

不同包装方式对贮藏牛肉食用品质的影响

董玉影¹, 刘笑笑², 李官浩¹, 李玉林³, 梁成云^{1,*}

(1. 延边大学农学院, 吉林延吉 133002;

2. 吉林省农业科学院, 吉林长春 130033;

3. 国家肉牛牦牛产业技术体系延边实验站, 吉林延吉 133000)

摘要: 实验以延边黄牛腿肉为实验对象, 采取托盘包装、真空包装和热收缩包装, (4±1)℃冷藏, 通过检测蒸煮损失、pH、剪切力、表面颜色, 研究不同包装方式对贮藏期间牛肉品质的影响。实验结果表明: 贮藏时间和包装方式对延边黄牛肉品质影响显著($p < 0.05$), 真空包装牛肉的pH上升速率较慢, 表面颜色的稳定性好, 真空包装保鲜效果最好, 保质期可达21d, 热收缩膜包装的牛肉保鲜效果次之, 保质期为18d, 而托盘包装的牛肉保质期仅为12d。

关键词: 包装方式, 贮藏, 延边黄牛肉, 食用品质

Effect of different packaging on the eating quality of beef during storage

DONG Yu-ying¹, LIU Xiao-xiao², LI Guan-hao¹, LI Yu-lin³, LIANG Cheng-yun^{1,*}

(1. Agricultural College of Yanbian University, Yanji 133002, China;

2. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China;

3. National Beef Yak Industry Technology System Yanbian Experiment Station, Yanji 133000, China)

Abstract: The aim was to investigate the influence of different packages on the quality of yanbian yellow cattle beef during storage. In this experiment Yanbian yellow cattle leg meat was packaged with pallet package, vacuum package, heat shrink package and stored at (4±1)℃. The cooking loss, pH, shear force, surface color were analyzed. The results showed that: storage time and package method had significant effect on the quality of yanbian yellow cattle beef ($p < 0.05$). Vacuum package samples pH increased slower and the surface color was stability, shelf life could be up to 21d. The storage effectiveness of vacuum package was the best. Heat shrink package was followed by, its shelf life was 18d. But the shelf life of the samples with pallet package was only 12d.

Key words: package method; storage; Yanbian yellow cattle beef; eating quality

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)06-0317-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.06.061

随着人们生活水平的提高, 人们对鲜肉的质量和安要求越来越高。如何延长冷藏鲜肉的货架期成为热点。保持鲜肉良好的新鲜度不仅关系到消费者的安全, 还关系到肉制品工业的持续发展。牛肉容易腐败变质, 会影响到食品的质量与安全, 还可能引起经济方面的损失。牛肉变质主要是微生物的作用和酶的催化作用引起的, 而包装的目的是防止细菌的污染, 延长肉与肉制品的保质期。

目前, 肉制品所采用的包装材料大部分是塑料的, 因为塑料相比纸和金属等包装材料具有更广泛的性能^[1]。真空包装是冷却肉保鲜最常用的方法, 在美国97%的牛肉是用真空包装制作和运输^[2]。热收缩膜包装是采用高聚物分子链拉伸定向原理设计, 以

急冷定型的方法成型, 具有气阻性好, 使用方便等特点^[3]。Pennacchia等^[4]研究了非包装和真空包装对冷却牛肉中的腐败菌的影响。结果表明真空包装可有效减少热杀索丝菌、假单胞菌和肠杆菌的数量, 但对乳酸菌却影响不大。吕永平等^[5]采用托盘包装、真空包装、真空热收缩包装及气调包装对冷鲜猪肉进行包装, 分析了冷鲜肉的理化及微生物指标, 结果表明: 真空包装、真空热收缩包装及气调包装都能较好地提高肉品的品质及货架期, 效果优于托盘包装。Moschonas等^[6]报道, 使用热收缩膜包装肉时, 热缩的过程会使包装变得紧实, 达到封闭的效果, 美化外观的同时提高了包装的阻隔性能, 并降低滴水损失。为了满足市场需求和消费者的需要, 本实验以延边黄

收稿日期: 2014-07-04

作者简介: 董玉影(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工。

* 通讯作者: 梁成云(1963-), 男, 博士, 研究方向: 畜产品质量监测与加工。

牛肉为实验对象,采取3种不同包装方式,测定反映贮藏期间牛肉品质的相关指标,以研究包装方式对贮藏牛肉品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

延边黄牛后腿肉 样品采集自同一头牛,吉林省延吉市东市场犇福肉店;托盘、PE聚乙烯保鲜膜、真空袋 吉林省延吉市西市场;热收缩膜 南通环球塑料工程有限公司;

TMS-Pro型食品物性分析仪 美国FTC;HH-S型恒温水浴锅 金坛市恒丰仪器厂;FA1104N型电子天平 上海精密科学有限公司;FJ-200型高速分散均质机 上海标本模型厂;CM-5型分光测色仪 柯尼卡美能达投资有限公司;PHS-3C型数显酸度计 上海佑科仪器仪表有限公司;DZQ400-2S型真空充气包装机 温州鹿城成华包装机械厂。

1.2 实验方法

1.2.1 材料预处理和分组 将包装材料进行紫外杀菌处理备用,将肉块分割成300g左右的小块,随机分成3组,分别采取托盘包装、真空包装和热收缩包装。热收缩包装条件为先真空,再进行90℃水浴漂烫3s。将样品置于(4±1)℃冷藏,取初始,第3、6、9、12、15、18、21、24、27d的样品进行各指标的平行实验。

1.2.2 蒸煮损失的测定 取肉样,去除表面的脂肪和结缔组织,切成5cm×3cm×2cm肉块,准确称重,记为 m_0 ,装入自封袋,放入80℃水浴中加热至肉样中心温度为70℃,结束加热,冷却至室温,用吸水纸吸干肉块表面的汁液,称重记为 m_1 ,每个样品设置3个平行,取其平均值。蒸煮损失率计算如下:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = (m_0 - m_1) / m_0 \times 100$$

1.2.3 pH的测定 取10g左右肉样,剔除表面脂肪和结缔组织,绞碎后加入90mL蒸馏水,使用均质机均质30s,使其均匀混合,用4层纱布过滤,得到滤液,用酸度计测定上清液的pH,每个样品测定3次,取平均值。

1.2.4 剪切力的测定 取肉样,剔除表面脂肪和结缔组织,切成不小于6cm×3cm×3cm大小的肉块,放入自封袋中,80℃水浴中加热30min左右,至肉样中心温度为70℃,用直径为1.27cm的取样器取样,每个样品的长度不小于2.5cm,每个肉样平行测量3次,取平均值。

1.2.5 表面颜色的测定 取肉样,剔除表面脂肪和结缔组织,切成5cm×3cm×1cm肉块,在空气中暴露10min发色,用PE聚乙烯保鲜膜包裹,用CM-5型分光测色仪测定肉块表面亮度(CIE L^*)、红色度(CIE a^*)、黄色度(CIE b^*)、彩度(CIE c^*)和色相(CIE h^*),光源选择D65,测量直径设定为8mm。

1.3 统计分析

所得数据均为3次实验的平均值,采用Excel软件整理和作图,数据统计分析采用SPSS17.0中单因素方差分析和配对样本T检验程序进行,使用LSD法进行差异显著性分析($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 包装方式对延边黄牛肉蒸煮损失的影响

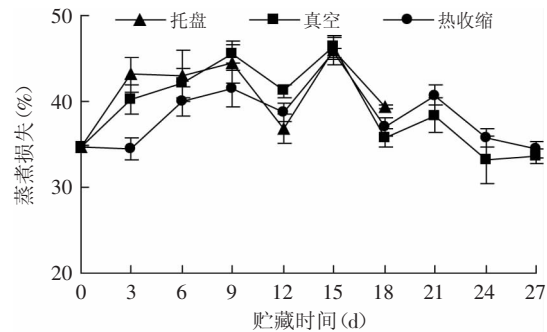


图1 贮藏期间不同包装方式延边黄牛肉蒸煮损失的变化
Fig.1 The changes of cooking loss of Yanbian yellow cattle beef with different package during storage

蒸煮损失即肉块在加热蒸煮过程中的水分损失,关系到肉与肉制品实际的生产加工,汁液流失越多,蒸煮损失越大,熟肉口感越干燥^[7]。从图1中可以看出,随着贮藏时间的延长,三种包装方式下的延边黄牛肉的蒸煮损失整体呈先上升后下降的趋势。因为动物宰后ATP含量不足,没能解开肌球蛋白,使肌肉处于紧缩状态,其空间减少,导致系水力下降,与此同时蒸煮损失率上升;而随着成熟时间的延长,尸僵逐渐消失,系水力又重新回升,蒸煮损失减少^[8]。也有报道称蒸煮损失的变化与肉的pH密切相关,pH快速下降和较低的最终pH都会导致水分损失升高^[9],而Aaslyng等^[10]的研究证明了蒸煮损失与pH成反比。

本实验中,对于同一包装方式而言,在实验的第15d延边黄牛肉的蒸煮损失达到最大,并且与其他贮藏时间内的蒸煮损失相比差异显著($p < 0.05$),说明在贮藏中期延边黄牛肉的汁液流失较多。对于同一贮藏时间而言,实验的第3~9d热收缩包装的延边黄牛肉的蒸煮损失显著低于另外两种包装下延边黄牛肉的蒸煮损失($p < 0.05$);实验的第18~24d真空包装下牛肉的蒸煮损失显著低于热收缩包装的牛肉的蒸煮损失($p < 0.05$);在其余贮藏时间内,不同包装方式下的延边黄牛肉的蒸煮损失差异不显著($p > 0.05$)。

2.2 包装方式对延边黄牛肉pH的影响

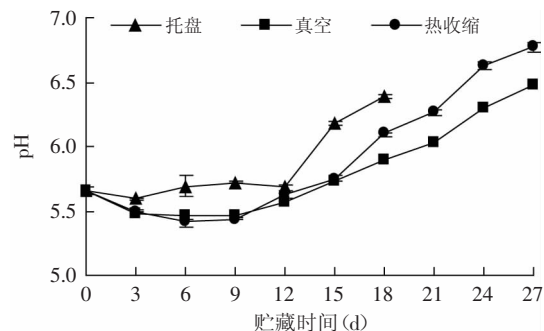


图2 贮藏期间不同包装方式延边黄牛肉pH的变化
Fig.2 The changes of pH of Yanbian yellow cattle beef with different package during storage

pH的变化情况与肉品的保水性、嫩度、色泽等有关，直接影响肉的品质，通过pH的测定，可以检验肉的新鲜情况。从图2中可以看出，随着贮藏时间的延长，三种包装方式下的牛肉的pH均呈先下降后上升趋势。原因可能是动物体屠宰后，肌肉的新陈代谢继续进行，糖原在缺氧或无氧条件下发生酵解，生成了大量的乳酸，使肌肉的pH迅速降低。而真空包装和热收缩包装降低的速率较托盘包装的高，推测原因是包装内氧含量更低，使乳酸菌成为优势菌，故pH下降快^[1]。随着贮藏时间的延长，肉将会进入自溶阶段，此时在微生物作用下，蛋白质进一步分解产生的大量的碱性物质(氨类、胺类)，使pH上升^[2]。

经过统计分析，贮藏时间和包装方式对肉的pH影响显著 ($p < 0.05$)，整个实验期间，真空包装牛肉的pH低于另外两种包装方式下牛肉的pH ($p < 0.05$)，这与程龙等^[3]的研究结果相似。在实验末期，托盘、真空、热收缩三种包装方式下牛肉的pH分别为6.30、6.48和6.77，韩晓雷研究^[4]表明，pH在6.3~6.6为次鲜肉，pH > 6.7为变质肉，而在实验过程中托盘包装牛肉pH虽未达到变质肉的pH范围，但是在第12d时牛肉表面已经开始发粘，第15d时有异味，且逐渐变为绿色，说明牛肉已经腐败变质；而热收缩和真空包装的牛肉分别第18d和第21d开始出现腐败变质现象。因此单从牛肉pH的变化可以看出，真空包装牛肉的保鲜效果较好。

2.3 包装方式对延边黄牛肉剪切力的影响

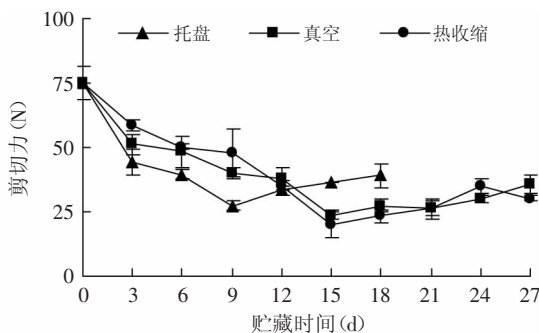


图3 贮藏期间不同包装方式延边黄牛肉剪切力的变化
Fig.3 The changes of shear force of Yanbian yellow cattle beef with different package during storage

贮藏期间不同包装方式延边黄牛牛肉剪切力的变化如图3所示，从图3中可以看出三种包装方式下牛肉的剪切力值整体呈下降的趋势，贮藏时间对剪切力影响显著 ($p < 0.05$)。同一贮藏时间托盘包装肉的剪切力与其他两种包装肉的剪切力相比差异显著 ($p < 0.05$)。

剪切力是衡量肉嫩度的重要指标，受宰前宰后很多因素影响，其中两个重要的因素分别是解剖部位和宰后成熟^[5]。宰后牛肉在成熟过程中，糖酵解加速，并且在内源性蛋白酶作用下，加快肌原纤维蛋白和结缔组织蛋白的水解，将肌肉结构破坏，改善了牛肉的嫩度^[6]。也有研究认为，肉嫩度的提高是因为冷却成熟过程中肉的肌动蛋白细丝与肌球蛋白粗丝重叠部分较少，肌节较长，故其嫩度提高^[7]。

2.4 包装方式对延边黄牛肉表面颜色的影响

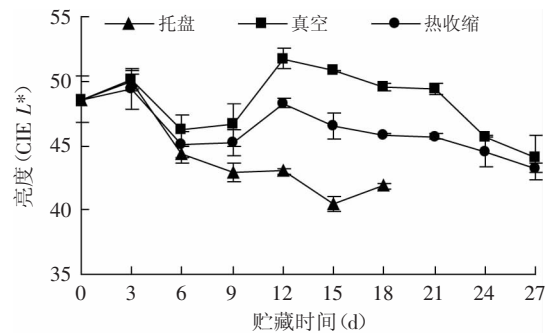


图4 贮藏期间不同包装方式延边黄牛肉表面亮度(CIE L*)的变化

Fig.4 The changes of surface brightness (CIE L*) of Yanbian yellow cattle beef with different package during storage

从图4中可以看出，贮藏期间牛肉表面亮度(CIE L*)的变化较大，除第3d和第24~27d以外，贮藏时间和包装方式对牛肉亮度(CIE L*)影响显著 ($p < 0.05$)，其中真空包装牛肉亮度最高。

从图5~图7中可以看出，贮藏期间不同包装方式延边黄牛肉表面红色度(CIE a*)、黄色度(CIE b*)和彩度(CIE c*)变化趋势相近，其中托盘包装牛肉的红色度(CIE a*)、黄色度(CIE b*)和彩度(CIE c*)随贮藏时间的延长呈下降趋势，而真空包装和热收缩

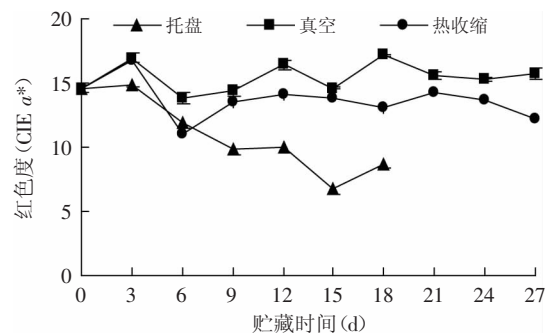


图5 贮藏期间不同包装方式延边黄牛肉表面红色度(CIE a*)的变化

Fig.5 The changes of surface redness (CIE a*) of Yanbian yellow cattle beef with different package during storage

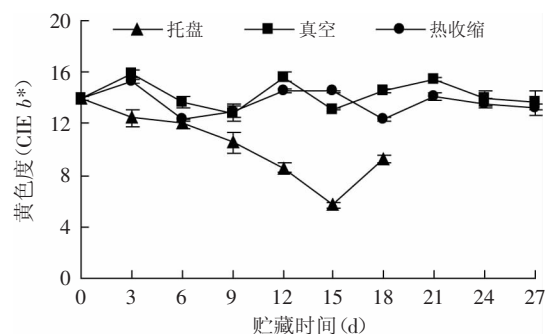


图6 贮藏期间不同包装方式延边黄牛肉表面黄色度(CIE b*)的变化

Fig.6 The changes of surface yellowness (CIE b*) of Yanbian yellow cattle beef with different package during storage

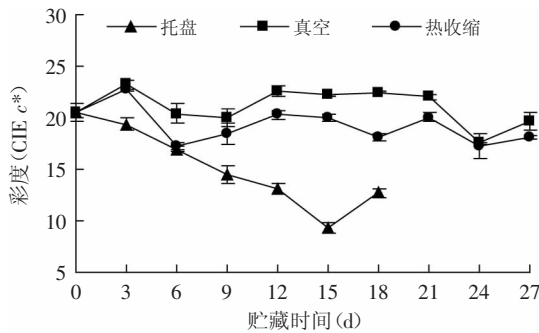


图7 贮藏期间不同包装方式延边黄牛肉表面彩度(CIE c^*)的变化

Fig.7 The changes of surface colorness(CIE c^*) of Yanbian yellow cattle beef with different package during storage

包装牛肉红色度(CIE a^*)、黄色度(CIE b^*)和彩度(CIE c^*)在整个贮藏期间变化较平稳。经过统计分析,贮藏时间对托盘包装牛肉红色度(CIE a^*)和彩度(CIE c^*)影响显著($p < 0.05$),对托盘包装和真空包装牛肉黄色度(CIE b^*)影响显著($p < 0.05$),而包装方式对牛肉红色度(CIE a^*)和彩度(CIE c^*)影响显著($p < 0.05$),对真空包装和热收缩包装牛肉黄色度(CIE b^*)影响不显著($p > 0.05$)。在整个贮藏期间,真空包装牛肉的红色度(CIE a^*)和彩度(CIE c^*)较高,说明其肉色较好。

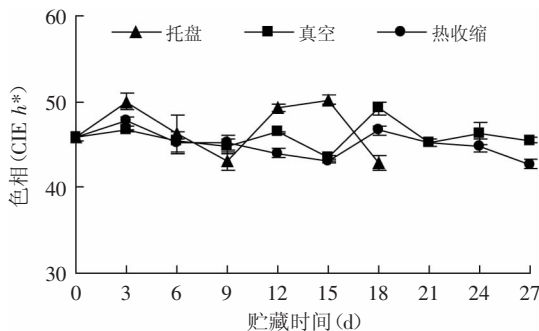


图8 贮藏期间不同包装方式延边黄牛肉表面色相(CIE h^*)的变化

Fig.8 The changes of surface hue(CIE h^*) of Yanbian yellow cattle beef with different package during storage

从图8中可以看出,贮藏期间托盘包装和真空包装延边黄牛肉表面色相(CIE h^*)变化复杂,而热收缩包装牛肉表面色相(CIE h^*)变化较平稳。贮藏时间对托盘包装和真空包装牛肉色相(CIE h^*)影响显著($p < 0.05$),除第6、21、24d外,同一贮藏时间包装方式对牛肉色相(CIE h^*)影响显著($p < 0.05$)。

肉色能够直观的反应牛肉品质。肉色一直是消费者最为关注的,而且对牛肉的市场价格影响较大。田甲春^[18]报道,肉块表面亮度(CIE L^*)与肌肉内部水分渗出有关,渗出水分堆积在肉块表面,增强了光的反射,使亮度增加。一般认为越新鲜的牛肉,颜色越红。而胴体肌肉中的肌红蛋白和血红蛋白影响肉的红色。真空包装和热收缩包装使肉处于无氧条件下,此时肌红蛋白为还原型肌红蛋白,使肉呈现暗紫色,

而暴露在空气中10min发色之后,由于氧气充足使肌红蛋白和氧气结合成氧合肌红蛋白,此时肉呈现鲜红色。而彩度(CIE c^*)越高表示肉色越深越鲜红^[19]。真空包装和热收缩包装氧气含量低,透氧量小,颜色变化不大。综合以上5个图可知,真空包装牛肉表面亮度(CIE L^*)、红色度(CIE a^*)、彩度(CIE c^*)较高,且颜色的稳定性好,说明其保鲜效果好。

3 结论

在(4±1)℃的贮藏条件下,不同包装方式下牛肉的离心失水率、蒸煮损失、pH、剪切力和表面颜色均发生了不同程度的变化,并且贮藏时间和包装方式对延边黄牛肉品质影响显著($p < 0.05$);真空包装的延边黄牛肉的pH上升速率较慢,表面颜色的稳定性好;托盘包装牛肉保质期12d,热收缩包装和真空包装牛肉的保质期可达18d和21d。真空包装保鲜效果最好,热收缩膜包装的牛肉保鲜效果次之,托盘包装的牛肉保鲜效果最差。

参考文献

- [1] 岳阳,王德梅,于雷. 不同包装材料对冷鲜牛肉品质的影响[J]. 肉类工业,2013(2):29-33.
- [2] 刘笑笑,华晶忠,李树锦,等. 不同包装方式对冷藏延边黄牛冷却肉的影响[J]. 湖北农业科学,2011(3):580-582,609.
- [3] 陶亮,杞露苹,马元元,等. 包装方式对冷鲜牛肉保鲜效果的影响[J]. 肉类工业,2013(2):33-37.
- [4] Pennacchia C, Ercolini D, Villani F. Spoilage-related microbiota associated with chilled beef stored in air or vacuum pack[J]. Food Microbiology, 2011, 28(1):84-93.
- [5] 吕永平,徐幸莲,徐鑫,等. 不同包装方式对二段冷却法冷鲜猪肉品质及货架期影响的研究[J]. 通化师范学院学报,2014(6):46-48.
- [6] Moschonas G, Bolton D J, Sheridan J J, et al. The effect of heat shrink treatment and storage temperature on the time of onset of "blown pack" spoilage[J]. Meat Science, 2011(87):115-118.
- [7] 刘寿春,赵春江,杨信廷,等. 波动温度贮藏过程冷却猪肉货架期品质研究[J]. 食品科技,2012(12):101-106.
- [8] 贾文婷. 宰后不同处理对羊肉品质影响的研究[D]. 石河子:石河子大学,2013.
- [9] Huff-Lonergan E, Lonergan S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes[J]. Meat Science, 2005, 71(1):194-204.
- [10] Aaslyng M D, Bejerholm C, Ertbjerg P, et al. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure[J]. Food Quality and Preference, 2003, 14(4):277-288.
- [11] 王璋,许时婴,汤坚. 食品化学[M]. 北京:中国轻工业出版社,1999.
- [12] 陈松,冯月荣. pH对屠宰肉品质的影响[J]. 肉类工业,2009(6):21-23.
- [13] 程龙,孔保华,姚来斌,等. 不同包装方式对调理预制烤猪肉冷藏过程中品质影响的研究[J]. 食品工业,2014(3):126-131.

- [14] 韩晓雷, 杨增. 测定牛肉pH对其新鲜度判定应用研究[J]. 黑龙江畜牧科技, 1998(3):1.
- [15] Denoyelle C, Lebihan E. Intramuscular variation in beef tenderness[J]. Meat Science, 2004, 66(1): 241-247.
- [16] 孙志昶, 冯晓琴, 韩玲, 等. 牦牛肉宰后成熟嫩化与细胞凋亡酶活力变化研究[J]. 农业机械学报, 2014(1): 191-196, 202.
- [17] 沈月新, 宋立华. 冷却肉、热鲜肉、冻肉超微结构的研究[C]. 食品工业科技, 2001, 增刊: 182.
- [18] 田甲春, 韩玲, 刘昕, 等. 牦牛肉宰后成熟机理与肉用品质研究[J]. 农业机械学报, 2012(12): 146-150.
- [19] 赵立男, 热夏提达·吾来提, 杨随霞, 等. 马肉不同部位的品质特性分析[J]. 肉类研究, 2013(7): 35-39.

(上接第316页)

现, 采用超声波水浴处理更节能、省时, 提取效率远高于传统水浴回流。

通过有机溶剂选择实验, 得到最佳提取溶剂为乙酸乙酯:乙醇(v/v, 1:1); 单因素实验得到提取条件为超声功率200W、时间30min、超声提取温度20℃、液料比100:1; 在单因素的基础上对超声功率、时间、超声提取温度三因素进行响应面优化, 得最优工艺条件: 超声功率、时间、超声提取温度分别为200W、30min、25℃。在最优条件下, 进行验证实验, 结果表明, 虾青素提取率可达到1.045%, 与理论预测值1.05%接近, 表明模型可用, 可为虾青素的实际生产提供理论依据。

参考文献

- [1] 付佳, 杨月欣, 张立实. 天然虾青素的生物保健功能及安全性概述[J]. 国外医学(卫生学分册), 2007, 34(6): 382-386.
- [2] Lee S H, Min D B. Effects, quenching mechanisms and kinetics of carotenoids in chlorophyll-sensitized photo oxidation of soybean oil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(8): 1630-1634.
- [3] Naguib Y M A. Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2000, 48(4): 1150-1154.
- [4] 柴建新, 万茵, 付桂明, 等. 雨生红球藻中总虾青素提取工艺优化[J]. 中国食品添加剂, 2011(3): 107-111.
- [5] Nishikawa Y, Minenaka Y, Ichimura M. Physiological and biochemical effects of carotenoid(beta-carotene and astaxanthin) on rat[J]. Kashien Daigaku Kiyo, 1997, 25: 19-25.
- [6] 魏东. 雨生红球藻(*Haematococcus pluvialis*) 在诱导条件下积累虾青素的调控机理研究新进展[J]. 中国海洋药物, 2002, 21(2): 60-64.
- [7] 张明祥, 赵建国. 国内外虾青素的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2002(1): 26-28.
- [8] 殷明焱, 刘建国. 雨生红球藻和虾青素研究述评[J]. 海洋湖沼通报, 1998(2): 53-62.
- [9] 魏东, 臧晓南. 大规模培养雨生红球藻生产天然虾青素的研究进展和产业化现状[J]. 中国海洋药物, 2001(5): 4-8.
- [10] 沈渊, 蔡明刚, 黄水英, 等. 利用光生物反应器培养雨生红球藻的研究初探[J]. 海洋科学, 2010, 10: 83-89.
- [11] Balasubramanian S, Allen J D, Kanitkar A, et al. Oil extraction from *Scenedesmus obliquus* using a continuous microwave system-design, optimization, and quality characterization[J]. Bioresource technology, 2011, 102(3): 3396-3403.
- [12] 周湘池, 刘必谦, 曾庆国, 等. 雨生红球藻(*Haematococcus pluvialis*) 破壁方法对虾青素提取率的影响[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(5): 424-429.
- [13] 王灵昭, 邓家权. 微波法提取雨生红球藻中虾青素的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(12): 96-100.
- [14] 丁纯梅, 陶庭先, 吴之传. 龙虾虾壳的综合利用(I)—虾壳红色素的提取及其性质研究[J]. 化学世界, 1995(8): 444-445.
- [15] 刘晓娟, 伍颖华, 何凤林, 等. 响应面法优化雨生红球藻虾青素的提取条件[J]. 食品科技, 2012, 37(2): 233-238.
- [16] 卢群, 丘泰球, 胡爱军. 超声强化法提取海藻油的研究[J]. 广东药学院学报, 2003, 19(2): 104-105.
- [17] 郭孝武. 超声与常规法对部分中药药类成分提出率的比较[J]. 中国医药工业杂志, 1998, 29(2): 51-54.
- [18] 陈艳莉. 超声法提取绞股蓝皂甙[J]. 现代应用药学, 1994, 11(6): 11-12.
- [19] 项昭保, 霍丹群. 超声波在中草药化学成分提取中的应用[J]. 自然杂志, 2001, 23(5): 289-291.
- [20] 蒲彪, 岳金玫, 陈安均, 等. 响应面法优化块菌多糖的超声波辅助提取工艺[J]. 核农学报, 2013, 27(7): 996-1002.
- [21] 应崇福. 超声波在固体中传播和散射的研究[J]. 中国科学院院刊, 1990(1): 56-59.
- [22] Bock C, Pröschold T, Krienitz L. Two new Dictyosphaerium-morphotype lineages of the Chlorococcales (Trebouxiophyceae): *Heynigia* gen nov and *Hindakia* gen nov[J]. European Journal of Phycology, 2010, 45(3): 267-277.
- [23] Ranjan A, Patil C, Moholkar V S. Mechanistic assessment of microalgal lipid extraction[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2010, 49(6): 2979-2985.
- [24] 陈晓飞, 严小军. 红球藻虾青素含量测定方法的探讨[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2008, 20(4): 441-445.
- [25] Boussiba S, Fan L, Vonshak A. Enhancement and determination of astaxanthin accumulation in green alga *Haematococcus pluvialis*[J]. Methods in enzymology (USA), 1992, 213(36): 386-391.
- [26] 杨磊, 唐晓溪, 赵春建, 等. 响应面法优选桃儿七中的鬼白毒素的超声提取工艺[J]. 化工进展, 2009, 28(2): 297-304.
- [27] 裘晖, 朱晓立. 虾青素的结构与功能[J]. 食品工程, 2007(1): 16-18.