DOI:10.13652/j.issn.1003－5788.2018.07.025

基于感性工学的食用陶瓷包装容器产品设计

Design of ceramic containers products for food packaging based on kansei engineering

张玉山

ZHANG Yu-shan

（中南林业科技大学家具与艺术设计学院，湖南 长沙 410000）

（*College of Furniture and Design at Central South University of Forestry, Changsha, Hunan* 410000, *China*）

摘要：应用感性工学和卡诺模型的概念完善食品用陶瓷包装容器产品的设计，以更好地满足用户需求。通过采用抽样法、案例分析法和问卷法获得了影响食用陶瓷包装容器产品消费者满意度的主要因素，包括外观因素和性能因素。外观因素在产品设计开发中变得更为优先，要努力寻找与感性关联的词汇和设计元素之间应包含的外观因素；陶瓷产品综合形式，应与功能相辅相成，灵活融合。研究结果表明：陶瓷包装容器产品应具有抛物线形设计元素，人工平面装饰、釉面、肌理和块状/封闭色彩等。

关键词：感性工学；陶瓷；包装容器；产品设计；卡诺模型

Abstract: The purpose of this study is to apply the concept of Kansei Engineering and Kano Model to improve the design of ceramic containers for food packaging to better meet the needs of customers. Kansei Engineering is used as a design element to capture and transform the perceived (Kansei words) of the consumer. The design object should be examined in a comprehensive context. The paper used sampling method, case analysis method and questionnaire method. The result of this study was that the main factors that affect the consumer satisfaction of the ceramic container for food packaging could be divided into appearance and performance factors. Appearance factors became more preferable in product design and development. Efforts should be made to find out the appearance factors that should be included between Kansei and Related words and design elements. The comprehensive form of ceramic products should complement each other and function flexibly. Therefore, the ceramic packaging container products should have parabolic design elements, artificial plane decoration, glaze, texture and block / closed color.

Keywords: Kansei Engineering; ceramic; packaging container; product design; Kano model

近 40 年来，消费品的生产能力以前所未有的规模增长，世界市场正在向着高速全球化变化。因此，产品的寿命周期比以前更短[1]，由此可采取产品设计来应对日益尖锐的竞争。外观作为被消费者俘获的第一印象是提升产品吸引力的重要因素。

感性工学已成功地广泛用于各行业开发产品，是基于该方法的能力，为某一产品捕捉客户的印象，并将其翻译成更详细的产品规范[2]。此外，假设对用户的情感影响是不同产品性能组成的结果。其中应用在分析哪些消费者感知方式的不同对象在感性工学的卡诺模式（情感属性或感性的词汇）影响产品的购买决策[3-4]。研究[5-6]表明，感知的属性或品质反过来影响情感化设计或感性反应。

这项研究在笔者作为设计总监的湖南某瓷业有限公司打样开发中心进行，其产品主要由陶瓷工艺礼品和包装容器产品组成，该项研究主要分析消费者对陶瓷包装容器产品特别是产品设计的期望。

1 基于感性工学的产品设计流程

感性的原意是主体对于外界刺激产生的多种反应，涵括人的认知及其所有五官感觉，是人在活动行为当中必然面对的，是时刻作用于人的[7]。就生理测量而言，即通过神经反射和脑波技术，测量消费者对外界刺激产生的感觉量[8]。

感性工学，源自日语“カンセィ”（kansei）——情绪/情感工程，旨在通过翻译客户的心理感受和需求，作为产品设计领域或产品和服务的改进发展依据（即参数）[9]。即感性工学是以消费者的感性为研究对象，对消费者的意向和感受进行专门分析和研究，使其成为产品设计要素，并充分应用到新产品的开发和设计当中[10]。由此可见，感性工学是感性（艺术）与理性（工程技术）相结合的产物。20 世纪 70 年代

基金项目：2017 年度湖南省教育厅科学研究项目（重点项目）（编号：17A231）；2016 年湖南省哲学社会科学基金项目（编号：16YBA386）；中南林业科技大学国家社科基金预研项目（编号：2017YY001）

作者简介：张玉山（1972—），男，中南林业科技大学副教授，硕士生导师，硕士。E-mail：532607055@qq.com

收稿日期：2018-05-07

初，日本广岛大学教授夫长町三生(Mitsuo Nagamachi)提出这一概念“一种以消费者定位为导向的产品开发技术，一种将消费者的感受和意向转化为设计要素的翻译技术”[11]。这概念综合与交叉涉及了艺术科学、心理学、基础医学、残疾研究、运动生理学等人文科学和自然科学的诸多领域[12]。

当今市场上的产品设计已经变得越来越复杂，随着产品生命周期的缩短，开发成本逐渐增加，产品包含更多的功能，必须满足消费者日益增长的需求，如用户友好性、可制造性和环保生态性等。感性工学的参数联系顾客的情感反应(包括生理的和心理的)与产品或服务的性质和特点。因此，产品可以通过设计来产生预期的感觉，现在日韩公司中被广泛应用。顾客根据品牌形象、声誉、设计、印象等主观条件购买产品。这种主观特性需要一种可靠的产品开发系统：预测市场上产品接收情况的系统。这种需求引发了研究人员对顾客主观、隐性需求转化为具体产品的研究。感性工学在亚洲的日本和韩国最为领先。在欧洲，则是称为“情感设计”或“情感工程”这一新的研究领域，如图 1 所示。

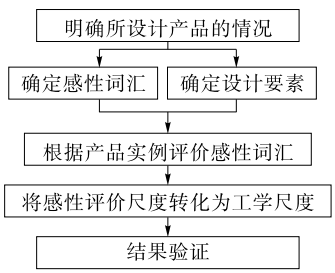

图 1 基于感性工学的产品设计流程图

Figure 1 Flow chart of product design based on Kansei Engineering

如今，人们想要使用在生理层面上设计有用的产品，在心理层面上有用，在主观情感层面上有吸引力[13]。感性工程是研究顾客和产品在第 3 层之间的相互作用，它关注产品的物理特性与其对用户的情感影响之间的关系。有可能获得有关如何设计更吸引人的产品和使客户满意的知识。感性工学(或情感的工程方法)是一种人体工程学的主要领域(人机工程)[14]。

2 基于感性工学的陶瓷食用包装容器产品设计方法

本文通过感性工学观念，捕捉客户对陶瓷食用包装容器产品的印象与感觉，开发陶瓷食用包装容器产品的设计概念和设计要素。从所获得的成果分析，这项研究的重点是用陶瓷食用包装容器产品设计工程Ⅰ类分类[15-16]。这种方法打破了有针对性的产品概念，进入一个更详细的概念，同时把它扩展到几个层次，它将被解释为物理方面。

2.1 案例

该研究是在湖南省长沙市、株洲市进行，通过随机调查的方式，在公共场所开展。包括男女性别、不同的经济水平和各个年龄层次的人，向被调查者分发问卷并收集数据。共有 40 人参与了此次调查。问卷内容包含个人资料和他们对每一个陶瓷包装容器产品设计视觉样本的反应。

2.2 刺激

用于野外研究的刺激集由 40 幅陶瓷包装容器产品组成(图 2)，每个刺激的材料、形状、颜色、大小、装饰、纹理和完整性不同。

图 2 用于刺激的陶瓷样品

Figure 2 Ceramic samples for stimulation

2.3 问卷调查

通过社交网、QQ、微信和其他自媒体进行问卷调查，调查感性词汇与研究对象功能性的相关程度。问卷包含用户对陶瓷包装容器产品情感反应的 20 个感性词汇。获得这 20 个词汇的第一步是通过因特网、报纸和期刊等不同的来源收集大量形容词，尽可能达到完整的语义描述，用以表达人们对产品的印象。本研究的问卷提供了在语义差异的词汇(SD)与 5 点规模上对产品完整的评价，这是由长町三生提出的促进评价，用于确定影响消费者偏好因素的量表见表 1。

表 1 用 5 点语义差异的词汇(SD)规模偏好的消费规模

Table 1 Consumer Scale of Preference using 5-point SD scale

分值	信息
5	如果产品在规模上与右侧的感性词汇密切
4	如果产品在规模上与右侧的感性词联系松散
3	如果产品是中性的，在规模上与右、左侧的感性词汇都有关
2	如果产品在规模上与左侧的感性词联系松散
1	如果产品在规模上与左侧的感性词密切相关

(1) 可行性测试问卷：对收集的数据进行分析，实现问卷可行性的使用信度和效度检验。

(2) 统计分析：采用 SPSS19.0 软件对收集到的数据进行因子分析和联合分析。因子分析通过降维的方式，可在许多变量中找出隐藏的具有代表性的因子，降低感性词汇的数量。联合分析最大的一个优势是充分考虑消费者对不同属性偏好冲突后所做出的一种折中，通过折中更加真实地反映了消费者对不同属性间的偏好程度[17]，用来确定设计元素的词汇与感性词语之间的组合关系。

(3) 修正卡诺模型中的映射结果统计：获得统计信息后，输入到修改后的卡诺矩阵中，并将其映射为 3 个类别的顾客满意度。

3　结果

感性工学的Ⅰ型是用来确定产品设计元素的消费者偏好。在感性词汇的收集中得到 21 个词汇，由 20 个形容词和功能的产品作为第一全球的感性词汇组成，分为功能、装饰、动感、艺术个性和喜恶感 5 类，其中功能感性词汇 2 个，装饰感性词汇 6 个，动感感性词汇 2 个，艺术个性感性词汇 4 个，喜恶感感性词汇 6 个。具体如下：

功能：安全、健康的，舒适的；动感：稳定的，动态的；装饰：图案的，和谐，美学的，简单的，整洁的，多样化；艺术个性：创新，独特的，限量版的，现代的、当代的；喜恶感：有抱负的、鼓舞人心的，美观、好、艺术的，昂贵的，吸引力的，强有力的，令人着迷的。

表 2 显示：从获得的感性词汇进行相关词搜索形成双极对冲含义。根据期刊和互联网的观察，有 40 个样本规格的多样产品。采集样品可分为 5 大类和 22 项。刺激的最小数目的计算公式见式(1)。

$$n=(i-c)+1, \tag{1}$$

式中：

n——最小刺激数，个；

i——项目，项；

c——类别，类。

经计算，$n=18$。

外观形态项目类别分类见表 3。

根据计算，刺激的样本总数是 18 个。因此，可以得出结论，在本研究中使用的样本有足够最低的金额，在因子分析的基础上，得出如下结论：

(1) 因子 1(外观陶瓷)包括：感性 3(图案的)、感性 4(有趣的)、感性 5(美的)、感性 6(创新的)、感性 7(和谐的)、感性 8(独特的)、感性 9(完整的)、感性 10(耀眼的)、11(审美的)和感性 12(理想和励志的)。

表 2　5 点语义差异规模(SD)的感性词汇

Table 2　5-Point SD Scale of Kansei words

负极	1	2	3	4	5	正极
实惠、便宜的						昂贵的
仿古、古典的						现代、当代的
平时、素的						图案的
沉闷的						吸引力的
丑陋的						漂亮的
无创新的						创造、创意的
不和谐的						和谐的
包容的						排外的
复杂的						简单的
不吸引人的						吸引力、耀眼的
没有美学的						美学的
不鼓舞人心的						鼓舞人心的
凌乱的						整洁的
死板的						动态的
常见的						限量版

表 3　外观形态项目类别分类

Table 3　Forming Classification ofitems and category

项目		类别		符号
1	形状	1	直线	X11
		2	弯圆	X12
		3	抛物	X13
		4	椭圆	X14
		5	链	X15
		6	螺旋	X16
		7	S 曲线	X17
2	装修	1	平原(彩色釉面)	X21
		2	二维(纹样、绘画)	X22
		3	三维(浮雕)	X23
3	颜色	1	1 色	X31
		2	多色	X32
		3	封闭/纯色	X33
		4	色阶	X34
4	机理	1	釉	X41
		2	无/哑光的	X42
		3	多孔的	X43
5	形态的探索	1	景观	X51
		2	植物	X52
		3	动物	X53
		4	几何	X54
		5	人工	X55

(2) 因子 2(功能能陶瓷)包括：感性 13(整洁的)、感性 14(动态的)、感性 16(牢固的)、感性 17(舒适的)、感性 18(稳定的)、感性 19(安全和健康的)和感性 20(品种、独特的)。

表 4 是一个输出组件转换矩阵，可以看出这两个因素 1(组件)和因子 2 与 0.789 有很强的相关性。因此，因子 1 和因子 2 能够概括 16 个独立的变量。

表 4　输出分量变换矩阵

Table 4　Output component transformation matrix

组件	1	2
1	0.789	0.605
2	−0.605	0.789

西班牙学者卡门·利纳雷斯和阿尔瓦罗·佩奇修正卡诺模型[18]，评价消费者偏好对陶瓷包装容器产品的购买决策影响。在这种情况下，他们通过使用价值因素来识别消费者何时考虑它，要提高(正值)或排除(否定)的属性。这项研究使用同一个模型来识别属性。分析性能和开发外观因素感性词汇，然后利用问卷调查所得的值进行因子相关分析。两类(肯定和否定)答案，通过 SPSS19 授权码，可以看到生成输出的摘要。表 5 显示因子 1(外观)具有正值，这意味着外观因素是与购买/设计相关。意义(P 值)小于 0.05，表明结果是显著的或有 1、2 个小的错误率，此数据结果可以使用。

相反，因子 2(表现)与正回答之间的相关性很低，与否定回答无关。价值判断的意义(P 值)表明，结果并不显著，因此数据无法使用。通过使用卡诺图：用正数据和负回答作为轴心，可以用来描述和映射客户满意度。

联合分析用来确定感性意象与设计要素之间的关系。在前一节分析的基础上，总结了各个设计元素之间的关系，感性词汇见表 6。陶瓷设计优选为抛物线形底座。探索平面装饰、肌理、釉装饰，以及块的颜色。基于重演问卷调查结果显示，有 19%的受访者选择茶叶作为馈赠礼物，因此首选的陶瓷包装容器产品是茶叶罐。

表 5 因子 1 和因子 2 之间的相关性综述

Table 5 Summary of correlation between factor 1 and factor

因子	肯定答案			否定答案		
	系数	P 值系数	*N*	系数	P 值系数	*N*
1	0.278	0.000	260	0.263	0.008	97
2	0.125	0.078	203	−0.011	0.930	78

表 6 食用陶瓷包装容器产品设计概要

Table 6 Summary of Edible Ceramic Packaging Containers Products Design

代码	感性词汇	外观	装饰	色彩	机理	题材探索
103	图案	抛物线	二维	色块	施釉	几何形
104	吸引人的	抛物线	二维	色阶	施釉	动物
105	好、漂亮的	抛物线	三维	多色	施釉	动物
106	创意、创新的	直线型	三维	色块	施釉	几何形
107	和谐	抛物线	三维	色块	施釉	人工的
108	独特的	链线	素面	色块	施釉	人工的
110	令人心动的	抛物线	三维	色块	施釉	人工的
111	美学的	链线	三维	色块	施釉	动物、人工的
112	理想、鼓舞人心的	抛物线	三维	色块	施釉	几何形

4 功能效应与形式美感

食用陶瓷包装容器产品，功能为本，但由具体材质、形态、结构、工艺、装饰、釉色和肌理等产品形式，应与功能相辅相成，灵活融合。除基本功能外，食用陶瓷包装容器产品还包括卫生、安全、舒适、健康、环保等延伸功能。陶瓷产品的使用功能，是基于人的生理需求，随人的视觉、触觉和应用而产生的功效。与这种生理和心理功效相辅相成的是“人体工程学”[19]。人体工程学也被称为舒适设计，功能设计和系统的实际演示[20]，是设计产品、系统或过程以恰当地考虑它们和使用它们的人之间的相互作用的实践。

设计不论是以解决具体问题为目的还是为了满足使用者的特殊需求，都不能试图将人－物－环境三者之间的关系割裂，而要对会影响设计的要素进行逐一试验排查，并将最终研究结果统一起来分析，找出能优化创新的点，从而为最终设计提供可行的指导方法。人体工程学是研究运用人的智力和体力的学问，它所涵盖的范围非常广泛[21]。这里就相关的几个主要环节——人的生理条件、人的精神因素、产品的使用功能，以及它们之间的相互关系稍加展开。日常生活中陶瓷包装容器产品无处不在，日用陶瓷茶壶、茶叶罐、水罐、酒瓶、榨菜坛、零食罐等器皿，在其被应用过程中都会以不同的方式与手发生关系。如茶壶使用时，有不同的端拿方式(见图 3)：端把式、提梁式、横把式、掌抓式等形态产品。盖钮(图 4)包含：球形钮、桥梁钮、瓜蒂钮、树桩钮、肖形钮及异形钮等等；如图 5 按照盖与体的结合方式分 3 种：压盖式、截盖式和嵌盖式。壶流可分为：一弯流、二弯流、三弯流、直流和鸭嘴流。

食用陶瓷包装容器产品作为点、线、面、空间、色彩、肌理等诸形态要素的综合体，可以借助这些形态语义来分析功能与形态的关系。

图 3 壶的把式

Figure 3 Type of pot

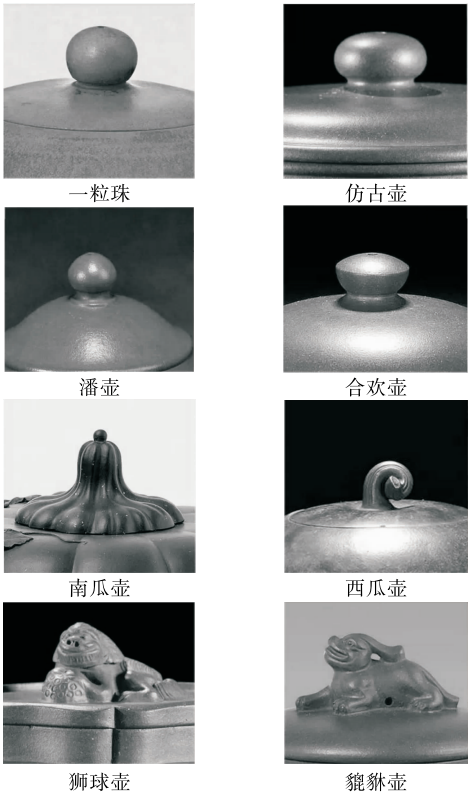

图 4　各种盖钮样式

Figure 4　The style of cover button of pot

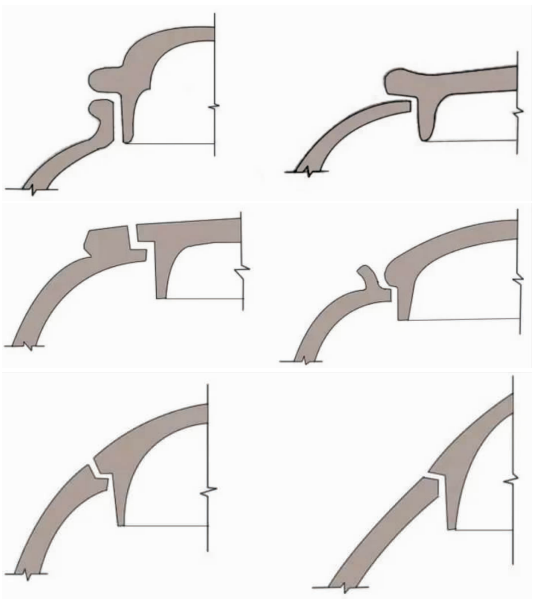

图 5　壶盖的样式

Figure 5　The style of the lid of pot

4.1　功能决定形态

使用功能规定了食用陶瓷包装容器产品的形态与结构；而那些具有文化功能趋向的陶瓷器物以特定的形态表达来满足人们不同的心理欲望。具有设计意义的产品，既要体现理想的功能要求，又能带给人们更多的温馨和美感；良好的功能结构，会引发或促成良好的形态，很好地体现了设计中的复利法则。

4.2　材质表现形态

材质作为形态因素之一，包括色彩、肌理、质感等外观表现。陶瓷包装容器产品必须把握好材质特点，将形态与材质美融为一体，并需要把握相应的加工工艺。

4.3　情感渲染形态

情感形态含有较强烈的主观意识和情绪，寄物寓情，造型寓意，赋予形态以积极的意义[21]。情感虽有个体差异，但一般人会有一些共性：曲线型形态——圆满、圆润、温柔、青春、活力、性感；直线型形态——坚硬、阳刚、稳重、庄严、刻板；曲直型形态——柔美、流动、和谐及中庸等象征；三角型形态——稳固、永恒及尖锐等；异形型形态——多变、丰富和难以捉摸。

4.4　自然启示形态

自然启示形态是人类最早、最丰富的一种造物方式。自然界一切自然形态以其共生共存的方式给人以遐想和启示，尤以自然生物的形态广泛为产品设计所摹仿，见图 6。

图 6　《凤凰涅槃》仿生酒瓶（张玉山设计）

Figure 6　“*The Phoenix Nirvana*” bionic wine bottle by Zhang Yushan

4.5　单纯构成形态

借助于几何形态基本形态，施以加减、分解、打撒、构成、组合等三维构成手段，创造新形态的造型活动，可以通过切割构成、加法构成、减法构成、倒置构成、错位构成、多形构成、集成形态变异构成、多种材质构成等各种手法的运用。

4.6　陶瓷包装容器产品形态之美

陶瓷包装容器产品形态美大致是：物理上与视觉上的稳定、均衡；主体形态上各局部之间体量在物理与心理上，呈相对均等的状态，灵巧有序的稳定效果；在以统一性的基础上，辅以变化和差异性的融合与和谐美感；局部与整体，长、宽、高三维的尺度比例关系，形式比例美感、生产应用和与人接触的体工程学比例及黄金分割率等在内的比例法则；形态上的节奏韵律感的综合利用；形态的细部与形态功效的细化处理等。

5　结论

当设计师开始设计新产品时，需要整合产品的潜在用户可能拥有的期许和要求。不仅需要重视技术和功能等基本因素，其审美、情感等精神层面上的满足也是至关重要的。在设计产品时，设计对象应当被置于一定的语境中来考查、处理、触摸、倾听甚至品尝。因此，一个更广泛的经验范围、一个完整的感性工学纳入设计方法中是很重要的。从研究中得出以下结论：

（1）从 20 个感性词汇获得 16 个有效的感性词汇进行因

素分析评价，两个主要因素，即性能和外观因素。

（2）在这两个主要因素中，只有外观因素被用于进一步的设计开发，因为因子是修正的卡诺模型图中线性属性的区域；由于性能因素在修正的卡诺模型图中的不重要区域，并没有进行进一步分析。

（3）外观因素的感性词汇作为设计元素，其关系分为 5 大类和 22 项。结果表明，首选的陶瓷包装容器产品是一个茶叶罐，基本的抛物线形设计，人工探索平面设计和肌理、装饰、釉色，以及色块的约束。

感性工学为日用陶瓷设计提供了新的态度和视角，以人的需求和感官为设计根据，以人体的生理心理层面为出发点，将陶瓷产品设计转为满足消费者对产品的情感需求[22]，为其设计提供了依据，创造了“人与陶瓷产品”的和谐关系。

参考文献

[1] SHONA Brown，KATHLEEN Eisenhardt. Competing on the Edge [M]. Boston：Harvard Business School Press，1998：127-128.

[2] MITSUO Nagamachi，MASAMI Tachikawa，NOBUYUKI N Imanishi，et al. A successful statistical procedure on kansei engineer-ing products[J]. International Journal of Industrial Ergonomics，2008，23(2)：20-24.

[3] CARMEN Llinares，ALVARO F Page. Kano Model in Kansei Engineering to Evaluate Subjective Real Estate Consumer Preferences[J]. International Journal of Industrial Ergonomics，2011，41(3)：233-246.

[4] WANG Kun-chieh，JU Fang-rong. An Innovative Design Methodology KKBDCA for Affective Product Development[J]. Mathematical Problems in Engineering，2013(6)：1-10.

[5] FRID Sayifoelida，SAIFUDIN Hafiz Yahaya，HAERYIP Sihombing，et al. The Integration Framework of Kansei Engineering (KE) and Kano Method for Product Development[C]//Maria Forsyth. ACSME'2014. London：Routledge，2014：302-310.

[6] RANDY Jacobs. Evaluating Satisfaction with Media Products and Services：An Attribute Based Approach[J]. European Media Management Review，1999，15(3)：67-71.

[7] 刘楚玉，王海林，陈荣，等. 基于感性工学的产品设计与评价方法[J]. 包装工程，2012(10)：90-94.

[8] 李国伟. 应用感性工学理论实施产品设计的方法探讨[J]. 中小企业管理与科技：下旬刊，2010(3)：255.

[9] Wikipedia. Kansei Studies：Kansei engineering[EB/OL]. (2018-01-24)[2018-05-15]. https://en.wikipedia.org/wiki/Kansei_engineering.

[10] 李华刚. 基于感性工学的产品设计方法[J].人民论坛，2015(33)：181-182.

[11] 李立新. 探寻设计艺术的真相[M]. 北京：中国电力出版社，2008：14-15.

[12] 李砚祖. 设计新理念：感性工学[J]. 新美术，2003(4)：20-25.

[13] YOGI Akao. History of Quality Function Deployment in Japan，International Academy for Quality Books Series：Vol. 3[M]. Hansa：Baumgarten，1990：56-57.

[14] ALEXANDER Gottlieb Baumgarten. Aesthetica[M]. Hildesheim：Georg Olms Verlagsbuchhandlung，1961：73-74.

[15] SIMON Schutte. Engineering Emotional Values in Product Design：Kansei Engineering in Development [M]. Linkoping：UniTryck Linkoping，Linkoping universitet，2005：83-85.

[16] SIMON Schutte. Designing Feelings into Products：Integrating Kansei Engineering Methodology in Product Development [J]. Linkoping Studies in Science and Technology，2002，33(4)：213-221.

[17] 张燕丽，黄淑伟. 基于联合分析的教师素养评价研究[J]. 教育现代化，2017(6)：59-62，66.

[18] 刘楚玉，王海林，陈荣，等. 基于感性工学的产品设计与评价方法[J]. 包装工程，2012(10)：90-94.

[19] 李正安. 陶瓷设计[M]. 杭州：中国美术学院出版社，2002：56-59.

[20] ROBERT W Proctor，JING Chen. The Role of Human Factors/Ergonomics in the Science of Security：Decision Making and Action Selection in Cyberspace [J]. Human Factors，2015，21(1)：721-727.

[21] 阮家龙. 人体工程学在产品设计中的重要性[J]. 科技信息：科学教研，2008(7)：653.

[22] 万长林. 基于感性工学的日用陶瓷设计[J]. 中国陶瓷，2011(8)：40-43，49.

（上接第 110 页）

[26] YOGENDRARAJAH P，SAMAPUNDO S，DEVLIEGHERE F，et al. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of whole black peppercorns (*Piper nigrum*，L.)[J]. LWT-Food Science and Technology，2015，64(1)：177-188.

[27] CERVENKA L，HLOUŠKOVÁ L，ŽABCÍKOVÁ S. Moisture adsorption isotherms and thermodynamic properties of green and roasted Yerba mate (Ilex paraguariensis)[J]. Food Bioscience，2015，12(3)：122-127.

[28] 陈晨伟，段恒，贺璇璇，等. 茶多酚改性对聚乙烯醇膜吸湿特性及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学，2016，37(1)：40-44.

[29] 李学贵，袁生. 微生物转化过程中利用 OD 值实时监测细菌生物量变化的研究[J]. 南京师大学报：自然科学版，2003，26(4)：90-93.

[30] JIPA I M，STOICA-GUZUN A，STROESCU M. Controlled release of sorbic acid from bacterial cellulose based mono and multilayer antimicrobial films[J]. LWT-Food Science and Technology，2012，47(2)：400-406.

[31] WANG C T，CHEN W J，HUANG R Y. Influence of growth curve phase on electricity performance of microbial fuel cell by *Escherichia coli*[J]. International Journal of Hydrogen Energy，2010，35(13)：7 217-7 223.

[32] SIROUSAZAR M，KOKABI M，HASSAN Z M，et al. Dehydration kinetics of polyvinyl alcohol nanocomposite hydrogels containing Na-montmorillonite nanoclay[J]. Scientia Iranica，2011，18(3)：780-784.

[33] BHARADWAJ R K. Modeling the barrier properties of polymer-layered silicate nanocomposites[J]. Macromolecules，2001，34(26)：9 189-9 192.

[34] HONG Y C，LEE Y S. Characteristics of moisture-absorbing film impregnated with synthesized attapulgite with acrylamide and its effect on the quality of seasoned laver during storage[J]. Journal of Food Engineering，2013，116(4)：829-839.