

王国保卫战 ——皮肤携手防晒霜共进退

高于淼, 陈亿鑫, 魏嘉欣, 于军洁, 王云侠*

西北大学化学与材料科学学院, 化学国家级实验教学示范中心, 西安 710127

摘要: 近年来, 随着健康生活概念的普及, 人们的防晒意识日益提高, 但是大部分人不清楚如何通过科学防晒实现皮肤健康与身体健康的“双赢”。本文从化学视角, 以一个“守护家国”的小故事作为知识载体, 用通俗易懂的语言向读者科普防晒的相关知识, 主要包括防晒原因、不同防晒霜的组成、防晒原理和利弊等, 希望能够使读者建立正确的防晒思路。

关键词: 防晒霜; 科学防晒; 健康

中图分类号: G64; O6

Guarding the Kingdom: Skin Allies with Sunscreen for Mutual Protection

Yumiao Gao, Yixin Chen, Jiixin Wei, Junjie Yu, Yunxia Wang *

National Chemistry Experimental Teaching Demonstration Center, College of Chemistry and Materials science, Northwest University, Xi'an 710127, China.

Abstract: In recent years, as the concept of healthy living has gained popularity, there has been an increasing awareness of sun protection. However, many people still lack a clear understanding of achieving a dual benefit of skin health and overall well-being through effective sun protection. This article, from a chemical perspective, employs a narrative approach of safeguarding the body to educate readers in accessible language about the importance of sun protection. It covers reasons for sun protection, the composition of different sunscreens, principles of sun protection, and their benefits and drawbacks, aiming to guide readers towards adopting informed sun protection practices.

Key Words: Sunscreen cream; Scientific sun protection; Health

在人体王国的边疆地区, 有一支皮肤细胞大军, 是守护人体王国最忠诚的士兵, 世世代代承担着守护王国的重任, 他们不仅能够防止王国中水分的过度蒸发, 保护王国和各器官的安全, 保障细胞居民们的正常生活^[1], 还能应对各种外来强敌的入侵, 为体内的各细胞提供安全稳定的工作环境。面对各种险阻与强敌, 他们枕戈待旦, 一刻也不敢松懈。

多年来, 许多强大的敌人先后来犯, 其中紫外线“格格巫”是进攻最频繁、攻击力最高的敌人之一, “格格巫”们日日来犯, 时而强时而弱, 他们大范围进攻人体王国, 让边关的将士们苦不堪言。这日, 将军大人召开了一场针对紫外线的“专场分析会”, 为之后的大战做好准备……

1 知己知彼，百战不殆

“紫外线(UV)家族十分庞大，按照波长的长短，他们被分为三个家族——长波紫外线(UVA 320–400 nm)、中波紫外线(UVB 280–320 nm)和短波紫外线(UVC 190–280 nm)^[2,3]，其中，大部分UVA和少数UVB小兵可以穿越王国外的天然屏障——臭氧层向王国边关发起进攻^[4]。”将军面色严肃地向所有小兵介绍着即将来临的大敌。

台下少数新兵不以为然，他们窃窃私语道：“这个劳什子紫外线听起来也没什么厉害的嘛！一堆连过个臭氧层都费劲的外星人，哪里可怕了？看我们上去哇哇几脚就给他打趴下！哈哈哈……”旁边的老兵看着这几个不知天高地厚的新兵蛋子，默默地叹了口气，心头涌上回忆。

一位浑身黝黑的细胞老兵缓缓开口：“这群‘格格巫’能耐可大着呢！UVB家族能量大，但是进攻范围有限，只能对我们的表皮层细胞发起进攻。UVA家族能量小但是进攻范围长，可以到达真皮层，UVA专门针对真皮层中的胶原纤维(胶原蛋白)和弹性纤维，会导致皮肤没有弹性，凹陷、松弛、缺水^[5]……除此之外，这些敌军还会导致大量皮肤细胞的死亡，有的细胞甚至发生癌变——成了‘僵尸细胞’，多年来的战斗使我们损失惨重啊！”老人顿了顿，继续道：“紫外线拥有最强大的进攻手段，我们的大军虽配备有防御装备，但仍旧不敌。各位战士配备的发色团可以起到吸收紫外线辐射的作用，发色团包括我们所熟知的黑色素、DNA、氨基酸、胡萝卜素等，在我们配备的武器中，DNA(脱氧核糖核酸)是对抗UVB敌人最关键的存在。虽然边关的最外层防线——角质层中的芳香族氨基酸在UVB辐射到达皮肤细胞之前也会消耗其部分战斗力^[6]，但是仍需要DNA分子承受大部分攻击。要知道，DNA可是我们细胞赖以生存的核心啊！核酸收到辐射攻击之后，DNA分子上相邻部位的胸腺嘧啶会形成二聚体(图1)，从而破坏模板的正常功能^[7]，甚至引起细胞癌变！而且，紫外线长期在王国边关的大范围肆虐会引起皮肤发热、红斑和不适^[8,9]。在严重的情况下，表皮角质形成细胞释放的白细胞介素还会导致起水泡、脱皮和全身反应^[10]！”

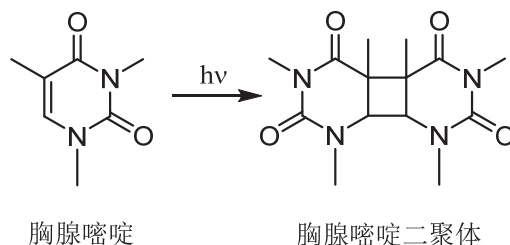


图1 DNA分子上相邻部位胸腺嘧啶二聚反应式

突然，警报拉响，刺耳的声音罩住了整个军营，所有人惊起，望向天空的方向，却发现强光刺目，让人无法动作。只听得耳边震天的呼声：“敌袭！紫外线大军已至，所有细胞，上城墙迎敌！”

2 猛烈进攻，节节败退

战争惨烈，皮肤战士们为保王国安宁而献身作战！

众将士们浴血奋战，只是，一腔热血终不能化为利刃刺向敌人的胸口，大批大批的细胞战士们倒在血泊之中，最后时刻他们将自己的身体化为城墙的一部分，继续守卫这座王国边关。经过战争的洗礼，仍在与紫外线搏斗的小兵拥有着铁一般的臂膀和腰脚，黑漆漆的肤色与敌人攻击所发射出的明亮光线形成了极鲜明的对比。随着战争进行，皮肤大军受到重创，一封封战报八百里加急送到国王面前……

双方战斗胶着时，突然，边关外神兵天降，身着白色披风，刚一出现城防压力大大减轻。筋疲力尽的皮肤战士们还不知道到底发生了什么，只看到对面的敌人被拦在城墙下，如临大敌。“是我们的援军吗？”细胞们望着那些身影，喃喃自语。

3 外援上阵，固守城防

“尽管来吧！”白衣人轻喝一声，不怒自威。“格格巫”们似乎是受到挑衅，发起全面进攻。紫外辐射漫天飞舞，一瞬间便到了白衣人身边，只见白衣人斗篷一展，轻松将大部分辐射弹开，余下部分辐射便由皮肤战士们轻松解决。战斗持续到天黑，紫外线敌人个个疲惫不堪，佝偻着身子，攻击力逐渐变弱，面对边关城防确实无可奈何，不多时，能量耗尽，只得快快撤兵。

“胜利了！我们胜利了！”众将士们看着紫外线撤军，振臂高呼。城门大开，将军亲自出面会见了这群从天而降的英雄。

“受你们国王邀请，同你们共御外敌，”白衣人道，“在下来自防晒霜部落，是‘物理防晒’一族的大长老，今日前来的是‘物理防晒’的族人，我们最擅长把辐射攻击弹开，让敌人的进攻失效。”将军诧异道，“大长老，我看到你们仅有这一件白袍，难道仅靠它就可以轻松抵挡敌人的攻击吗？不知你们是如何做到的呢？”

“如你们所见，其实我们身上的白色外袍就是我们的防御武器，传统意义上来讲，它的主要成分是二氧化钛(TiO_2)和氧化锌(ZnO)的无机白色粉末，外袍中二氧化钛的粒径主要分布在10–30 nm之间^[11]，而氧化锌的粒径较大，在10–300 nm之间^[12]，这些特殊粒径的粉末可以通过吸收、散射或反射来减弱紫外线辐射^[13] (图2)，同时减弱紫外线家族中UVA和UVB的攻击，这样就能帮助你们大大减轻城防压力了。”

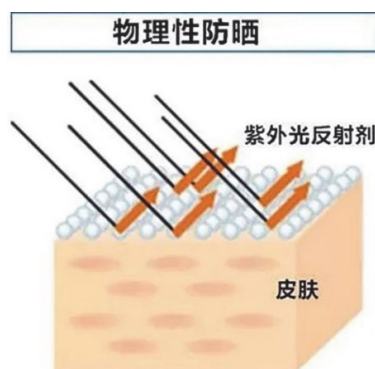


图2 物理防晒原理^[14]

“可是看你们个头都不大，防守范围有限，想要完全挡住紫外线的攻击，岂不是需要很多战士进入战场，这样存在什么弊端吗？”将军问道。

“是的，将军大人，我们需要与紫外线辐射直接接触才可以反射或散射他们的攻击波，因此我族战士必须紧挨在一起才能形成完整的保护层，让紫外线无处可破！这确实存在一定的弊端，我们虽然可以抵抗外敌，但同时也会影响你们与外界的日常交流，使王国分泌的废物无法正常运出城外，反过来也会影响汗腺的正常功能，甚至还可能造成一些皮肤疾病^[15]。此外，传统的二氧化钛和氧化锌拥有优异的光催化性能，这意味着它们可能会损害防晒霜混合物中其他化学成分的聚合物链的完整性，导致有机成分的降解。而且，氧化锌和二氧化钛颗粒呈现出白色外观，在皮肤上表现地更加明显，确实是有碍观瞻^[16]。”

将军低头沉思片刻，“可以介绍一下防晒霜部落其他家族吗？”

“防晒霜部落还有另一大家族——‘化学防晒’家族。他们家族之所以冠‘化学’之名，是因为他们的武器主要为有机化学成分，能够吸收紫外线的辐射，消解转化其中能量(图3)，使光辐射对战士们伤害大大减小。据我了解，你们细胞内一些发色团防御武器也是这样起作用的，但超过限度会引起细胞死亡、变异，正所谓‘术业有专攻’，‘化学防晒’家族经过多年发展，迭代新技术，可以把大部分的紫外线辐射吸收，有效避免细胞战士们大规模死伤。目前，‘化学防晒’家族使用的

有机紫外线吸收剂都是芳香族化合物^[17], 使用较多的防晒剂有甲氧基肉桂酸乙基己酯、双-乙基己氧苯酚甲氧苯基三嗪、二乙氧羟苯甲酰基苯甲酸己酯、奥克利林和丁基甲氧基二苯甲酰基甲烷(图4)^[18]。这些防晒剂的共同特征是它们的分子结构中一般含有紫外吸收波长小于400 nm的发色团, 如 $-N=N-$ 、 $-C=N-$ 、 $-C=O$ 等双键、共轭结构或者杂环等; 而且在芳香环邻位、对位通常有氨基($-NH_2$)或甲氧基($-OCH_3$)这样的给电子基团, 芳环上的羟基氢和邻位、对位的羰基氧或氨基氮之间形成的分子内氢键构成了一个螯合环^[11], 这些结构都能起到吸收紫外线辐射的作用。”

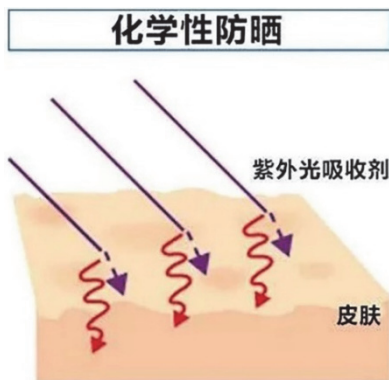
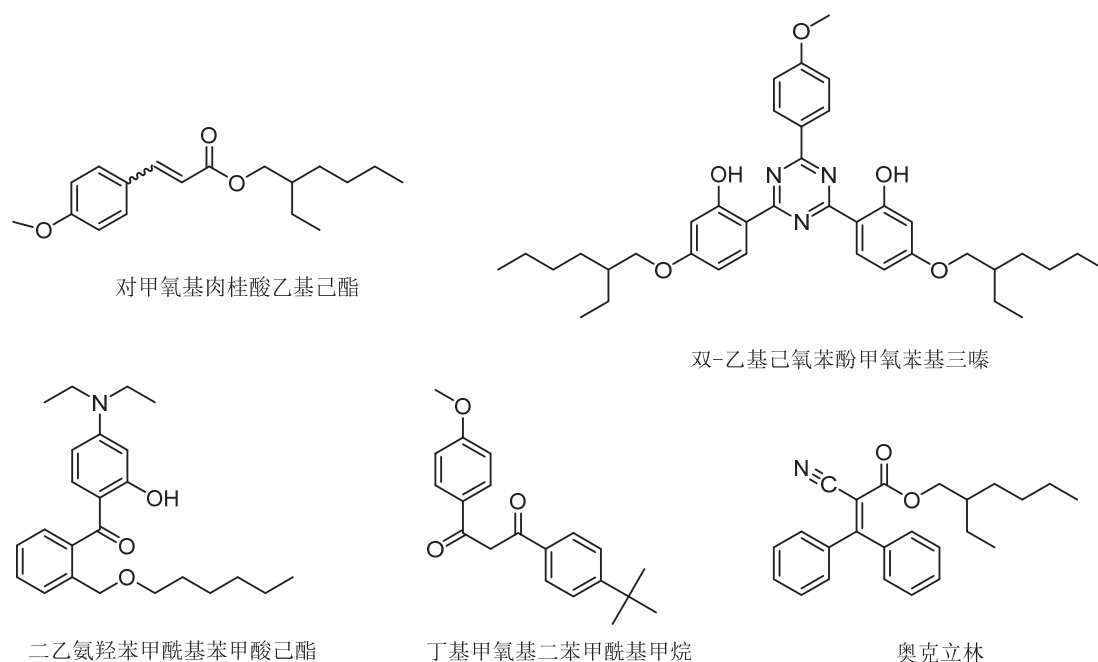
图3 化学防晒原理^[14]

图4 常见的化学防晒成分

“当辐射攻击来袭时, 他们可以吸收高能量的紫外光使有机紫外吸收剂从基态(S_0)跃迁到激发态(这种变化是可逆的), 此时氢键断裂导致螯合环打开, 然后将吸收的能量以热能、化学能及其他非紫外光能(包括内转换、外转换、振动弛豫、系间跨越)的形式释放出来(图5), 螯合环闭合, 吸收剂分子又回到起始态。每个有机紫外线吸收剂分子在衰变前都会经历多次的‘吸收-释放’循环, 这样周而复始地吸收紫外光起到保护作用^[13,19]。他们一族呀, 现在正在来的路上呢, 需要测试一下会不会与王国的免疫细胞起过敏反应呢!” 大长老补充道。

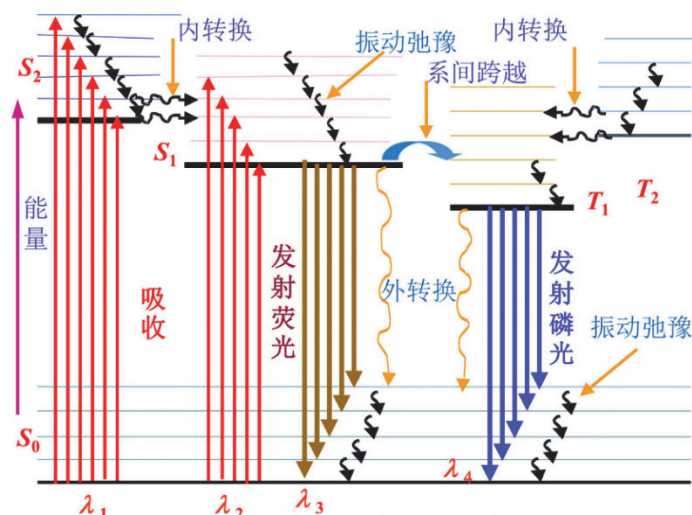


图5 分子吸收和发射过程的Jablonski能级图

将军面色一喜，暗想“有这两大援军，何愁城防会破！”

“但老夫也要提醒一句，同我族一样，‘化学防晒’一族同样有缺点。有机紫外线吸收剂分子并非完全的生物材料，对皮肤有一定刺激性，可能会引起皮肤炎症^[19]。”大长老沉声提醒到。

听完大长老的话，将军沉思，两大家族的支援意义重大，是巩固城防不可或缺的力量，但缺点也不能忽视，一时之间竟不知该如何取舍。

察觉将军面色改变后，大长老知其忧虑，于是说道：“我们两大家族各有所长，与紫外线家族多年作战，针对这些缺点也已改进许多。以我家族为例，现在已经与各种‘乳化剂’家族合作，针对不同的肤质推出了不同的合作战略，可以大大降低我们‘肤感不佳’的问题^[20]。而且，现在也在大力研究其他的拥有紫外防护能力的有效成分，例如氧化铈(CeO_2)也常用于物理防晒霜中，少量的 CeO_2 具有显著的紫外线屏蔽作用。而且与 TiO_2 和 ZnO 相比， CeO_2 使用于防晒霜中不会显得过于苍白，看起来更自然^[15]。我们现在也常与‘化学防晒’联合抗敌^[21]，经过多年技术迭代，可以保证我们的存在不会明显影响皮肤细胞的正常生活，又可以起到极佳的保护作用，将军意下如何？”

将军不禁感慨国王换来的外援真是雪中送炭啊！

“将军大人！”物理防晒家族大长老继续道，“老夫与族人不可久留，既然危机暂时解除，老夫与族人便先走一步了。”随后便转身离开。将军朝着他们离去的方向，深深鞠了一躬。

4 皮肤式微，重上战场

自从防晒家族加入之后，已经过去了几个月，这期间战争升级，还有了防晒衣、防晒面罩的加入，守卫边防的细胞小兵们也换了好几波。只不过与往日不同的是城墙上的小兵们个个羸弱不堪，那面色惨白如纸。当初的黝黑老兵一个也看不见。

在许多外援加入之后，皮肤细胞们已经很久没有接触到紫外线敌人了，但皮肤将士们却多了许多其他的敌人——如葡萄球菌、链球菌等。皮肤细胞陷入另外的战斗中，终日不得安歇，边城已满目疮痍，民不聊生；王国内重要物资“维生素D”的库存也已经见了底，使得各地的“擎天柱”——骨，也不似当年那么强壮；此外，国王近来也陷入了健康危机，忽略了许多事务，按照人类世界的说法，似是“抑郁”了……

这一桩桩，一件件，可都是顶天的大事啊！这可是急坏了将军。为此将军独自调查，以求能寻到一种方法还身体王国安宁。

将军先去了维生素D的存放仓库打探消息，看守正皱着眉头沉思呢，见将军来了解维生素D减少

的情况，不禁吐槽道：“真是见了鬼了，这几个月维生素D入库量远远少于消耗量，这可真是怪事啊！此前每天可都会有足量的维生素D入库，这么多年来从未间断过。”将军联想到最近面对的细菌大军出现时间，这些事的背后似乎与防晒衣和防晒面罩的到来有关。继续调研后，将军更加证实自己的猜测，大胆地向国王谏言。

“国王陛下，臣经过调研，可确定王国近日异常，应是过度防晒所致！”将军面色严肃，眼神锐利，“根据我所见所闻，紫外线与我们是祸福相依的存在，虽然紫外线会带来众多危害，但是，他们也带来了许多好处。首先，紫外线不仅对我们有所伤害，同时对于细菌也有伤害^[22]，使得有紫外线存在的地方，细菌都不敢造次，这也是为什么之前细菌式微的主要原因。”

“可是紫外线会使得皮肤变黑粗糙^[10]，影响王国的形象，这该如何解决？”国王突然打断了他，发问道。

“这是由于紫外线激活了皮肤中的酪氨酸酶(TYR)^[23]，催化了黑色素的合成反应，而黑色素主要分为黑、棕色的真黑色素和红、黄色的脱黑色素两种类型，两类的区别在于是否含有硫原子，不含硫原子的为真黑色素，含有硫原子的为脱黑色素。其中真黑色素是吡啶类的单体物质(图6)，脱黑色素为多巴醌在半胱氨酸(Cys)或谷胱甘肽(GSH)的作用下生成苯并噻嗪类物质(图7)。黑色素的形成受多基因影响，其中TYR、TRP-1(酪氨酸酶1)和TRP-2(酪氨酸酶2)是黑色素合成的关键蛋白^[24]。黑色素被黑色素细胞的树状分枝输送到表皮细胞中，就会使得皮肤发黑；但是，黑色素可以吸收紫外线，阻止紫外线进一步损害王国深层组织^[23]，因此，适度黑色素的存在是必要的。”将军解释道。

“其次，UVB辐射可以促进皮肤从饮食中获得维生素D前体，从而促进维生素D的合成^[10]，而维生素D对于我们王国来说是非常重要的资源，维生素D能促进肠粘膜对钙磷的吸收，能刺激破骨细胞，促进骨质的溶解，并能促进新生骨质的钙化^[25]。这就能极大解决各地‘擎天柱’不够稳固的隐患。最后，也是最重要的一点，他与您的病有关。”

国王睁大眼睛，眼神中带着疑惑和探究。将军继续说道：“皮肤暴露于紫外线辐射(UVR)可能通过神经和体液途径影响情绪和行为^[26]，这一点已经经过实验验证确实如此。恳请勿要过度防晒！”

“好……”

5 正视防晒，重现生机

采取合适的方式与防晒家族建立合作关系之后，王国又迸发出勃勃生机，国王也恢复往日元气，重新指导全身各处的工作。皮肤细胞也见到了久违的紫外线“格格巫”，他们与防晒霜兄弟们并肩作战，将士们终于恢复了往日的的神威。将军伫立于城楼之上，看这幅景象，勾唇微笑。因为他知道，未来会更加美好！

参 考 文 献

- [1] 王元秀. 普通生物学. 北京: 化学工业出版社, 2010: 198-199.
- [2] Hölzle, E.; Hönigsmann, H. *J. Dtsch. Dermatol. Ges.* **2005**, 3 (Suppl 2), S3.
- [3] Surjadinata, B. B.; Jacobo-Velázquez, D. A.; Cisneros-Zevallos, L. *Molecules* **2017**, 22 (4), 668.
- [4] Herrling, T.; Jung, K.; Fuchs, J. *Spectroc. Acta Pt. A-Molec. Biomolec. Spectr.* **2008**, 69 (5), 1429.
- [5] 崩溃了! 原来这么多年防晒都做错了? [2024-04-22]. https://mp.weixin.qq.com/s/qYFGUV50Nsbblnjz4_1-VA
- [6] Hussein, M. R. *J. Cutan. Pathol.* **2005**, 32 (3), 191.
- [7] 卢纯惠. 环境保护, **1983**, No. 4, 28.
- [8] Coblentz, W. W.; Stair, R.; Hogue, J. M. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **1931**, 17 (6), 401.
- [9] Alvarez-Romaña, R.; Barreña, G.; Guya, R. H.; Fessi, H. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* **2001**, 52 (2), 191.
- [10] 安晴. 乳液液相聚合包覆紫外吸收防晒剂的研究[硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2021.

- [11] Jansen, R.; Osterwalder, U.; Wang, S. Q.; Burnett, M.; Lim, H. W. *J. Am. Acad. Dermatol.* **2013**, *69* (6), 1.
- [12] Moezzi, A.; McDonagh, A. M.; Cortie, M. B. *Chem. Eng. J.* **2012**, *185–186*, 1.
- [13] Kaimal, S.; Abraham, A. *Indian J. Dermatol. Venereol. Leprol.* **2011**, *77* (2), 238.
- [14] 防晒的真相, 我们是怎么被晒黑的. [2024-04-09]. <https://mp.weixin.qq.com/s/bwwc0aA6fqRCrvW75YbcDw>
- [15] 阎世翔. 化妆品科学(下). 北京: 科学技术文献出版社, 1998: 264–274.
- [16] Li, Z. X.; Lin, T.; Ma, Y. Q.; Zhao, L. *Ceram. Int.* **2024**, *50* (II), 20431.
- [17] Rai, R.; Shanmuga, S. C.; Srinivas, C. *Indian J. Dermatol. Venereol. Leprol.* **2012**, *57* (5), 335.
- [18] 王任, 吴鸳鸯, 程巧鸾. 香料香精化妆品, **2023**, *2* (1), 35.
- [19] Kockler, J.; Oelgemöller, M.; Robertson, S.; Beverley, D. G. *J. Photochem. Photobiol. C-Photochem. Rev.* **2012**, *13* (1), 91.
- [20] 佚名. 中国化妆品, **2022**, No. 12, 98.
- [21] 陈晓, 崔耀军. 科学技术创新, **2018**, No. 5, 147.
- [22] AlZain, S. *Saudi Dent. J.* **2020**, *32* (4), 161.
- [23] 马文奎. 中国化妆品, **1995**, No. 2, 34.
- [24] 岳丹, 陈璐, 蓝琳舒, 李听怡, 李将萌, 吴文芳, 赵国洪, 种玉晴. 现代畜牧兽医, **2024**, No. 2, 76.
- [25] 孙希志, 刘殿珍, 张希颐. 中级医刊, **1981**, No. 10, 1.
- [26] Toledo, A.; Karpainen, T.; Miettinen, M. E.; Leppäluoto, J.; Vuolteenaho, O.; Ylianttila, L.; Kautiainen, H.; Snellman, E.; Partonen, T. *Chronobiol. Int.* **2019**, *36* (11), 1570.