



# 电子舌在食品感官品评中的应用

蒋丽施

(西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** 电子舌是以人类味觉感受机理为基础研究开发的一种新型现代化分析检测仪器, 通过传感器阵列代替生物味觉味蕾细胞感测检测对象, 经系统的模式识别方法得到结果。本文介绍电子舌技术的结构特点及目前研究现状, 并综述电子舌在初级农产品分级, 茶、酒、饮料等食品感官品质鉴别方面的研究进展。

**关键词:** 电子舌; 研究现状; 食品; 感官评价

## Electronic Tongue in the Sensory Evaluation of Food

JIANG Li-shi

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Electric tongue is a novel analytical equipment designed based on human taste mechanism, detects samples with sensor arrays instead of biological taste buds, and gives analytical results by systematic pattern recognition methods. This paper briefly describes the structural characteristics of electric tongue and the current research status, and reviews research progresses in the classification of primary agricultural products and sensory quality identification of foods including tea, liquor, beverages, and so on.

**Key words:** electric tongue; current research status; food; sensory evaluation

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-8123(2011)02-0049-04

目前检测食品质量的方法有感官评定法、化学分析法和物理化学法。感官评定法依赖经过长期训练、拥有特殊味觉判别能力的品评专家来判断, 特别是像酒类、茶类等风味消费食品, 很多时候难以找到适合的人选; 化学法繁琐、实时性差; 物理化学法对仪器的要求比较高。此外由于人的感觉器官在分辨力、敏感度、稳定性等方面的个体差异, 以及极易受外界因素的干扰, 使得食品的感官审评无法做到完全标准化和真正客观化。最近几十年, 随着社会对食品无损、快速、智能检测技术的需求, 感官仿生技术研究逐渐成为众多科学工作者追逐的热点课题。而关于电子舌的研究才刚刚兴起, 研究尚不成熟, 开发出的产品也还处在前期试用阶段。本文介绍了电子舌技术的结构特点及目前研究现状, 以期对电子舌在食品感官评价中的应用提供一定的参考依据。

## 1 电子舌概况

### 1.1 电子舌的概念

电子舌(electronic tongue, ET)是一种利用多传感阵列感测液体样品的特征响应信号, 通过信号模式识别处

理及专家系统学习识别, 对样品进行定性或定量分析的一类新型分析测试技术设备。它的使用原理是使用类似于生物系统的材料作传感器的敏感膜, 当类脂薄膜的一侧与味觉物质接触时, 膜电势发生变化, 从而产生响应, 检测出各类物质之间的相互关系。这种味觉传感器具有高灵敏性、可靠性、重复性, 它可以对样品进行量化, 同时可以对一些成分含量进行测量<sup>[1]</sup>。

### 1.2 电子舌系统结构及其特点

由电子舌的定义及原理可以将其系统结构分成3个主要部分: 1)交互感应传感器阵列: 常用的传感器包括电位分析的传感器, 伏安分析的传感器、光学方法的传感器(如光寻址电位传感器(LAPS))等; 2)自学习专家数据库; 3)模式识别方法: 如主成分分析法(PCA)、人工神经网络法(SOM)、偏最小二乘法、简单优劣判别分析法等。传感器阵列相当于生物系统的舌头, 自学习专家数据库仿佛生物体的记忆系统, 模式识别系统如同生物体的大脑运算方式。

电子舌系统不同于其他的物理化学检测系统, 概括说来, 电子舌系统的特点有: 1)测试对象为溶液化样品, 采集的信号为溶液特性的总体响应强度, 而非某

收稿日期: 2010-09-27

作者简介: 蒋丽施(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品安全与质量控制。E-mail: tuotuoxy@sina.com



个特定组分浓度的响应信号；2)从传感器阵列采集的原始信号，要通过数学方法处理，才能够区分不同检测对象的属性差异；3)它所描述的特征与生物系统的味觉不是同一概念；4)电子舌重点不是在于测出检测对象的化学组成及各个组分的浓度多少以及检测限的高低，而是在于反映检测对象之间的整体特征差异性，并且能够进行辨识。

### 1.3 电子舌系统的研究现状

现在国外主要有 Toko<sup>[2]</sup>和 Beullens<sup>[3]</sup>等对电位型电子舌、Winqvist 等<sup>[4]</sup>对伏安型电子舌、Riul 等<sup>[5]</sup>对阻抗谱型电子舌、Sehra 等<sup>[6]</sup>对声波型电子舌的研究以及近年出现的新型电子舌如光寻址型电子舌和多频脉冲电子舌等。目前较典型的电子舌系统有法国的 Alpha MOS 系统和日本的 Kiyoshi Toko 电子舌。法国的 Alpha MOS 公司生产的电子舌系统占有全世界 99% 以上的电子舌市场，在食品、医药、环境、化工等领域都有很好的应用。

## 2 电子舌在食品感官评价上的应用

已有的传统感官品评方法人为因素较大，结果缺乏客观性和一致性。随着科学的发展，电子鼻、电子舌技术及风味嗅闻仪器、味觉检测仪逐渐被引用到食品的感官品评中<sup>[7]</sup>。电子舌作为一种快速检测味觉品质的新技术，能够以类似人的味觉感受方式检测出味觉物质，可以对样品进行量化，同时可以对一些成分含量进行测量，具有高灵敏度、可靠性、重复性。由于电子舌的这些优势，目前该技术在饮料鉴别与区分、酒类产品(啤酒、清酒、白酒和红酒)区分与品质检测、农产品识别与分级、航天医学检测、制药工艺研究、环境监测等中有较多应用<sup>[8]</sup>。电子舌的兴起就是从对食品的鉴别中发展而来的，现在，电子舌在食品感官品质鉴别上的应用研究层出不穷。

### 2.1 在初级农产品检测与分级中的应用

关于电子舌应用于初级农产品如果蔬、水产品、禽畜肉产品新鲜度和分级方面的评价有很多研究<sup>[9]</sup>。在果蔬方面，国内外在番茄的检测与分级方面的研究比较多。Beullens 等<sup>[10]</sup>采用电子舌研究了 4 种栽培方式的番茄的鉴别，发现电子舌能够从糖、酸两个角度将不同栽培方式的番茄区分开来。在水产品方面，Legin 等<sup>[11]</sup>采用由 4 个晶体管传感器和 7 个 PVC 膜传感器组成的电子舌检测了几种鱼肉(样品需前处理)，结果表明电子舌能够辨别新鲜的鱼和变质的鱼，海水鱼和淡水鱼。黄丽娟<sup>[12]</sup>应用多频大幅脉冲电子舌对新鲜猪肉进行评价研究，发现电子舌对不同品种、部位、贮存时间等条件下的各肉样肉质(猪肉为样品)差异能够有效区分，并能很好地反映肉品在贮存过程中特定的整体变化规律，为

利用电子舌进行肉品新鲜度和货架寿命的监控提供了实验基础，表明电子舌在肉品评价研究中具有重要的应用价值。

### 2.2 在茶叶评审中的鉴别应用

茶叶品质的优次是由外形、汤色、香气、滋味和叶底 5 个审评因子所决定的，其 5 个因子之间都有一定的相互联系，所以茶叶的质量评审都是通过专业人士的感官分析评价对茶叶进行分级。Lvova 等<sup>[13]</sup>首先将电子舌引入茶叶研究，利用全固态电子舌微系统对韩国绿茶的多种组分进行定量测定。Ivarsson 等<sup>[14]</sup>报道了铌电极、铂电极在大振幅的脉冲循环伏安法中配合主成分分析能对特定的茶进行区分。近年来，Tian 等<sup>[15]</sup>采用不同频段下的大振幅脉冲循环伏安法(MLAPV)，成功地使用电子舌分析了 6 种国产精馏酒精和 7 种龙井茶。Ivarsson 等<sup>[16]</sup>应用电子舌很好的区分了红茶、绿茶和乌龙茶 3 种不同的茶。吴坚等<sup>[17]</sup>用由铜电极、一个对电极(铂电极)和一个参比电极(银/氯化银)组成的电子舌检测 5 种绿茶，将在铜电极上获得的循环伏安电信号用主成分分析的方法，结果表明该电子舌可以将这 5 种绿茶清楚地区分开。Chen 等<sup>[18]</sup>将人工神经网络与电子舌技术相结合，对不同等级的茶叶进行检测，提高了检测效率和准确率。贺玮等<sup>[19]</sup>对 3 个等级 15 种普洱茶分别进行了感官审评与电子舌测定，证明即使是特征十分相近的茶叶，电子舌也能做很好的区分。童城<sup>[20]</sup>研究发现电子舌不仅对同一品种的不同茶叶能很好的区分，对绿、红、青、黄、白、黑六大茶类由于发酵程度不同的差别也能进行很好的区分，同时对不同加工方式的绿茶，不同产地的红茶都能进行很好的区分，并且发现电子舌检测的各茶样之间的相对距离与感官品质滋味评语之间存在着基本一致的趋势。王新宇等<sup>[21]</sup>以 4 个等级的炒青为研究对象，应用法国  $\alpha$ -ASTREE 电子舌检测装置并辅以模式识别对茶叶的质量进行评估，利用反向神经网络(BP-ANN)建立了判别模型，发现当提取 5 个主成分因子来建立模型时，模型对不同等级的茶叶识别率均达到 100%。

### 2.3 在软饮料鉴别与区分中的应用

在这一领域，国内外已有较多研究，主要是在茶饮料、矿泉水、果汁和咖啡等方面的研究。

Toko<sup>[22]</sup>采用自行研制的多通道类脂膜传感器阵列组成的电子舌对 41 种品牌的矿泉水进行检测，发现味觉传感器能够区分不同品牌之间的矿泉水。滕炯华等<sup>[23]</sup>研究的由多个性能彼此重叠的味觉传感器阵列组成的电子舌，能够识别出几种不同的果汁饮料(苹果、菠萝、橙子和红葡萄)，且识别率达到了 94%。牛海霞<sup>[24]</sup>采用多频脉冲电子舌用主成分分析的方法对 6 种不同的茶饮料(康师傅绿茶、康师傅冰红茶、康师傅大麦香茶、康



傅茉莉清茶、王老吉、统一乌龙茶)进行区分辨识。结果显示,钛(10Hz)钨(100Hz)组合电极能够对6种茶饮料有较好的区分辨识效果。

姜莎等<sup>[25]</sup>应用法国 Alpha M.O.S 公司生产的传感器型电子舌对中国市场上已有的7种红茶饮料进行检测,所得数据用主成分分析法(PCA)和聚类分析法(CA)进行分析。结果表明,该电子舌可以很好地区分这7种红茶饮料。由此可见,电子舌在茶饮料的品牌区分、质检以及真伪辨识中有巨大的应用潜力。

#### 2.4 在酒类鉴别与评价中的应用

电子舌在酒类方面的应用,尤其在品牌的鉴定、异味检测、新产品的研发、原料检验、蒸馏酒品质鉴定、制酒过程管理的监控方面大有用武之地。

早在1996年, Liyama 等<sup>[26]</sup>利用味觉传感器和葡萄糖传感器对日本米酒的品质进行了检测,并利用主成分分析法进行模式识别,最后显示出两维的信号图,说明电子舌的通道输出值与滴定酸度、糖度之间具有很大的相关性。同年, Arikawa 等<sup>[27]</sup>采用多通道味觉传感器体系检测清酒酒糟中的可滴定酸和酒精体积分数,发现其中一个带正电的膜对酒精的响应与气相色谱检测的结果相一致。Legin 等<sup>[28]</sup>使用由30个传感器组成阵列的电子舌技术对4种不同类别的啤酒进行测试,结果表明,电子舌技术能清楚地显示各种啤酒的味觉特征,且能够给出重复稳定的信号。Ciosek 等<sup>[29]</sup>选择由离子选择电极和部分选择电子组成的流通传感器阵列电子舌,采用 PLS 和 ANN 技术组合对数据进行分析,对不同生产日期、不同生产地的同一品牌的啤酒进行了正确区分。

在葡萄酒方面, Rudnitskaya 等<sup>[30]</sup>对2至几十年不同品种的160个 Portwine 样品进行了电子舌检测和理化指标分析,结果表明电子舌检测结果与理化指标分析的结果基本一致。同时他还采用传感器输出信号对 Portwine 进行酒龄预测,其误差在5年左右,当对10~35年的 Portwine 进行预测时,其误差在1.5年内,表明电子舌在预测 Portwine 酒龄时具有可行性。Dinatale 等<sup>[31]</sup>采用由两组基于气体和液体的金属叶传感器分析了红酒,结果表明电子舌具有定性和定量分析的能力,且其准确性比化学指标的误差范围更小。李华等<sup>[32]</sup>应用电子舌技术,对昌黎原产地不同品种(赤霞珠、梅尔诺、西拉、佳美)、不同年份的干红葡萄酒进行了检测,通过主成分分析法对检测结果分析,发现各葡萄酒样在各自的区域范围内互不干扰,说明了电子舌对昌黎原产地不同品种、不同年份的干红葡萄酒有很好的区分效果。张夏宾等<sup>[33]</sup>应用由丝网印刷电极、检测电路和调幅扫描脉冲等组成的高性能调幅脉冲扫描方法的电子舌系统对6种不同品牌的干红葡萄酒进行了测量,并通过特征值提取和主成分分析对数据进行了分析处理和识别研究,表明

该电子舌系统能够很好区分不同品牌的葡萄酒。

在白葡萄酒评方面,王永维等<sup>[34]</sup>采用 PCA 和 DFA 的两种数据分析方法处理电子舌传感器对不同白酒的响应信号,两种方法均能够很好地区分同一档次不同品牌(银剑南、泰山特曲、茅台国典)的白酒。

#### 2.5 在其他固态食品中的感官评价

张浩玉等<sup>[35]</sup>选用10种不同口味的醋豆产品,在4种不同的稀释浓度下,用 Astree II 电子舌采集数据,对采集到的味觉信号数据进行分析和处理,并建立费歇尔(Fisher)多级判别模型、三层 BP 神经网络模型对醋豆的类型进行判别,研究发现在醋豆溶液的稀释倍数为  $250 \times 10$  倍时,两个模型都能达到较好的预测效果, Fisher 多级判别的正确识别率达到 95.70%, 交互验证的正确识别率达到 93.50%, 三层 BP 神经网络的训练集正确识别率达到 85.87%, 测试集正确识别率达到 78.26%。醋豆是一种复合风味的休闲食品,不同醋豆产品的口味间存在差异,这种复杂风味的食品的品质差异程度如何,人的感官是很难定量描述的,但是通过电子舌仪器检测到的客观数据可以客观衡量不同醋豆产品之间的感官差异。

#### 2.6 和其他感官仿生技术结合提高评价食品的准确度

对于食品的感官分析,人们往往运用眼、耳、口、鼻多方面的感官才能很好地把握食品的特性。同样,单一使用电子舌在有些时候并不能很好地区分食品特性,需要和多种感官仿生技术,如电子鼻与计算机视觉处理技术结合起来,选择好数据的处理方法,才能将结果进行较好的区分。Legin 等<sup>[36]</sup>分别用电子舌和电子鼻检测了橘子汁、苹果汁和菠萝汁这3种果汁,结果发现在单独用电子舌识别时,不能将一个橘子汁样品与一个苹果汁样品区分开来;在单独用电子鼻识别时,不能将一个橘子汁和菠萝汁区分得很好。而电子舌与电子鼻数据的联合分析则能够将这些果汁很好的区分开来。Toko 等<sup>[37]</sup>的实验表明,用电子舌在辨别超高温与灭菌牛奶时有明显的区别,而在辨别新鲜牛奶与变质牛奶时却不很明显,若利用电子鼻检测却刚好相反,所以利用电子鼻与电子舌联合检测不仅能很好地区分超高温牛奶与灭菌牛奶,也能判别牛奶的新鲜度。王新宇<sup>[38]</sup>采用计算机视觉技术提取了茶叶图像的颜色和纹理特征参数,利用电子舌技术检测了不同级别的炒青绿茶茶汤,将5种不同种类的绿茶区分开来,正确识别率达到100%,电子舌与计算机视觉技术的联合应用大大提高了对绿茶的识别率。

### 3 结 语

通过特定的传感器阵列、信号处理和模式识别系统组成的电子舌,能快速提供被测样品的整体信息。各种各样的电子舌,除在食品工业中应用外,还有许多



潜在的应用领域,如环境检测、医疗卫生、药品工业、安全保障、公安与军事等。然而电子舌也存在许多问题和需研究的课题。

首先,由于传感器具有选择性和限制性,电子舌往往有一定的适应性,不可能适应所有检测对象,即没有通用的电子舌。所以大力研究、制作有针对性专用的电子舌能提高对食品感官检测的精度并提高电子舌的使用寿命。其次,在模式识别系统上亦应多样化。食品的种类很多,其芳香成分不一样,要求采用多种模式识别与比较系统,以提高检测精度。第三,检测环境不同和在检测过程中温度、湿度等条件会有变化,这会使传感器响应特性有所不同,这就要求对电子舌的传感器周围温、湿度严格控制,或者在检测中至少允许进行温、湿度补偿,这在一定程度上增加了检测的繁琐性。第四,在一些用途上,若要进行水果与蔬菜的野外检测,就应改进电子舌的结构设计,达到较好的便携性,研究开发出便携式、掌上型的电子舌系统,快速方便的实现在线检测是电子舌研究的一个重要方向。第五,对于一些固态食品,样品往往要经过预处理,如果蔬、肉品等,预处理过程中肯定会引入误差。因此对于不同的固态食品应用电子舌进行检测分析应该有一套预处理标准。电子舌在液体检测方面有一定优势,在固体食品味道检测方面还需进一步探索。

至今电子舌的实际应用还不多,仍有诸多问题需要解决。随着现代科学技术和科学理念的不断发展,电子舌技术作为一个新兴技术必将逐步走向实用<sup>[39]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 胡洁,李蓉,王平.人工味觉系统:电子舌的研究[J].传感技术学报,2001(2):169-180.
- [2] TOKO K. Taste detection[J]. Sensor and Actuators B, 2000, 64(1/2/3): 205-215.
- [3] BEULLENS K, PÉTER M, VERMEI S, et al. Analysis of tomato taste using two types of electronic tongues[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2008, 131(1): 10-17.
- [4] WINQUIST F, LUNDSTRM I, WIDE P. The combination of an electronic tongue and an electronic nose[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1999, 58(1/3): 512-517.
- [5] RIUL A, TAYLOR D M, MILLS C A, et al. Langmuir and langmuir-blodgett(LB) films of 4-dicyanomethene, 4H-cyclopenta[2,1-b,3,4-b'] dithiophene[J]. Thin Solid Films, 2000, 366(1/2): 249-254.
- [6] SEHRA G, COLE M, GARDNER J W. Miniature taste sensing system based on dual SH-SAW sensor device: an electronic tongue[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2004, 103(1/2): 233-239.
- [7] 邓少平,田师一.电子舌技术背景与研究进展[J].食品与生物技术学报,2007,26(4):111-114.
- [8] 王平.人工嗅觉与人工味觉[M].北京:科学技术出版社,2000:1-20.
- [9] 王俊,胡桂仙,于勇,等.电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展[J].农业工程学报,2004,20(2):56-60.
- [10] BEULLENS K, KIRSANOV D, IRUDAYARAJ J, et al. The electronic tongue and ATR-FTIR for rapid detection of sugars and acids in tomatoes [J]. Sensors and Actuators B, 2006, 116(1/2): 107-115.
- [11] LEGIN A, RUDNITSKAYA A, SELEZNEV B, et al. Recognition of liquid and flesh food using an 'electronic tongue' [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(4): 375-385.
- [12] 黄丽娟.肉品品质的电子舌评价研究[D].杭州:浙江工商大学,2008:2.
- [13] LVOVA L, LEGIN A, VLASOV Y, et al. Multicomponent analysis of Korean green tea by means of disposable all-solid-state potentiometric electronic tongue microsystem[J]. Sensors and Actuators B, 2003, 95(1/3): 391-399.
- [14] IVARSSON P, HOLMIN S, HOJER N E, et al. Discrimination of tea by means of a voltammetric electronic tongue and different applied waveforms [J]. Sensors and Actuators B, 2000, 76(1/3): 449-454.
- [15] TIAN Shiyi, DENG Shaoping, CHEN Zhongxiu. Multifrequency large amplitude pulse voltammetry: a novel electrochemical method for electronic tongue[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2007, 123(2): 1049-1056.
- [16] IVARSSON P, KIKKAWA Y, WINQUIST F, et al. Campraion of a voltammetric electronic tongue and a lipid membrane taste sensor[J]. Analytical China Acta, 2001, 449(1/2): 59-68.
- [17] 吴坚,刘军,傅敏,等.一种基于电子舌技术的绿茶分类方法[J].传感技术学报,2006,19(4):963-965.
- [18] CHEN Quansheng, ZHAO Jiewen, VITTAYAPADUNG S. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition[J]. Food Research International, 2008, 41(5): 500-504.
- [19] 贺玮,胡小松,赵镭,等.电子舌技术在普洱茶散茶等级评价中的应用[J].食品工业科技,2009(11):125-129.
- [20] 童城.伏安法电子舌对茶叶品质甄别中的应用研究[D].安徽:安徽农业大学,2009.
- [21] 王新宇,陈全胜.利用电子舌识别炒青绿茶的等级[J].安徽农业科学,2007,35(28):8872-8873.
- [22] TOKO K. Electronic tongue[J]. Biosensors and Bioelectronics, 1998, 13(6): 701-709.
- [23] 滕炯华,王磊,袁朝辉.基于电子舌技术的果汁饮料识别[J].测控技术,2004,23(11):4-5.
- [24] 牛海霞.基于多频脉冲电子舌的茶饮料区分辨[J].食品工业科技,2008(6):124-127.
- [25] 姜莎,陈芹芹,胡雪芳.电子舌在红茶饮料区分辨中的应用[J].农业工程学报,2009,25(11):345-350.
- [26] LIYAMA S, SUZUKI Y, EZAKI S, et al. Objective scaling of taste of sake using taste sensor and glucose sensor[J]. Materials Science and Engineering, 1996, 4(1): 45-49.
- [27] ARIKAWA Y, TOKOK, IKEZAKI H, et al. Analysis of sake taste using multielectrode taste sensor[J]. Sens Materials, 1996, 84(4): 371-376.
- [28] LEGIN A, RUDNITSKAYA A. Tasting of beverages using an electronic tongue[J]. Sensors and Actuators, 1997, 44(1/3): 291-296.
- [29] CIOSEK P, WROBLEWSKI W. The recognition of beer with flow-through sensor array based on miniaturized solid-state electrodes[J]. Talanta, 2006, 69(5): 1156-1161.
- [30] RUDNITSKAYA A, DEIGADILLOL, LEGIN A, et al. Prediction of the Portwine age using an electronic tongue[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2006, 88(1): 126-129.
- [31] DINATALE C, PAOLESSE R, BURGIO M, et al. Application of metalloporphyrins based gas and liquid sensor arrays to the analysis of red wine[J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 513(18): 49-56.
- [32] 李华,丁春晖,田师一,等.电子舌对昌黎原产地干红葡萄酒的区分辨[J].食品与发酵工业,2007,34(3):130-133.
- [33] 张夏宾,王晓萍.基于调幅脉冲扫描法的电子舌及其在酒类识别中的应用[J].传感技术学报,2007,20(3):490-494.
- [34] 王永维,王俊.基于电子舌的白酒检测与区分研究[J].包装与食品机械,2009,27(5):57-62.
- [35] 张浩玉,张柯,黄星奕.醋豆的辨别[J].食品科技,2009,34(9):290-295.
- [36] LEGIN A, RUDNITSKAYA A, SELEZNEV B, et al. Electronic tongue for quality assessment of ethanol, odka and eau-de-vie[J]. Analytica Chimica Acta, 2005, 534(1): 129-135.
- [37] TOKO K, IYOTA T, MIZOTA Y, et al. Heat effect on the taste of milk studied using a taste sensor[J]. Jpn J Appl Phys, 1995, 34(11): 6287-6291.
- [38] 王新宇.基于计算机视觉和电子舌技术的绿茶分类分级研究[D].镇江:江苏大学,2007.
- [39] 赵爱凤,于国锋,刘晓艳,等.电子鼻及电子舌在茶叶审评中的应用[J].福建农机,2007(3):23-28.