

可视化鲜奶储存温度识别包装技术与设计

余广荣, 王攀登, 蒋晨光, 杨应龙, 杨钰淳, 石岩
(天津商业大学, 天津 300134)

摘要: **目的** 让消费者通过鲜奶包装上的可视化鲜奶储存温度标识识别鲜奶是否按规定的温度储存, 降低时间温度指示标签技术的成本, 使其更易应用于鲜奶包装。**方法** 通过设计3种不同类型的时间温度指示标签, 帮助消费者识别鲜奶的存放温度是否合适。**结果** 油墨消色型和油墨显色型时间温度指示标签适合瓶装鲜奶的储存温度识别, 扩散型时间温度指示标签适合利乐包装鲜奶的储存温度识别。**结论** 可视化储存温度识别包装技术可确保鲜奶质量安全, 让消费者放心购买, 同时也提升了奶制品企业品牌的形象。

关键词: 鲜奶; 时间温度指示标签; 智能包装

中图分类号: TB482; TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)05-0156-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.05.020

Packaging Technology and Design for Visual Storage Temperature Identification of Fresh Milk

YU Guang-rong, WANG Pan-deng, JIANG Chen-guang, YANG Ying-long,
YANG Yu-chun, SHI Yan

(Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

ABSTRACT: The work aims to enable consumers to identify whether the fresh milk is stored at the specified temperature by the visual label of fresh milk storage temperature on the package and lower the cost of time and temperature indicator label technology to make it easier to be applied in fresh milk package. Three types of time and temperature indicator labels were designed to help consumers identify whether the storage temperature of fresh milk was appropriate. Achromatic-type time and temperature indicator label and chromogenic-type time and temperature indicator label based on ink were suitable for identifying storage temperature of bottled fresh milk, and diffusion-type time and temperature indicator label was suitable for identifying storage temperature of fresh milk in Tetra Pak package. Visual storage temperature identification packaging technology may ensure the quality and safety of fresh milk, let consumers buy fresh milk with confidence, and also enhance the brand image of milk product manufacturers.

KEY WORDS: fresh milk; time and temperature indicator label; intelligent packaging

近年来,随着人们生活水平的提高,营养、新鲜的低温奶逐渐成为人们对乳制品的首选。由于低温奶(即巴氏杀菌奶)的特殊处理方式,其从生产再到消

费者手中的整个过程都有着严格的低温要求^[1],因此,低温奶的质量安全成为制约其在国内市场的生产及消费的重要因素之一。如何让消费者购买到安全未

收稿日期: 2022-09-13

基金项目: 国家大学生创新训练计划(201810069029); 天津市大学生创新创业训练计划项目(202110069126)

作者简介: 余广荣(1997—),女,硕士生,主攻食品包装材料。

通信作者: 石岩(1975—),女,博士,教授,主要研究方向为生物质基功能材料。

变质的低温奶成为奶制品企业需要考虑并努力的方向。在国外,智能指示标签已经应用到了多个行业的产品上,其中时间温度指示标签可以有效地控制食品安全,让消费者买得放心吃得安心^[2-4]。在国内,时间温度指示标签研发和使用较晚,存在成本过高,标签易脱落等问题,随着人们食品安全意识的逐渐加强及科研投入的提高,这些问题的解决指日可待。

1 鲜奶及其变质原因

鲜奶是十分常见的一种食品,含有脂肪、蛋白质、无机盐、乳糖、大部分已知的维生素,以及丰富的钙、磷、钾及多种人体所需的微量元素,营养价值十分高^[5]。现今乳品市场主要以常温奶和低温保鲜奶为主,常温奶具有保存时间长的特点,但营养物质会受到一定的损失。低温保鲜奶,也称巴氏杀菌奶,是指采用巴氏杀菌法将生奶进行瞬时高温灭菌,杀死有害微生物,保留部分对人体无害的微生物,能最大限度地保留鲜奶中的营养物质,其营养价值明显高于常温奶。巴氏杀菌工艺使得部分微生物被保留下来,这些微生物在合适的条件下能够迅速繁殖从而导致鲜奶变质,因此巴氏杀菌奶的运输、销售及存储等各个环节的环境温度都要求在4℃以下,俗称“冷链”^[6-7]。如果在运输或存储过程中长时间处于4℃以上,就会使一些耐高温的细菌和芽孢繁殖,从而引发一系列的化学反应,最终导致牛奶变质^[8]。这时虽然牛奶在保质期内,但消费者喝到的却是变质的牛奶。温度越高存放时间越短,如果长期饮用就会对身体造成伤害,因此对巴氏杀菌奶的整个物流环节的低温控制十分必要。针对上述问题,文中提出2种可视化鲜奶储存温度识别包装技术方案,即油墨型时间温度指示标签和扩散型时间温度指示标签。

2 油墨型时间温度指示标签设计

油墨型时间温度指示标签分消色型和显色型2种,是根据热敏油墨在不同温度下显示出不同的颜色来表示时间和温度之间的关系,用热敏油墨制作成热敏标签,可以帮助消费者直观判断鲜奶的储存温度^[9-10]。

2.1 消色型鲜奶用时间温度指示标签

2.1.1 设计思路与原理说明

考虑到大多数商品的包装上印有条形码,且热敏油墨颜色变化分颜色逐渐变深、颜色逐渐变浅以及从一种颜色变到另一种颜色这3类,因此选用热致变不可逆油墨中的消色油墨来印刷条形码。当鲜奶一直储存于4℃以下时,鲜奶并未变质,此时条形码清晰,扫码枪可以准确地识别扫描,消费者可以进行购买。

当鲜奶曾经长时间存放于4℃以上时,这时鲜奶虽然在保质期内但是由于储存温度不适宜,其品质有可能已经不佳甚至变质。此时的条形码逐渐模糊、变浅直至消失,当消费者看到不清晰的条形码时就不会购买了,即使有一部分粗心的消费者没有注意到这一问题,当消费者在扫码付款的时候,由于条形码的不清晰,扫码枪无法扫描识别产品进行出售,这样就能从源头上制止了不新鲜或变质的鲜奶的销售,从而保护了消费者的消费权益。

2.1.2 热致变不可逆油墨的选择

热敏油墨的颜色多种多样,有红色、橘色、黄色、绿色、天空蓝、深蓝色、黑色等15种颜色^[11],根据热敏油墨热变色的可逆性,可以将热敏油墨分为可逆热敏油墨和不可逆热敏油墨。不可逆热敏油墨在降温后不会恢复到原来的颜色^[12]。由于牛奶的品质随温度和时间的积累会发生不可逆的变化,即当温度降回至4℃以下时也不能变为合格的牛奶。所以油墨选用不可逆热敏油墨,且油墨的变色温度在4~5℃,根据油墨在达到4℃及以上时显示出的不同颜色,示意鲜奶曾在不适宜的温度下储存,并且当鲜奶重新放回4℃以下时油墨颜色也不会恢复到之前的颜色,这时消费者就知道鲜奶虽然仍在保质期内,但也有可能已经变质了。热敏油墨常用变色温度区间为-15~70℃,该设计选择变色温度在4~5℃的不可逆热敏油墨。热敏油墨分为有机热敏变色油墨、无机热敏变色油墨和液晶热敏变色油墨这3种^[13],如表1所示,可选择液晶热敏变色油墨作为油墨型时间温度指示标签的印刷材料。如日本中外药品公司的热敏变色液晶TCA,变色温度范围广,其变色温度可以为-30~100℃的任何温度点,且变色温度的宽度可以任意调节,同时其变色温度可以在1~20℃连续变化,温度精度可达±0.2℃^[14]。为了方便扫码枪扫描,消色型鲜奶用时间温度指示标签使用颜色为黑色(000000)的热敏油墨,变色温度为4℃。

表1 热敏油墨
Tab.1 Temperature sensitive ink

名称	成分	示温精度	加工工艺	稳定性	成本
有机热敏变色油墨	有机可逆热敏变色性的化合物	中等	中等	中等	中等
无机热敏变色油墨	金属氧化物的多晶体、金属和金属卤化物	中等	简单	中等	低
液晶热敏变色油墨	胆甾醇及其衍生物	好	难	好	高

对于不可逆变色,有以下2个关系。加热时间与变色温度的关系: $T=a+b\log t$,式中: T 为变色温

度, °C; t 为加热时间, min; a 、 b 为某一实测的油墨常数。由公式可以看出变色温度与加热时间的对数成正比关系, 加热时间越长, 变色温度越高。加热速度与变色温度的关系: $T=A+B\log v$, 式中: T 为变色温度, °C; v 为加热速度, °C/min; A 、 B 为某一实测油墨的常数。由公式可以看出变色温度与加热速度的对数成正比关系, 加热速度越快, 变色温度就越高^[15], 因此, 当鲜奶在不适宜的温度中时间越长或所处的环境温度升温越快, 不可逆热敏油墨的变色温度越高。

2.1.3 消色型鲜奶用时间温度指示标签设计

这款油墨型时间温度指示标签的设计打破了传统一维条形码的形状, 将条形码的形状设计为奶牛的形状, 与鲜奶包装主题相契合, 图案新颖, 造型美观, 奶牛的图案更吸引消费者, 如图 1 所示。随温度上升, 油墨的颜色逐渐变浅, 直至消失, 变化过程如图 2 所示。鲜奶封口处采用蓝色和橘红色搭配, 色彩亮丽, 引人注目。随着温度的升高, 油墨型时间温度指示标签的颜色逐渐变浅直至消失, 标签由图 3a 变为图 3b。



16921505015218

图 1 奶牛轮廓的条形码
Fig.1 Barcode of cow outline

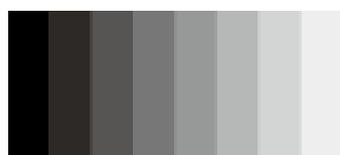


图 2 随着温度上升黑色油墨的颜色变化
Fig.2 Change of black ink color with the increase in temperature

2.2 显色型鲜奶用时间温度指示标签

使用热敏油墨在鲜奶包装瓶的开口处印刷图案或文字, 随温度升高逐渐显示出印刷的图案或文字, 以此来提醒消费者, 达到提示的目的。



a 初始包装 b 升温后包装

图 3 消色型时间温度指示标签效果
Fig.3 Effect of achromatic-type time and temperature indicator label

2.2.1 设计思路与原理说明

当鲜奶存放于 4 °C 以下时, 油墨颜色与瓶盖上的颜色相同, 均为白色, 提示的图案或文字不显示, 与普通鲜奶包装并无差异, 此时消费者可以放心购买。当鲜奶长时间储存在 4 °C 以上的环境中时, 热敏油墨的颜色随着温度的升高或时间的积累逐渐变深, 瓶盖上的提示图案或文字变得越来越清晰, 此时, 消费者看到警示的图案或文字就知道鲜奶虽然仍在保质期内, 但其品质可能因储存温度不当已经欠佳或变质, 消费者可以仔细甄别后再决定要不要购买。

2.2.2 材料选择

选用热致变不可逆油墨中的显色油墨在瓶盖上印刷图案, 由于牛奶在 4 °C 时开始变质, 因此选用变色温度为 4 °C 的油墨, 且为了能够很好地提醒消费者, 图案采用更为醒目的红色作为升温后最终的油墨颜色。如日本松井色素化学工业所的 Thermolock 系列油墨, 主要采用微胶囊制剂, 其变色温度范围广, 有 -14~-15、4~5、23~24、38~39、30~31、36~37 °C 等 6 种, 且颜色多样, 如图 4 所示^[16]。最终, 通过筛选比较, 选择日本松井色素化学工业所的 Thermolock 系列中变色温度范围为 4~5 °C、颜色为 0# 的金橙色油墨作为油墨型时间温度指示标签的印刷材料。

基色 \ 色度	0#	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
金橙	金橙	金橙	金橙	金橙	金橙	金橙	金橙	金橙	金橙	金橙	金橙
洋红	洋红	洋红	洋红	洋红	洋红	洋红	洋红	洋红	洋红	洋红	洋红
考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝	考马斯亮蓝
亮绿色	亮绿色	亮绿色	亮绿色	亮绿色	亮绿色	亮绿色	亮绿色	亮绿色	亮绿色	亮绿色	亮绿色
耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑	耐晒黑

图 4 油墨的颜色
Fig.4 Color of ink

2.2.3 显色型鲜奶用时间温度指示标签设计

将这个油墨型时间温度指示标签的图案设计为一个红色的盾牌内带一个温度计, 意为防止温度升高, 如果牛奶的储存温度不当, 当消费者购买或准备开盖饮用时, 即可发现瓶盖上的警示图案, 不管是对家长还是儿童图案都简单明了, 具有明显的警示作用, 提示消费者鲜奶品质不佳或已经变质。热敏油墨完全显示后的图案如图 5 所示。随着温度的上升, 油墨颜色由白色变为红色 (从左至右), 具体变化过程如图 6 所示, 标签也会由图 7a 变为图 7b, 瓶子的整体效果如图 7c 所示。热敏油墨为日本松井色素化学工业所 Thermolock 系列油墨, 颜色为 0# 号颜色。



图 5 印刷图案
Fig.5 Printed pattern



图 6 随温度上升油墨的颜色变化
Fig.6 Change of ink color with the increase in temperature



图 7 显色型鲜奶用时间温度指示标签效果
Fig.7 Effect of chromogenic-type time and temperature indicator label

3 扩散型时间温度指示标签设计

扩散型时间温度指示标签是根据指示剂在一定温度下融化, 指示剂从固态变成液态的流动来表示产品所经历的时间与温度的关系, 以此来显示产品的状态以及使用寿命。

3.1 设计思路与原理说明

利用物质受热融化的性质, 使指示剂的熔点等于或略高于 4 °C, 当鲜奶存放于 4 °C 以上的环境中时, 指示剂就会融化, 通过指示剂是否受热融化来识别鲜奶的储存温度是否低于 4 °C 以下, 可以让消费者更加直观地了解到鲜奶的新鲜程度和质量。

3.2 温度指示标签材料的选择

3.2.1 指示剂材料的选择

根据一些物质的熔点和价格^[17] (如表 2 所示), 最终选择花生油作为标签的指示剂, 将花生油的最低凝固温度 4 °C 作为临界变化温度, 试验证明通过控制在泡罩内部所装入油的体积 (≤1 mL), 即使局部升温, 融化的花生油因表面张力作用也不能流过中间细的连通管。花生油的融化过程如图 8 所示, 随着温度升高花生油逐渐融化, 见图 8a—b, 并且完全融合至少要 0.5 h。由于花生油颜色较浅, 不易识别, 在常温下为淡黄色液体, 在完全凝固时为白色固体, 因此在花生油中还加入红色的油溶性染料, 使指示剂的颜色更加明显, 方便消费者的识别。总之具体的融化时间与油的体积需要根据外界环境温度进一步试验来确定。

表 2 油脂的熔点
Tab.2 Melting point of oils

名称	熔点/°C	主要成分 (质量分数)	颜色 (形态)
大豆油	-10	油酸 (30%)、亚油酸 (58%)	淡黄色 (液体)
玉米油	-10	油酸、亚油酸	金黄色 (液体)
花生油	4~6	油酸 (41%)、亚油酸 (37%)	淡黄色 (液体)
菜籽油	33	脂肪酸甘油酯	棕色或深黄色 (液体)
猪油	28~48	油酸、亚油酸、亚麻酸	白色或浅黄色 (固体)

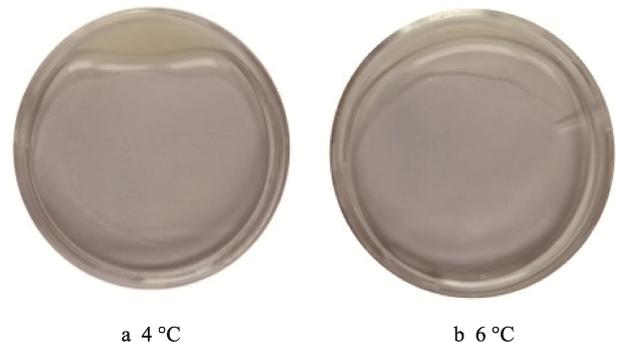


图 8 试验中花生油的融化过程
Fig.8 Melting process of peanut oil during experiment

3.2.2 标签用指示剂泡罩材料的选择

指示标签采用透明泡罩包装的形式,因其密封性好可以有效防止指示剂流出而污染包装^[18]。整个标签有2个小泡罩,中间用一个小通道连接2个小泡罩,其中指示剂放在靠近上部的泡罩中。由于标签需要盛装花生油,因此,整个标签需要有良好的阻隔性,防止花生油渗出以及外界气体对花生油造成影响。同时,由于该指示剂融化与鲜奶储存的外界温度有关,因此,封装材料要具备良好的导热性,这样标签和鲜奶的温差较小,温度更加精准,且在外界温度发生变化时能及时反馈,不会发生滞后现象。泡罩的材质主要有聚偏二氯乙烯(PVDC)、聚氯乙烯(PVC)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)和聚丙烯(PP)这4种^[19],4种材料的性能和价格如表3所示。根据上述要求,因为PVC具有更加良好的阻隔性和更高的性价比,所以最终选择PVC作为泡罩材料。

表3 泡罩包装材料
Tab.3 Blister package material

材料	阻水气性	阻氧气性	价格
聚氯乙烯	一般	一般	低
聚丙烯	一般	差	一般
聚对苯二甲酸乙二醇酯	一般	一般	较高
聚偏二氯乙烯	好	好	较高

由于铝箔具有良好的阻隔性以及导热性,可以使泡罩内的花生油和鲜奶间的温差减小,更加符合指示标签对材料的要求,因此选择铝箔作为衬底材料。各材料的性能如表4所示。

表4 泡罩衬底材料
Tab.4 Liner material for blister package

材料	阻水气性	阻氧气性	价格	导热性
白纸板	差	差	一般	一般
铝箔	好	好	较高	好

3.3 扩散型时间温度指示标签设计

时间温度指示标签的整体设计为上下分布的2个弧形泡罩,将这个弧形的泡罩置于卡通牛(如图9a)嘴部的位置,标签与卡通牛的表情相结合,将其分开来看刚好与标签上的2个圆圈分别组成了微笑的脸和伤心的脸,如图9b和9c所示。在与无菌砖黏合之前,凝固的花生油位于标签上部的泡罩内。当标签黏合在鲜奶包装上时,由于鲜奶一直存放于低温条件下(即4℃以下),此时环境温度低于花生油的熔点,花生油并未融化,仍然位于标签上方的泡罩内,并与标签上的2个圆圈组成微笑的脸。当鲜奶经过储

存和运输来到消费者手中时,如果凝固的花生油与圆圈组成微笑的脸,就意味着在这一过程中鲜奶一直存放于4℃以下,可以放心购买,标签样式如图10a所示。当鲜奶在储存或运输过程中高于4℃时,即达到花生油的熔点时,在重力的作用下花生油就会顺着2个弧形泡罩之间的小通道流入标签下方的泡罩中,这样就与标签上的圆圈组成了一个伤心的脸,标签样式如图10b所示。



图9 扩散型时间温度指示标签及包装效果
Fig.9 Diffusion-type time and temperature indicator label and packaging effect

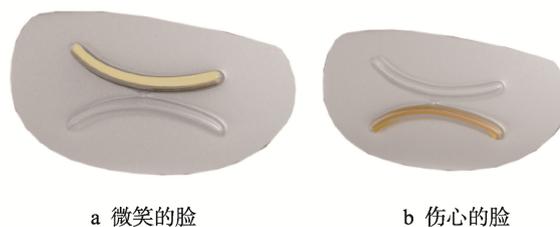


图10 指示标签效果图
Fig.10 Effect drawing of indicator label

如果排除运输途中包装盒可能由于上下倒置、左右颠簸等情况,这样这个标签由于重力的原因花生油只可能向下流,具有不可逆性。当消费者在购买鲜奶时发现鲜奶的标签是一个伤心的脸,就意味着鲜奶在储存或运输环节中可能有一段时间是处于4℃以上的,而时间的长短可以通过下方的泡罩内含有融化的花生油的含量来判断,此时的鲜奶虽然还在保质期内,但在一定程度上已经发生了变质,消费者在购买时需要多加甄别。

4 结语

随着消费者对食品质量及安全意识的提高,巴氏杀菌奶的特殊性导致消费者对其质量安全非常重视,文中设计的消色型鲜奶时间温度指示标签在形状上将条形码与奶牛图案相结合,新颖独特;在材料上使用了黑色的热敏油墨,使条形码图案可以随温度升高而变浅直至消失,最终使扫码枪不能识别条形码,消费者无法购买。设计的显色型鲜奶时间温度指示标签

采用热敏油墨将盾牌温度计图案印刷在瓶盖上,当温度升高时,盾牌温度计会显现出红色,以此来警示消费者牛奶的储存温度是否高于要求温度。设计的扩散型时间温度指示标签与卡通牛相结合,通过卡通牛的表情和指示剂是否融化来提示消费者,让消费者在购买的时候可以清楚地看到鲜奶的储存温度是否适宜。总之,3种可视化鲜奶储存温度识别包装能让消费者对产品更加信任,可吸引更多的消费者,提升企业的品牌形象,为企业带来巨大的效益,但还需要做相关的试验来验证这个方案的可行性,如由凝固花生油体积有限,局部升温可能不影响牛奶品质,但因凝固花生油溶解可能导致消费者错判与浪费。由于在运输途中未考虑包装盒可能发生上下倒置、左右颠簸的问题,不能确保花生油标签一直处于正立状态,不能确定标签状态不可逆,对消费者判定会产生不准确性,所以为了保证标签可靠的不可逆性,可以在连通管内设置一层搭片,保证油的单向流动。

参考文献:

- [1] 孙永立. 乳制品新趋势:消费者健康意识增强 低温奶市场空间增大[J]. 中国食品工业, 2021(1): 102-104.
SUN Yong-li. New Trend of Dairy Products: Enhancing Consumers' Health Awareness and Increasing Market Space of Low Temperature Milk[J]. Chinese Food Industry, 2021(1):102-104.
- [2] LIU Xiu-ying, CHEN Ke-ke, WANG Jia-yan, et al. An On-Package Colorimetric Sensing Label Based on a Sol-Gel Matrix for Fish Freshness Monitoring[J]. Food Chemistry, 2020, 307: 125580.
- [3] AMIRI R, PIRI H, AKBARI M, et al. The Fabrication and Kinetic Modeling of a New Time-Temperature Label Based on Paraffin Wax and Black Carrot Anthocyanin for Monitoring Fish Products[J]. Analytical Methods, 2020, 12(4): 544-551.
- [4] FRANCO M R, CUNHA L R, BIANCHI R F. Janus Principle Applied to Food Safety: An Active Two-Faced Indicator Label for Tracking Meat Freshness[J]. Sensors and Actuators: B. Chemical, 2021, 333: 129466.
- [5] 刘杰, 于常青, 李家泽, 等. 鲜牛奶变质过程的激光诱导荧光光谱研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2001, 21(6): 769-771.
LIU Jie, YU Chang-qing, LI Jia-ze, et al. Study on Deteriorating Course of Fresh Milk by Laser-Induced Fluorescence Spectra[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2001, 21(6): 769-771.
- [6] 徐宗良, 刘丽. 影响鲜奶质量的因素及改善建议[J]. 生命科学仪器, 2012, 10(2): 22-25.
- XU Zong-liang, LIU Li. Influence Factors on the Quality of Fresh Milk and Improvement Suggestions[J]. Life Science Instruments, 2012, 10(2): 22-25.
- [7] DING Rui-xue, YANG Shan-shan, GENG Li-juan, et al. Characterization of the Core Microflora and Nutrient Composition in Packaged Pasteurized Milk Products during Storage[J/OL]. Food Science and Human Wellness:1-15[2022-05-31].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1750.TS.20220510.1713.024.html>
- [8] 徐楚璇. 牛奶的变质与新鲜度检测探讨[J]. 现代商贸工业, 2019, 40(10): 176-178.
XU Chu-xuan. Discussion on Deterioration and Freshness Detection of Milk[J]. Modern Business Trade Industry, 2019, 40(10): 176-178.
- [9] 刘永生. TTI 热敏标签技术的现状与前景分析[J]. 标签技术, 2019(2): 35-38.
LIU Yong-sheng. Current Situation and Prospect Analysis of TTI Thermal Label Technology [J]. Label Technology, 2019(2): 35-38.
- [10] JI H N, LIU D Q, CHENG H F, et al. Large Area Infrared Thermochromic VO₂ Nanoparticle Films Prepared by Inkjet Printing Technology[J]. Solar Energy Materials Solar Cells, 2019, 194: 235-243.
- [11] 陈小敏. 温变油墨及其应用[J]. 中国防伪报道, 2006(12): 53-55.
CHEN Xiao-min. Temperature-Dependent Ink and Its Application[J]. China Anti-Counterfeiting Report, 2006(12): 53-55.
- [12] 汪珊珊. 浅谈功能性油墨[J]. 印刷杂志, 2017(12): 26-28.
WANG Shan-shan. Discussion on Functional Ink[J]. Printing Field, 2017(12): 26-28.
- [13] 吴义生. 示温变色油墨的变色原理及应用[J]. 印刷技术, 2006(24): 43-44.
WU Yi-sheng. Color-Changing Principle and Application of Thermochromic Color-Changing Ink[J]. Printing Technology, 2006(24): 43-44.
- [14] 习智华, 赵振河, 狄群英. 热敏变色涂料变色原理及发展[J]. 印染助剂, 1998, 15(1): 1-6
XI Zhi-hua, ZHAO Zhen-he, DI Qun-ying. Color-Changing Principle and Development of Thermosensitive Color-changing Coatings [J]. Textile Auxiliaries, 1998, 15(1): 1-6.
- [15] 习智华, 赵振河, 狄群英. 热敏变色涂料变色原理及发展[J]. 印染助剂, 1998, 15(1): 1-4.

XI Zhi-hua, ZHAO Zhen-he, DI Qun-ying. Color-changing Principle and Development of Thermosensitive Color-changing Coatings [J]. Textile Auxiliaries, 1998, 15(1): 1-4.

[16] 邢文柱. 新型热敏防伪印刷技术的开发[J]. 今日印刷, 2006(7): 14-16.

XING Wen-zhu. On New Generation Thermal Anti-False Printing Technology Development[J]. Print Today, 2006(7): 14-16.

[17] 薛迪庚. 变色印花[J]. 染料工业, 1985(4): 38-40.

XUE Di-geng. Color-changing Printing [J]. Dyestuff Industry, 1985(4): 38-40.

[18] 淮东欣, 薛晓梦, 吕昕, 等. 高油酸花生油低温分层现象分析[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(2): 306-312.

HUAI Dong-xin, XUE Xiao-meng, LYU Xin, et al. Mechanism of Stratification of High Oleate Peanut Oil at Low Temperatures[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2020, 42(2): 306-312.

[19] 洪亮, 程利伟. 泡罩包装技术分析[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 73-75.

HONG Liang, CHENG Li-wei. Analysis of the Blister Packaging Technology[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 73-75.

[20] 王兴梁. 浅析药品泡罩包装材料发展[J]. 中国印刷, 2016(1): 72-75.

WANG Xing-liang. Brief Analysis on the Development of Drug Blister Packaging Materials[J]. China Printing, 2016(1): 72-75.

责任编辑：曾钰婵