

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.01.009

# 运动饮料对不同光固化复合树脂 颜色稳定性的影响

## Effect of sports drinks on color stability of different light-cured composite resins

张 炜

ZHANG Wei

(包头铁道职业技术学院体育教学部, 内蒙古 包头 014060)

(Baotou Railway Vocational &amp; Technical College, Baotou, Inner Mongolia 014060, China)

**摘要:**为了评估 3 种运动饮料对浸泡 30 d 和 180 d 后的光固化复合树脂材料的颜色稳定性的影响,分别测定 4 种树脂复合材料的基准色值( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ ),从每组复合材料中随机抽取样本浸入运动饮料及蒸馏水中 30 d 和 180 d,重新测量浸没后的样品颜色值,并计算颜色变化值( $\Delta E$ ),使用 Kruskal-Wallis 和 Mann-Whitney 方法评估数据。结果显示:树脂复合材料在 180 d 的评估期内呈现出颜色变化,在 30 d 时,浸泡在 Burn 中的 APX 试样中观察到最高的颜色变化( $P < 0.01$ );180 d 后,Posterior 显示较少的变色( $P < 0.001$ )。在所有测试的复合材料中,Burn 运动饮料都呈现出最高的褪色水平( $P < 0.01$ )。测试样品在 180 d 的评估期内,颜色稳定性主要受到溶液类型、浸泡时间和复合材料成分等因素的影响。结果表明长时间饮用运动饮料,应当注意运动饮料对牙齿的染色效果和潜在的腐蚀作用。

**关键词:**运动饮料;纳米填充;微杂化复合材料;颜色变化

**Abstract:** In this study, in order to evaluate the effect of three kinds of sports drinks on the color stability of light cured composite resin materials after 1 and 6 months of immersion, the reference color values ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) of four kinds of resin composites were measured, and samples from each group of composite materials were randomly selected and immersed in sports drinks and distilled water for 1 month and 6 months. The color values of the samples after immersion were re measured, and the color change value (DE) was calculated. The data were evaluated by Kruskal - Wallis and Mann-Whitney methods. The resin composite showed a color change over a 6-month evaluation period,

with the highest color change observed in APX samples immersed in burn at 1 month ( $P < 0.01$ ); after 6 months, Posterior showed less discoloration ( $P < 0.001$ ). Among the composite materials tested, Burn sports drink showed the highest fading level ( $P < 0.01$ ). During the 6-month evaluation period, the color stability of the test samples in this study was mainly affected by the solution type, soaking time and composite composition. The results showed that long-term in-taker of sports should pay attention to their dyeing effect and potential corrosion.

**Keywords:** sports drink; nano filling; micro hybrid composite; color change

近年来,复合树脂作为修复材料在牙科临床领域的应用大幅增加<sup>[1]</sup>,任何整形修复材料都应在颜色上接近天然牙齿的外观,并具有一定的颜色稳定性。然而,复合树脂作为牙科修复材料的缺点是长时间浸泡于口腔环境后将会变色<sup>[2-3]</sup>。树脂基修复材料的褪色、变色由多种外在或在内在因素导致,外部原因可能有:吸烟,某些饮食习惯和不良的口腔卫生以及整个树脂基质对水溶性污渍的吸附;内在因素例如树脂基质的变化,填料,负载量和粒径分布以及光引发剂的类型,也会使树脂材料本身变色<sup>[4-6]</sup>。据报道<sup>[7]</sup>,增加填料含量可提高颜色稳定性,但较高的树脂密度则会导致更大程度的变色。即使在树脂基质精加工后,不规则排列的无机填料颗粒形成的表面粗糙度较高,这也会导致变色褪色<sup>[1,3,8]</sup>。某些有色溶液,如咖啡、茶和其他饮料会影响树脂基材料的染色以及在不同溶液中浸泡后的颜色稳定性<sup>[9-11]</sup>。

贾新庄等<sup>[12-13]</sup>研究表明,运动饮料的消费在年轻人中非常普遍,尤其在从事体育活动的人群中消费量居高不下,这些饮料大多呈酸性,长期饮用可能会损害用于牙科修复的树脂材料。但有关酸性运动饮料对修复性复合

**基金项目:**内蒙古教育科学规划课题(编号:NMJGH20161021)

**作者简介:**张炜(1981—),男,包头铁道职业技术学院副教授,硕士。E-mail:zhangwei82702029@163.com

**收稿日期:**2020-10-05

树脂材料的影响的研究报道较少或探讨不充分,研究拟将两种纳米填充和两种微杂化复合树脂材料长期浸泡于 3 种不同运动饮料中,基于 CIE(国际照明委员会) $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  的颜色系统,通过反射分光光度计评估复合树脂材料的颜色稳定性,模拟研究长期饮用运动饮料对人体牙科修复的树脂材料的影响。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

Posterior 纳米填充树脂复合材料、APX 微杂化复合树脂材料(主要参数如表 1 所示):日本可乐丽公司;

Supreme 纳米填充树脂复合材料、Z250 微杂化复合树脂材料(主要参数如表 1 所示):美国圣保罗复合材料有限公司;

聚酯薄膜带:Zm-69,上海托特食品储备与加工公司;

卤素光固化装置:K 型,HH374,上海神光仪器有限公司;

氧化铝渍渍盘:JS-13-10A 型,东莞市江胜实业有限公司;

Powerade(pH 3.79)、Burn(pH 2.67)运动饮料:中粮可口可乐饮料有限公司;

Red Bull 红牛(pH 3.54):红牛维他命饮料有限公司;

pH 测量计:HI221 型,汉纳实验仪器产品有限责任公司;

分光光度计:Color Eye 7000 型,格力高一麦克贝特仪器有限公司。

### 1.2 样品浸入溶液

使用定制的圆柱形金属模具,将 4 种复合树脂分别制备成 28 个直径 10 mm,厚 2 mm 的盘状样品。将复合材料倒入模具中后,用玻璃板将聚酯带压在模具表面上,获得没有气泡的平坦表面,使用标准模式运行卤素光固化装置,功率设置为  $600 \text{ mW/cm}^2$ ,光固化装置的导轨垂直于样品表面放置,并使用玻璃载玻片固定光源和样品之间的距离,将复合材料从顶侧和底侧聚合 20 s。然后,将所有样品在  $(37 \pm 8)^\circ\text{C}$  的蒸馏水中保存 24 h,以确保完全聚合;随后在干燥状态下,使用中、细和超细氧化铝渍渍盘抛光所有样品的上表面 30 s;抛光后,将样品用蒸馏

水冲洗 10 s 以除去碎屑,并进行干燥,然后用另一个较低粒度的圆盘抛光相同的时间<sup>[14]</sup>。

为了评估样品在不同溶液中的颜色稳定性,将每组的 28 个样品细分为 4 组,每组 7 个样品,在浸入样品之前使用 pH 测量计测量 pH 值,随后浸入 4 种不同的溶液(蒸馏水、Powerade、Red Bull 和 Burn)中,以蒸馏水作为对照溶液,将每种复合树脂的样品分别浸入到 5 mL Powerade、Red Bull、Burn 运动饮料中。完成浸泡后,样品用蒸馏水洗涤,保存于  $37^\circ\text{C}$  蒸馏水中。

### 1.3 评估颜色变化

使用分光光度计,根据白色背景上相对于标准光源 D65 的 CIE  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  色标,对所有样品进行基准色测量,包括脉冲氙气源(UV)组件,镜面反射分量排除了几何形状<sup>[15]</sup>。孔径大小设置为  $3 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ ,每次测量前,使用分光光度计依据白色校准标准进行校准<sup>[16]</sup>。分光光度计会自动计算每种材料 28 个样品的平均颜色。CIE  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  颜色系统是三维颜色测量系统,其中  $L^*$  表示亮度坐标,其值的范围从 0(完全黑色)到 100(完全白色)以及  $a^*$  和  $b^*$  分别表示绿—红色( $a^* = \text{绿色}$ ,  $+a^* = \text{红色}$ )和蓝—黄色( $b^* = \text{蓝色}$ ,  $+b^* = \text{黄色}$ )的色度坐标<sup>[15,17]</sup>。

颜色测量在试验开始时进行,之后在试验的 30 d 和 180 d 后进行。使用薄纸将所有样品擦干后,将其放在分光光度计的测量处。浸泡 30 d 及 180 d 后,每个样品分别测量 3 次  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值,分光光度计自动计算并记录 3 次测量后的  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$  和  $\Delta b^*$  ( $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$  和  $\Delta b^*$  分别是 30 d 及 180 d 浸泡前和浸泡后  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值的差异)的平均值,由此计算色差  $\Delta E$ <sup>[18-19]</sup>。

### 1.4 统计分析

使用 NCSS-PASS 统计软件包进行统计分析,首先使用 Kolmogorov-Smirnov 检验分析结果,以检验正态分布。当 Kolmogorov-Smirnov 分析结果未显示正态分布时,将使用非参数 Kruskal-Wallis 检验,在不同的浸没时间后,使用 Mann-Whitney U 检验比较 4 种不同溶液中树脂复合材料之间的颜色变化,并使用 Wilcoxon 符号秩检验对每个试验组的结果进行比较评估<sup>[20-21]</sup>。统计显著性水平为  $P < 0.05$ 。

表 1 研究所用树脂复合材料的成分

Table 1 The composition of resin composites used in this study

树脂复合材料	种类	填充率/%	填充容积/%	填充物	填充物尺寸
Posterior	纳米填充树脂	92	82	玻璃陶瓷,表面处理氧化铝微填料,二氧化硅	微米填料: $1.5 \mu\text{m}$ 纳米填料: 20 nm
Supreme	纳米填充树脂	78	59	$\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ 纳米团簇, $\text{SiO}_2$ 纳米填料	5~20 nm, 含 20 nm 二氧化硅填料
APX	微杂化复合树脂	86	70	钡玻璃硅	1~15 $\mu\text{m}$
Z250	微杂化复合树脂	84	61	氧化锆/二氧化硅	0.8 $\mu\text{m}$

## 2 结果与分析

### 2.1 色差( $\Delta E$ )结果

表 2 为 4 种树脂复合材料浸入不同溶液中 30 d 和 180 d 变色值( $\Delta E$ )的均值和标准差。在 30 d 和 180 d 两个时间段内,4 种树脂复合物在 4 种溶液中所表现出的颜色变化均呈现出显著的不同( $P < 0.05$ )。

在两个评估期内,Posterior 样品的  $\Delta E$  值最低,APX 样品的最高。比较 4 种复合材料,纳米填充复合材料在 30 d 时未观察到显著的颜色差异,且颜色变化小于微杂化复合材料(APX 和 Z250)( $P < 0.05$ )。与 30 d 后浸入 Burn 溶液中的 APX 样品相比,Z250 样品显示出更小的颜色变化( $P < 0.05$ ),而其他 3 种溶液的颜色变化差异均不显著。30 d 后颜色变化均在可接受范围内( $\Delta E < 3.3$ ),将 APX 样品浸入 Burn( $\Delta E = 3.83 \pm 0.65$ )180 d 后,4 种复合材料均显示出明显的颜色变化( $\Delta E > 3.3, P < 0.05$ ),但 Posterior 浸泡在蒸馏水中( $\Delta E = 2.91 \pm 0.28$ )除外。

此外,Posterior 呈现出比其他复合材料更微小的颜色变化( $P < 0.001$ )。Supreme 样品的颜色变化明显小于微杂化复合材料( $P < 0.05$ )。180 d 后微混合复合材料样品的颜色变化不明显。同一复合材料在 Powerade 和 Red Bull 中浸泡 180 d,Posterior ( $P = 0.277$ )、Supreme ( $P = 0.522$ )和 APX( $P = 0.337$ )结果无显著差异,但 Z250 样品观察到了显著差异( $P < 0.01$ )(见表 3)。

蒸馏水对照组中 30 d 后,Posterior 和 Supreme 试样之间没有观察到明显的色差( $P = 0.710$ )。此外,这些组

的颜色变化明显小于 APX 和 Z250 试样( $P < 0.01$ ),在 APX 和 Z250 试样之间没有显著的颜色变化( $P > 0.05$ )。180 d 后,Posterior 颜色变化的平均值显著低于其他复合材料试样( $P < 0.001$ )。Supreme 显示的颜色变化明显小于 APX( $P < 0.001$ )和 Z250 试样( $P < 0.01$ )。APX 和 Z250 试样之间没有明显的颜色变化差异( $P > 0.05$ )。

### 2.2 统计结果分析

对于 Powerade,在 30 d 后,Posterior 和 Supreme 样品之间的色变差异显著( $P = 0.620$ ),而这些组的颜色变化明显小于 APX( $P < 0.001$ )和 Z250 试样( $P < 0.01$ )。仅在 APX 试样中观察到显著的颜色变化( $P < 0.05$ ),而 Supreme 和 Z250 试样之间没有观察到差异( $P > 0.05$ )。180 d 后的所有复合材料样本的颜色变化均具有统计学意义( $P < 0.001$ )。

对于 Red Bull,30 d 后,APX 样品的颜色变化平均值明显高于其他 3 个样品的( $P < 0.01$ )。Supreme 和 Z250 样品( $P > 0.05$ )以及 APX 和 Z250 样品之间无明显的颜色变化差异( $P > 0.05$ );180 d 后,Posterior 的颜色变化平均值明显低于其他 3 个样品的( $P < 0.001$ )。Supreme 的颜色变化平均值明显低于 APX 和 Z250 样品的( $P < 0.001$ ),而 APX 与 Z250 之间未观察到明显的颜色变化差异( $P = 0.165$ )。对于 Burn,30 d 后,APX 样品的颜色变化平均值明显高于其他 3 个样品的( $P < 0.01$ ),Supreme 和 Z250 无明显的颜色变化( $P > 0.05$ ),而 Z250 的颜色变化的显著性值明显低于 APX( $P < 0.01$ )。180 d 后,Posterior 的颜色变化平均值明显低于其他样品的( $P < 0.001$ )。

表 2 浸入不同溶液 30 d 和 180 d 的均值和标准差结果<sup>†</sup>

Table 2 Mean value and standard deviation after immersion in different solutions for 1 and 6 months

树脂复 合材料	蒸馏水		Powerade		Red Bull		Burn	
	30 d	180 d	30 d	180 d	30 d	180 d	30 d	180 d
Posterior	1.30 ± 0.18 <sup>a</sup>	2.91 ± 0.28 <sup>c</sup>	2.33 ± 0.21 <sup>a</sup>	4.95 ± 0.50 <sup>*d</sup>	2.55 ± 0.25 <sup>a</sup>	5.41 ± 0.80 <sup>*c</sup>	2.91 ± 0.27 <sup>a</sup>	6.97 ± 0.41 <sup>*c</sup>
Supreme	1.35 ± 0.25 <sup>a</sup>	3.90 ± 0.36 <sup>*d</sup>	2.45 ± 0.32 <sup>ab</sup>	6.62 ± 0.65 <sup>*e</sup>	2.61 ± 0.37 <sup>a</sup>	6.70 ± 0.41 <sup>*d</sup>	3.11 ± 0.23 <sup>a</sup>	8.77 ± 0.58 <sup>*d</sup>
APX	1.63 ± 0.23 <sup>b</sup>	5.11 ± 0.48 <sup>*e</sup>	3.01 ± 0.28 <sup>c</sup>	8.52 ± 0.53 <sup>*f</sup>	3.16 ± 0.21 <sup>b</sup>	8.75 ± 0.38 <sup>*e</sup>	3.83 ± 0.65 <sup>*b</sup>	9.95 ± 0.29 <sup>*e</sup>
Z250	1.62 ± 0.18 <sup>b</sup>	5.44 ± 0.53 <sup>*e</sup>	2.67 ± 0.25 <sup>b</sup>	7.47 ± 0.35 <sup>*g</sup>	2.77 ± 0.35 <sup>ab</sup>	8.46 ± 0.39 <sup>*e</sup>	3.08 ± 0.11 <sup>a</sup>	9.24 ± 0.71 <sup>*de</sup>

† 同列上标字母不同表示有显著性差异( $P < 0.05$ ); \* 表示值不可接受( $\Delta E > 3.3$ )<sup>[22]</sup>。

表 3 曼恩-惠特尼(Mann-Whitney U 检验)对染色溶液的多重比较测试结果

Table 3 Mann-Whitney U test multiple comparison test results of staining solution

染色溶液	Posterior		Supreme		APX		Z250	
	30 d	180 d	30 d	180 d	30 d	180 d	30 d	180 d
Water-Powerade	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Water-Red Bull	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Water-Burn	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Powerade-Red Bull	0.092	0.277	0.443	0.522	0.201	0.337	0.655	0.002
Powerade-Burn	0.004	0.002	0.002	0.002	0.006	0.002	0.004	0.002
Red Bull-Burn	0.025	0.003	0.013	0.002	0.025	0.002	0.048	0.029

Supreme 和 Z250 未观察到明显的颜色变化( $P>0.05$ ),但 Supreme 的颜色变化明显小于 APX( $P<0.01$ )。Z250 和 APX 的颜色无明显变化( $P=0.128$ )。

### 2.3 填料特性及含量对变色的影响

试验发现,测试的 4 种树脂复合材料在 4 种溶液中浸泡 180 d 后都显示出明显的颜色变化,其中 Posterior 纳米树脂的颜色受浸入的影响最小,APX 微杂化树脂颜色变化最大。可吸水的树脂复合材料也能够吸收其他带有颜料的液体,从而导致变色。假定水充当颜料载体,颜料可渗透到树脂基质中,复合材料的树脂基体可以从环境中吸收水分,而无机玻璃填料不能吸收材料的水分,但能吸收其表面的水分<sup>[23]</sup>。过度吸水会通过膨胀和塑化树脂组分,水解硅烷并导致微裂纹形成而缩短树脂复合材料的使用寿命,使填料和基质之间的界面出现微裂纹或界面间隙<sup>[24]</sup>,产生渗透和变色。材料中较高的树脂含量会降低其抗光解和吸水的能力,因此对染色的敏感性更高。

Supreme 填料含量较低,与微杂化复合材料相比,浸泡 30 d 和 180 d 后其变色程度更小。填料在复合材料的性能中起重要作用,树脂复合材料的磨损会导致填料从树脂基体上脱落,从而增加表面粗糙度,纳米填充材料的表面粗糙度值低于微杂化材料。在整理和抛光过程中,粒径较小的纳米复合材料留下了较小的空隙,据文献<sup>[2,15]</sup>报道,复合材料的树脂基体的类型在染色敏感性中也起重要作用。氨基甲酸酯二甲基丙烯酸酯(UDMA)理论上比 Bis-GMA 更耐变色,因为其吸水率和溶解度低。Posterior 与 APX 具有相似的树脂基质成分(Bis-GMA 和 TEGDMA),并且 Posterior 中添加了疏水性芳香族二甲基丙烯酸酯。Bis-GMA 基质是一种高度黏稠的双功能单体<sup>[25]</sup>,其高黏度可通过添加反应性三甲基乙二醇二甲基丙烯酸酯(TEGDMA)进行稀释,因此可以使大量的纳米填料掺入树脂基质中。增加的填料含量和添加疏水性芳香族二甲基丙烯酸酯可能会降低吸水率,并导致 Posterior 试样的变色较少。同样,Supreme 与 Z250 有相似的基质配方,两者都是基于 Bis-GMA、Bis-EMA 和 UDMA 的复合材料。Bis-EMA 是 Bis-GMA 的乙氧基化形式,具有高度疏水性,因为其主聚合物链上不包含任何未反应的羟基。因此,可以预期 Supreme 更耐变色。

复合材料的表面质量和对外部变色也会受到填料颗粒组成和尺寸的影响<sup>[26]</sup>。因此,具有较小颗粒的 Posterior 和 Supreme 比粗糙的表面受到更小的表面浸渍。30 d 后,Posterior 和 Supreme 在所有测试溶液中显示出相似的颜色变化;在 180 d,Posterior 在所有溶液中均显示出比 Supreme 更小的颜色变化。这可能与两种纳米填充树脂复合材料的填充量不同有关。Posterior 具有较高的无机含量,因此其吸水率较低;相反,填充剂含量

较低的 Supreme 可能会在基质—填充剂界面吸收更多的水。被吸收的水导致填料基体剥离或填料的水解。研究表明,填充率较低的微杂化复合材料(Z250)比 APX 变色更小,可能是由于较小的粒度和成分差异造成了变色效果不显著。

### 2.4 溶液种类及浸泡时间对变色的影响

经过 30 d 和 180 d 浸泡后,测试溶液在树脂复合物中引起不同程度的褪色,随着浸泡时间的增加,变色更加明显。当复合材料浸入蒸馏水中时,在 30 d 后颜色差异不明显( $\Delta E=1.30\sim 1.63$ ),该结果证实,吸水本身不会显著地改变复合材料的颜色。但是在 180 d 后,除 Posterior 外,所有复合材料均表现出可察觉的颜色变化( $\Delta E>3.3$ )。在测试的复合材料中,仅在 Burn 运动饮料浸入测试 30 d 后,APX 样品的颜色变化超过  $\Delta E$  临界值。在 180 d 内,Burn 运动饮料中所有复合材料的变色程度最高( $\Delta E=6.97\sim 9.95$ ),其次是 Red Bull( $\Delta E=5.41\sim 8.75$ )。试验使用的 Powerade 含有水溶性的亮蓝染料作为着色剂,Powerade 组的颜色变化与 Red Bull 相似。原因可能是,与 Red Bull 的着色剂相比,Powerade 亮蓝色染料颜色鲜艳,因此在复合树脂的有机基质中产生的变色不明显。使用的 Red Bull 饮料含有蔗糖和核黄素作为着色剂,除了蔗糖的染色能力外,Red Bull 还含有黄—黄色或橙—黄色的核黄素。此外,在 4 种复合树脂材料中产生最明显颜色变化的另一种运动饮料是 Burn,其诱惑红染料呈深红色,具有水溶性,由于 Burn 运动饮料中红色着色剂的含量很高,并且与基质的亲水成分的相容性导致该着色剂的吸收量大,因此在样品中产生最大的染色结果。低 pH 值可通过软化基质,从而影响表面的完整性,导致玻璃相损失(如钙、铝、硅酮等结构离子),并影响牙科材料的耐磨性。

试验中,所有运动饮料都含有柠檬酸,因此,可以推测出 Burn 运动饮料的低 pH(2.67)可能影响了材料的表面完整性,从而软化了基质并增加了色素的吸收。对  $\Delta E$  值的分析表明,在使用测试溶液进行 180 d 的浸没测试后,所有树脂复合材料的颜色都有明显变化。因此,浸渍时间对树脂复合材料的颜色稳定性具有关键影响,随着浸入时间的增加,颜色变化更加明显。

## 3 结论

运动饮料的消费量在从事体育活动的人群中居高不下,这些饮料大多呈酸性,长期饮用可能会损害用于牙科修复的树脂材料。研究基于 CIE ( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ ) 颜色系统,通过反射分光光度计评估两种纳米填充和两种微杂化复合树脂材料在 3 种不同运动饮料中长期浸泡后的颜色稳定性,模拟研究长期饮用运动饮料对人体牙科修复的树脂材料的影响。结果表明,试验中所有的溶液都会影响所测试树脂复合材料的颜色,180 d 后,纳米填充的

复合材料 Posterior 和 Supreme 的颜色变化比微杂化复合材料小;Burn 运动饮料比其他运动饮料产生更大的变色。溶液对复合材料的颜色稳定性受到溶液的类型、浸入时间和复合材料的组成成分等因素的影响。

### 参考文献

- [1] 尹路, 林垚, 邵金铨, 等. 美白凝胶及酸性饮料对离体牙釉质结构的影响[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2012, 13(1): 38-41.
- [2] 梁向阳, 孔晶晶, 李春年, 等. 不同材料在碳酸饮料所致脱矿釉质再矿化中的作用[J]. 口腔医学研究, 2017(12): 56-73.
- [3] 陈晓玲, 陈志群, 林垚, 等. 牙齿美白剂及酸性饮料对釉质表面结构的影响[J]. 华西口腔医学杂志, 2013, 31(5): 530-532.
- [4] 侯晓玫, 张清, 陈霄迟, 等. 北京市 12 岁人群牙侵蚀患病情况及酸性饮料危险性分析[J]. 中华口腔医学杂志, 2009, 44(4): 208-211.
- [5] 任常群. 酸性饮料与牙酸蚀症[J]. 国外医学(卫生学分册), 1999(4): 44-46, 55.
- [6] 赵培城, 周晓云, 倪裕强. 豆奶的稳定性[J]. 食品与机械, 1992(1): 17-18.
- [7] 曹迎春, 夏文水. 黄原胶对酸性乳饮料稳定性影响的研究[J]. 食品科技, 2006(6): 104-107.
- [8] 李静, 杜柏桥, 黄龙, 等. 羧甲基纤维素钠溶液的流变性质及其在酸性乳饮料中的应用[J]. 食品科学, 2007(11): 56-59.
- [9] 姚晶. 稳定剂对酸性乳饮料的稳定作用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008: 56-66.
- [10] 高晋华, 杜民权, 台保军. 牙齿酸蚀症[J]. 国际口腔医学杂志, 2005, 32(5): 388-390.
- [11] 郑蕾, 田禹, 孙德智. pH 值对活性污泥胞外聚合物分子结构和表面特征影响研究[J]. 环境科学, 2007(7): 101-105.
- [12] 贾新庄, 林原. 酸性含乳饮料稳定性影响因素研究[J]. 中国乳品工业, 2004(10): 43-46.
- [13] 杨国浩. 酸性乳饮料稳定性影响因素分析[J]. 农产品加工(学刊), 2007(7): 83-84, 91.
- [14] 周森, 何志勇, 曾茂茂, 等. 可溶性大豆多糖对于配制型酸性乳饮料稳定效应影响因素研究[J]. 食品科技, 2019(7): 98-103.
- [15] 杨静, 刘丽军, 邓婧. 青岛市城阳区初中学生牙酸蚀患病情况调查[J]. 青岛大学学报(医学版), 2018(1): 134-139.
- [16] 招启文, 张可冬, 陈晓, 等. 气相色谱-质谱联用测定固体运动饮料中肌醇的含量[J]. 食品工业, 2017(7): 286-288.
- [17] 张冬洁, 尹永智, 李洪亮, 等. 对 PET 瓶中酸性乳饮料稳定性影响因素的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(15): 178-191.
- [18] 欧凯, 刘小杰, 唐星, 等. 缓解视疲劳保健乳饮料的研制[J]. 食品与机械, 2009, 25(2): 113-115.
- [19] 郑宁. 罐装紫薯复合饮料的稳定性[J]. 现代食品, 2017(1): 111-115.
- [20] 邓玉杰, 马雪蕾, 古丽娜孜, 等. 外部因素对葡萄酒酿造过程中颜色稳定性的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(5): 30-33.
- [21] 孟祥敏. 榛子蛋白饮料生产工艺及稳定性研究[J]. 农产品加工, 2018(12): 97-105.
- [22] 冯然军. 运动型饮料中禁用酸性染料的检测方法研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2015: 11-19.
- [23] 周峰. 高效液相色谱检测运动饮料中的人工合成色素[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(20): 159-163.
- [24] 邓文辉, 李新生, 吴三桥, 等. 黑色色素纯化及运动饮料配方研究[J]. 食品科技, 2013(6): 119-123.
- [25] 涂志红, 文震, 刘佳欣, 等. 二十八烷醇微乳液的制备及其在运动饮料中的应用[J]. 中国食品学报, 2013(9): 114-118.
- [26] 刘伟, 张楠, 范赛, 等. 固相萃取一气相色谱-串联质谱法测定运动饮料中的 9 种紫外线稳定剂[J]. 分析化学, 2014, 42(5): 706-710.
- [27] 纹图谱研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2009: 35-36.
- [31] NIETO G, BANON S, GARRIDO M D. Effect of supplementing ewes' diet with thyme (*Thymus zygis ssp. gracilis*) leaves on the lipid oxidation of cooked lamb meat[J]. Food Chemistry, 2011, 125(4): 1 147-1 152.
- [32] 曲直, 林耀盛, 唐道邦, 等. 不同品种板鸭的理化特性及风味物质比较[J]. 现代食品科技, 2014(7): 273-278.
- [33] 蔡雪梅, 何莲, 易宇文, 等. GC-MS 结合电子鼻分析啤酒对啤酒鸭风味的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(7): 158-163.
- [34] 龚姚谦, 刘红梅, 罗凤莲, 等. 加工工艺对芷江鸭挥发性风味成分的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 194-200.
- [35] JE Jae-young, PARK Pyo-jam, JUNG Won-kyo, et al. Amino acid changes in fermented oyster (*Crassostrea gigas*) sauce with different fermentation periods[J]. Food Chemistry, 2005, 91: 15-18.

(上接第 60 页)

- [25] 蒋肇祥, 黄雨婷, 邓莎, 等. 不同复合菌种发酵驴肉香肠的风味特性[J]. 食品科技, 2019, 44(12): 99-104.
- [26] 程珂萌, 付晶晶, 潘道东, 等. 低温风干工艺下酱鸭加工过程中品质特性变化规律研究[J]. 核农学报, 2017, 31(8): 1 537-1 545.
- [27] COMI G, IACUMIN L. Identification and process origin of bacteria responsible for cavities and volatile off-flavour compounds in artisan cooked ham[J]. International Journal of Food Ence & Technology, 2012, 47(1): 114-121.
- [28] 秦艳秀. 香辛料反复使用对猪肉汤挥发性风味成分的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019: 23-52.
- [29] 何苗, 陈洁, 曾茂茂, 等. 高温杀菌对福建风味鸭风味的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 29-34.
- [30] 陈耿俊. 全聚德烤鸭香味活性化合物分析及其气相色谱指