、CA 和 ZZ, F 值和决定系数 R^2 越小,传感器对纯牛奶品牌的区分能力越弱。因此考虑逐步剔除 F 值和决定系数 R^2 较小的传感器变量获得区分纯牛奶品牌的最佳传感器变量。

表 3 传感器的单因素方差分析结果

Tab.3 Results of one-way analysis of variance for seven sensors

参数	传感器						
	ZZ	BA	BB	CA	GA	HA	JB
F 值	422.43	7.38	32.78	378.00	65.37	38.72	311.87
决定系数 R^2	0.936 3	0.204 3	0.532 8	0.929 3	0.694 6	0.573 9	0.915 6
显著水平 P	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1

2.3 主成分分析识别不同品牌纯牛奶

由于各传感器对纯牛奶品牌区分的贡献率可能不同,因此逐渐剔除传感器后采用主成分分析区分纯牛奶品牌。采用 SAS 软件对各类数据进行主成分分析,根据主成分得分绘制二维得分图^[8](图 2)。

由图 2a 可知,第一、二主成分方差贡献率分别为 53.50%、17.76%,前 2 个主成分累计方差贡献率为 71.26%,伊利、美丽健、蒙牛 3 个品牌间呈现相互重叠现象;由图 2b 可知,第一、二主成分方差贡献率分别为 60.58%、19.55%,前 2 个主成分累计方差贡

献率为 80.13%, 美丽健与伊利、蒙牛呈现重叠现象; 由图 2c 可知, 第一、二主成分方差贡献率分别为 59.37%、23.35%, 前 2 个主成分累计方差贡献率为 82.72%, 美丽健与蒙牛呈现重叠现象; 由图 2d 可知, 第一、二主成分方差贡献率分别为 73.24%、26.04%, 前 2 个主成分累计方差贡献率为 99.28%, 光明与蒙牛 2 个品牌的组间距较小, 基本区分 5 个品牌纯牛奶; 由图 2e 可知, 第一、二主成分方差贡献率分别为 97.31%、2.52%, 前 2 个主成分累计方差贡献率为 99.83%, 5 个品牌纯牛奶完全能够区分。

传感器多时, 可能存在传感器对各品牌牛奶所表现出的相类似信息也多, 导致伊利、美丽健、蒙牛 3 个品牌间可能呈现主成分分析后相互重叠现象。从图 2 可知, 随着被剔除传感器的增加, 电子舌所获取的牛奶响应信息也较少, 表现出区分效果更佳, 这可能与被剔除传感器的响应信号中存在着伊利、美丽健、蒙牛品牌间相类似的信息较多有关。

主成分分析表明, 随着剔除传感器变量的增加, 前 2 个主成分累计方差贡献率也逐渐增加, 二维得分图对 5 个品牌纯牛奶的区分能力也逐渐增强, 剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据 (如图 2e) 对 5 个品牌纯牛奶表现出最佳的区分能力。

2.4 逐步判别分析识别不同品牌纯牛奶

在主成分分析的基础上, 进一步采用逐步判别分析识别不同品牌纯牛奶, 以期获得区分纯牛奶品牌的最佳传感器变量。试验样品是 5 个品牌纯牛奶, 每个品牌检测 24 个样本, 共计 120 个样本。120 个样本分为校正集和预测集, 每个品牌取前 16 个样本作为校正集和后 8 个样本作为预测集。校正集样本总数为 80 个, 预测集样本总数为 40 个。

采用 SAS 软件的 Stepdisc 过程逐步筛选变量, 然后使用 Discrim 过程取出判别公式, 实现判别分析。将原始数据, 剔除 BA 传感器数据, 剔除 BA、BB 传感器数据, 剔除 BA、BB、HA 传感器数据和剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据分别作为逐步判别分析的输入数据, 引入变量显著性水平和剔除变量显著性水平分别采用默认值 0.15 和 0.15, 根据 F 统计量, 每类数据所有传感器变量全部被选入。逐步判别分析模型对所有数据校正集样本的识别率均为 100%, 对预测集样本的判别结果如表 4~8 所示。比较表 4~8, 伊利、新希望和光明 3 个品牌均能完全识别; 对于蒙牛品牌, 除剔除 BA 传感器数据 (表 5) 将 3 个蒙牛样本误判为光明样本之外, 其余数据 (表 4、表 6、表 7 和表 8) 均将 4 个蒙牛样本误判为光明样本; 对于美丽健品牌, 原始数据 (表 4),

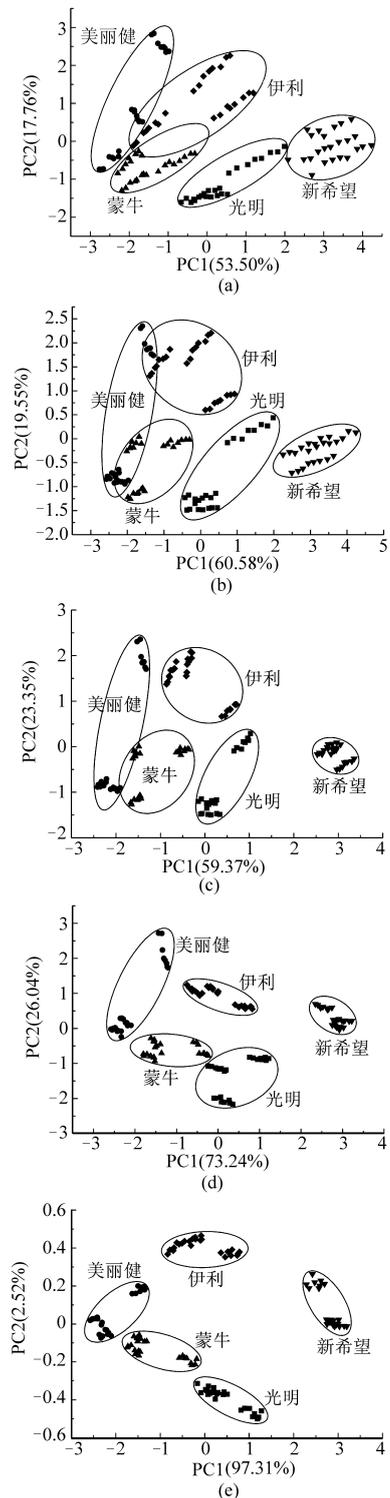


图 2 不同品牌纯牛奶主成分分析得分图

Fig. 2 Principal component analysis (PCA) score plot of pure milk in various brands

- (a) 原始数据 (b) 剔除 BA 传感器数据
(c) 剔除 BA、BB 传感器数据 (d) 剔除 BA、BB、HA 传感器数据
(e) 剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据

剔除 BA 传感器数据 (表 5), 剔除 BA、BB 传感器数据 (表 6), 剔除 BA、BB、HA 传感器数据 (表 7) 和剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据 (表 8) 的识别率分别为 50%、87.5%、75%、87.5% 和 100%, 其中剔除

BA、BB、HA、GA 传感器数据对美丽健品牌的识别率最高。因此,原始数据,剔除 BA 传感器数据,剔除 BA、BB 传感器数据,剔除 BA、BB、HA 传感器数据和剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据的总体识别率分别为 80%、90%、85%、87.5% 和 90%,其中剔除 BA 传感器数据和剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据均达到 90% 的识别率,相比较而言,剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据只用 3 个传感器变量就达到与剔除 BA 传感器数据的 6 个传感器变量相同的识别率。试验结果表明,剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据对纯牛奶品牌具有最佳识别效果。

表 4 原始数据预测集的判别结果

Tab.4 Discriminating results of the original data in the prediction set

样本品牌	样本数目	识别结果					个体识别率/%	总体识别率/%
		伊利	新希望	美丽健	蒙牛	光明		
伊利	8	8	0	0	0	0	100	80
新希望	8	0	8	0	0	0	100	
美丽健	8	0	0	4	4	0	50	
蒙牛	8	0	0	0	4	4	50	
光明	8	0	0	0	0	8	100	

表 5 剔除 BA 传感器数据预测集的判别结果

Tab.5 Discriminating results of the optimized data without BA sensor in the prediction set

样本品牌	样本数目	识别结果					个体识别率/%	总体识别率/%
		伊利	新希望	美丽健	蒙牛	光明		
伊利	8	8	0	0	0	0	100	90
新希望	8	0	8	0	0	0	100	
美丽健	8	0	0	7	1	0	87.5	
蒙牛	8	0	0	0	5	3	62.5	
光明	8	0	0	0	0	8	100	

表 6 剔除 BA、BB 传感器数据预测集的判别结果

Tab.6 Discriminating results of the optimized data without BA, BB sensors in the prediction set

样本品牌	样本数目	识别结果					个体识别率/%	总体识别率/%
		伊利	新希望	美丽健	蒙牛	光明		
伊利	8	8	0	0	0	0	100	85
新希望	8	0	8	0	0	0	100	
美丽健	8	0	0	6	2	0	75	
蒙牛	8	0	0	0	4	4	50	
光明	8	0	0	0	0	8	100	

表 7 剔除 BA、BB、HA 传感器数据预测集的判别结果

Tab.7 Discriminating results of the optimized data without BA, BB, HA sensors in the prediction set

样本品牌	样本数目	识别结果					个体识别率/%	总体识别率/%
		伊利	新希望	美丽健	蒙牛	光明		
伊利	8	8	0	0	0	0	100	87.5
新希望	8	0	8	0	0	0	100	
美丽健	8	0	0	7	1	0	87.5	
蒙牛	8	0	0	0	4	4	50	
光明	8	0	0	0	0	8	100	

表 8 剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据预测集的判别结果

Tab.8 Discriminating results of the optimized data without BA, BB, HA, GA sensors in the prediction set

样本品牌	样本数目	识别结果					个体识别率/%	总体识别率/%
		伊利	新希望	美丽健	蒙牛	光明		
伊利	8	8	0	0	0	0	100	90
新希望	8	0	8	0	0	0	100	
美丽健	8	0	0	8	0	0	100	
蒙牛	8	0	0	0	4	4	50	
光明	8	0	0	0	0	8	100	

3 结论

(1) 单因素方差分析表明,纯牛奶品牌对各个传感器响应信号具有极显著影响,意味着利用传感器响应信号可以区分纯牛奶品牌。 F 值和决定系数 R^2 越小,传感器对纯牛奶品牌的区分能力越弱。因此,探索性地采用剔除 F 值和决定系数 R^2 较小的传感器变量来优化传感器阵列。

(2) 主成分分析结果表明,前 2 个主成分累计方差贡献率随着剔除传感器变量的增加而增加,剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据的前 2 个主成分累计方差贡献率达到了 99.83%,它对 5 个品牌纯牛奶表现出最佳的区分能力。

(3) 逐步判别分析表明,所有数据校正集样本的识别率均为 100%,但预测集样本剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据仅用 3 个传感器变量就达到与剔除 BA 传感器数据的 6 个传感器变量相同的识别率(90%),剔除 BA、BB、HA、GA 传感器数据对纯牛奶品牌具有最佳识别效果。

参 考 文 献

- Ciosek P, Wroblewski W. Miniaturized electronic tongue with an integrated reference microelectrode for the recognition of milk samples[J]. Talanta, 2008, 76(3): 548 ~ 556.
- Ciosek P, Brzozka Z, Wroblewski W. Electronic tongue for flow-through analysis of beverages[J]. Sensors and Actuators B, 2006, 118(1~2): 454 ~ 460.

- Shen Dechao, Wang Zhihua, Yin Yanghao. Effect of main parameters of extrusion system for extrusion cooking of degermed maize as beer adjunct on saccharifying[J]. Transactions of the CSAE, 2006,22(12):234~237. (in Chinese)
- 13 申德超,李杨,吴勃. 挤压蒸煮大麦作啤酒辅料的糖化试验研究[J]. 农业机械学报,2007,38(1):100~103.
Shen Dechao, Li Yang, Wu Bo. Study on saccharification experiment for extrusion cooked barley used as beer adjunct[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(1):100~103. (in Chinese)
- 14 纪伟光,申德超,钱东平. 挤压加酶大米啤酒辅料的糖化过程试验研究[J]. 农机化研究,2009,31(1):182~184.
Ji Weiguang, Shen Dechao, Qian Dongping. Experimental saccharification process studies on extrusion enzyme rice used as beer adjunct[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2009,31(1):182~184. (in Chinese)
- 15 段提勇,申德超. 挤压加酶大米作啤酒辅料的试验研究[J]. 东北农业大学学报,2009,40(1):112~114.
Duan Tiyong, Shen Dechao. Study on extrusion rice added enzyme preparation as beer adjuncts[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009,40(1):112~114. (in Chinese)
- 16 申德超,奚可畏,马成业. 低温挤压加酶脱胚玉米粉生产糖浆糖化试验[J]. 农业机械学报,2010,41(8):140~145.
Shen Dechao, Xi Kewei, Ma Chengye. Saccharifying experiment of degermed corn with added enzyme extruded at low temperature for production of corn syrup[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(8):140~145. (in Chinese)
- 17 顾国贤. 酿造酒工艺学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001:14~22.
- 18 张祖莲. 浅谈糖化生产控制与麦汁碘值的关系[J]. 啤酒科技,2005(12):36~37.
- 18 孟爽. 大米挤压膨化的试验研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学工程学院,2004.
Meng Shuang. The test study on extruded rice[D]. Harbin:Northeast Agricultural University,2004. (in Chinese)
- 20 徐中儒. 农业试验最优回归设计[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1988:359~368.
- 21 申德超,刘尼亚,王国庆. 挤压蒸煮小麦作啤酒辅料的糖化试验[J]. 农业机械学报,2008,39(3):71~74.
Shen Dechao, Liu Niya, Wang Guoqing. Saccharification experiment for extrusion cooked wheat used as beer adjunct[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(3):71~74. (in Chinese)

(上接第 142 页)

- 3 Winquist F, Holmin S, Krantz - Rulcker C, et al. A hybrid electronic tongue[J]. Analytica Chimica Acta,2000,406(2):147~157.
- 4 Winquist F, Bjorklund R, Krantz - Rulcker C, et al. An electronic tongue in the dairy industry[J]. Sensors and Actuators B, 2005;111~112,299~304.
- 5 Mottram T, Rudnitskaya A, Legin A, et al. Evaluation of a novel chemical sensor system to detect clinical mastitis in bovine milk[J]. Biosensors and Bioelectronics,2007,22(11):2689~2693.
- 6 张应华,刘先省,王娟. 基于变异系数的多传感器数据判别方法[J]. 河南大学学报:自然科学版,2007,37(2):187~190.
Zhang Yinghua, Liu Xianxing, Wang Juan. A method of discriminatory analysis for multi-sensors data based on coefficient variation[J]. Journal of Henan University: Natural Science,2007,37(2):187~190. (in Chinese)
- 7 于慧春,王俊,张红梅,等. 龙井茶叶品质的电子鼻检测方法[J]. 农业机械学报,2007,38(7):103~106.
Yu Huichun, Wang Jun, Zhang Hongmei, et al. Measurement of the Longjing tea quality by using an electronic nose[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(7):103~106. (in Chinese)
- 8 殷勇,于慧春,孙秀丽. 无封装条件下牛奶存放质量电子鼻分析[J]. 农业机械学报,2010,41(3):149~152.
Yin Yong, Yu Huichun, Sun Xiuli. Storage quality analysis of milk in non-encapsulation condition based on electronic nose[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(3):149~152. (in Chinese)