

枣皮红色素提取及成分分析

刘红霞¹, 刘会², 张慧亭¹, 仝瑞建¹, 许美秋¹, 孔梁宇¹, 郑之明², 赵旭升^{1*}

(1. 洛阳师范学院生命科学学院枣科学研究应用中心, 河南洛阳 471934; 2. 中国科学院强磁场与离子束物理生物学重点实验室, 安徽合肥 230000)

摘要 [目的]以灰枣为原料,初步分析其提取、分离工艺及其活性成分。[方法]通过酸化乙醇提取法对枣皮红色素进行提取,采用单因素试验考察不同 pH 对枣皮红色素提取效果的影响。在此基础上,利用 pH 梯度萃取法将枣皮红色素粗提物依次经过 5% NaHCO₃ 溶液、5% Na₂CO₃ 溶液、1% NaOH 溶液进行萃取,得到不同萃取组分。并采用颜色反应和高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)对萃取物进行初步分析。[结果]通过单因素试验判定出 pH=0.5 的盐酸乙醇溶液对枣皮红色素提取效果最佳;碱液颜色反应和盐酸共沸颜色反应结果显示,枣皮红色素可能为蒽醌类化合物和多酚类化合物;高效液相色谱法(HPLC)对不同萃取物组分进行初步分析,得出枣皮红色素存在于 NaHCO₃ 萃取组和 Na₂CO₃ 萃取组,并且主要集中于 NaHCO₃ 萃取组分。[结论]该研究为枣皮红色素的开发提供理论依据。

关键词 红枣;枣皮;红色素;pH 梯度萃取;颜色反应;高效液相色谱

中图分类号 TS 202.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)33-0149-04

Extraction and Composition Analysis of Pigment from Jujube Peel

LIU Hong-xia¹, LIU Hui², ZHANG Hui-ting¹ et al (1. Application Center for Jujube Science, College of Life Sciences, Luoyang Normal University, Luoyang, Henan 471934; 2. Key Laboratory of Strong Magnetic and Ion Beam Physical Biology, Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230000)

Abstract [Objective] The grey jujube was used as raw material to analyze its extraction and separation process and its active ingredients. [Method] Acidification of ethanol method was used to extract red pigment from jujube peel. We found the effects of different pH to extract red pigment from jujube peel by single factor experiment. On the basis, through isolation of jujube peel by pH gradient extraction, we could obtain different extraction fractions by the red pigment of jujube peel as followed 5% NaHCO₃ solution, 5% Na₂CO₃ solution, 1% NaOH solution. High performance liquid chromatography (HPLC) analysis was carried out for the extraction fractions. [Result] pH=0.5 of hydrochloric acid solution extraction effect was best by single factor experiment; Lye color reaction and azeotropic hydrochloric acid color reaction used to analyze the extract fractions, this results showed that jujube red pigment may be anthraquinone compounds and polyphenols compounds; HPLC analysis was carried out for the extraction fractions, the results showed that extract red pigment from jujube peel stored in NaHCO₃ extraction fraction and Na₂CO₃ extraction fraction, and mainly concentrated in NaHCO₃ extraction fraction. [Conclusion] This study provides scientific basis for the red pigment of jujube peel exploitation.

Key words Jujube; Jujube peel; Pigment; pH gradient extraction; Color reaction; High performance liquid chromatography

灰枣原产于河南新郑等地,具有抗旱、耐瘠薄、抗病虫,较抗风和抗盐碱,种植后丰产稳产等特点,适宜大面积发展。灰枣果实为长卵形,枣核较小,为中果型良种。干制的灰枣果肉致密,富有弹性,口味甘甜^[1],其主要营养成分包含 V_C、酚类、类黄酮、三萜酸、β 胡萝卜素和多糖等,具有滋阴补阳、归脾胃经、养血安神、缓和药性的功能,此外还有抗癌、消炎、抗氧化、抗焦虑等功效^[2-9]。

近年来合成色素违规使用而造成的食品安全事件屡见不鲜,大量的研究报告指出,几乎所有的合成色素都不能向人体提供营养物质,使用不当甚至会危害人体健康,导致生育力下降、畸胎等^[10]。相较于大多数具有致癌风险的合成色素,天然无污染的植物色素更受到人们的青睐,天然色素作为食品添加剂,具有安全性高、色泽鲜明的优点,一些植物色素还具有一定的药理功能,如常用色素中红花黄色素具有抑制血栓形成、改善心肌供血、降血压、抗氧化、抗炎镇痛等

功效;姜黄色素具有降压、利胆、行气解郁、凉血破瘀等功效;类胡萝卜素由于具有较强的抗氧化活性,是 V_E 的 100 倍,所以在食品行业中常用作食品抗氧化剂^[11-12]。灰枣枣皮中含有大量红色素(枣皮红色素),具有稳定性高、色泽纯正、易溶于水、安全无毒并有一定的抗病毒、抗肿瘤等特点,是一种天然的色素资源,被称为“活性维生素丸”^[13-15]。

我国是枣果实产量较大的国家,市场上 90% 的大枣都来源我国,但枣加工产业发展却一直很迟缓,以粗产品居多,精深加工品较少^[16],因此枣皮红色素的开发具有重要的现实意义^[17-26]。笔者采用酸化乙醇法对枣皮红色素进行初步提取获得粗提物,然后通过 pH 梯度萃取法对粗提物进行进一步分离,最后采用颜色反应和高效液相色谱法对萃取物成分进行初步分析,为枣皮红色素的开发提供理论依据,不仅能将无用的枣皮变成可利用物质,促进资源的进一步开发利用,又可以增加枣产品的额外产值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂 以灰枣为原料,采自学院枣种质资源圃。甲醇、无水乙醇、乙醚、浓盐酸、碳酸钠、碳酸氢钠、氢氧化钠等,均为分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司。

1.2 仪器 SYG-2 数显恒温水浴锅,常州朗越仪器厂;FW-400A 倾斜式高速万能粉碎机,北京中兴伟业仪器有限公司;BPG-9070A 精密鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;HB10 旋转蒸发仪,广州仪科实验技术有限公司;AP-9925N

基金项目 河南省科技开放合作计划项目(172106000049, 16210600025);河南省自然科学基金项目(162300410198);河南省高等学校重点科研项目(17A180030);河南省科技攻关计划项目(152102210334)。

作者简介 刘红霞(1984—),女,河南洛阳人,讲师,博士,从事天然产物研究与开发工作;刘会(1986—),女,安徽合肥人,助理研究员,博士,从事微生物育种与形态控制研究。刘红霞和刘会是共同第一作者。* 通讯作者,教授,硕士,从事林木育种研究。

收稿日期 2018-06-28

真空泵,天津市奥特赛恩斯仪器有限公司;超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;FE28型实验室pH计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;高效液相色谱仪,Germany。

1.3 试验方法

1.3.1 干枣的制备。挑选大小均一、色泽一致的新鲜灰枣,洗去表面灰尘并将其均匀铺在托盘表面,置于烘箱中,关闭顶部通风口。缓慢升温至55℃保持4h左右;待枣皮表面起皱时,将温度升至65℃;在烘箱内湿度达到70%时,打开顶部通风口排气15min,待湿度降至55%左右时,再次关闭通风口;排气5~8次即可,将得到的干枣摊开降温,密封冷藏。

1.3.2 枣皮粉制备。将干制的灰枣用清水冲洗2遍,冷水浸泡24h,沸水浴5min,立即放入冷水中进行冷却,挖去枣肉得到枣皮。将枣皮置于鼓风干燥箱中,40℃烘干,一般15~20h即可。最后采用粉碎机将烘干的枣皮进行粉碎至粉末状,过60目筛,贮存于阴凉干燥处备用。

1.3.3 酸化乙醇溶液提取枣皮红色素工艺优化。以上述制

备的枣皮粉为原料,选择pH=0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0盐酸乙醇溶液,料液比为1:30,提取时间2h,提取温度80℃、浸提次数为3次的条件下分别进行提取试验,对比不同pH对枣皮红色素提取的影响。

将不同pH条件下提取的枣皮红色素3次浸提液分别进行合并,浸提液经40℃旋转蒸发仪浓缩制得浸膏,浸膏经真空干燥器进行干燥即得枣皮红色素粗制品,通过对不同pH下提取的浸膏颜色以及质量分析,判定出最佳提取工艺。

1.3.4 枣皮红色素粗提物的分离。pH梯度萃取法是利用天然色素呈现的酸性不同,用不同碱度的水溶液进行萃取,从而达到分离提取的目的。工艺流程如图1所示。将上述枣皮粗制品依次通过5%NaHCO₃溶液、5%Na₂CO₃溶液、1%NaOH溶液进行萃取,获得不同组分萃取液,将各萃取液经40℃旋转蒸发仪浓缩制得浸膏,并分别收集在3个干净的培养皿,即得NaHCO₃组浸膏、Na₂CO₃组浸膏、NaOH组浸膏。

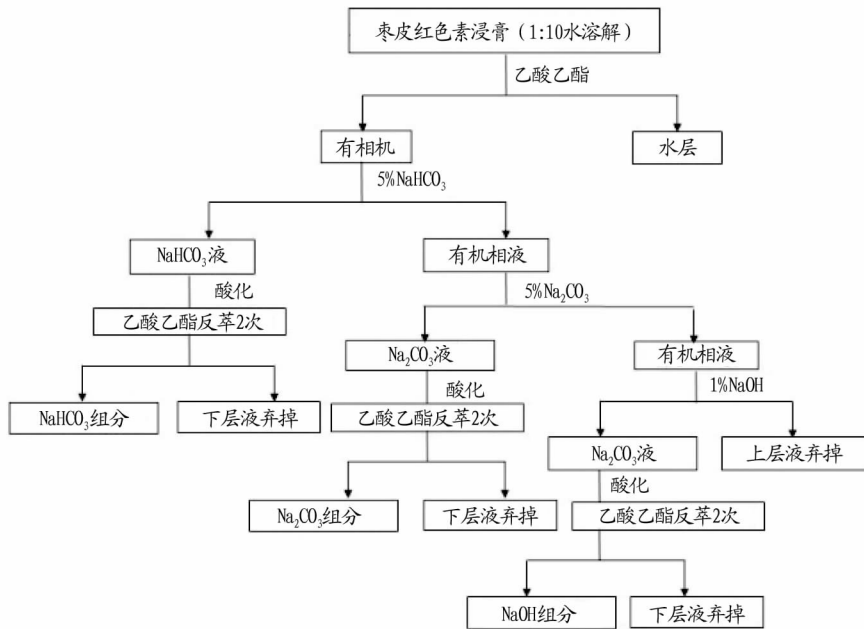


图1 枣皮红色素pH梯度萃取流程

Fig. 1 Process of red pigment from jujube peel by pH gradient extraction

1.3.5 枣皮红色素的颜色反应。

1.3.5.1 碱液反应。碱液颜色反应原理是若物质为蒽醌类化合物,则碱水层呈现红色或紫色。乙醚层由黄色变为无色。将萃取后得到的3种组分(NaHCO₃组分、Na₂CO₃组分、NaOH组分)分别以1:5的比例溶解,各移取1mL分别置于3个离心管中,再向每管中各加2mL乙醚,将乙醚层分别取出置于3个空离心管中,最后向各个不同组分剩余的水层和醚层分别加1mL5%NaOH溶液,观察现象。

1.3.5.2 盐酸共沸试验。将萃取后得到的3种组分(NaHCO₃组分、Na₂CO₃组分、NaOH组分)分别以1:5的比例溶解,用1mL移液器分别吸取2mL至试管中,再向各试管中加入1mL浓盐酸,沸水浴15min,观察颜色变化。

1.3.6 枣皮红色素的高效液相色谱法分析。

1.3.6.1 样品制备。将各组分浸膏分别用蒸馏水稀释成500μg/mL。再用一次性注射器各吸取1mL,通过细菌过滤器直接过滤到进样品中,并做好标记。

1.3.6.2 液相条件。色谱仪:Agilent Technologies 1290 Infinity II;色谱柱:Eclipse×DB-C₁₈、孔径5μm、大小4.6mm×250mm;流动相:乙腈;进样量20μL;检测波长340nm;流速0.5mL/min;柱温25℃。

2 结果与分析

2.1 酸化乙醇溶液提取枣皮红色素最佳工艺 选择pH=0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0盐酸乙醇溶液,料液比为1:30、提取时间2h、提取温度80℃、浸提次数为3次的条件下分别进行提取试验,考察不同pH对枣皮红色素提取效果的影响(与方法重复)。通过对提取物的颜色变化进行观察,试验结

果见图 2,由图 2 可知,随着 pH 的不断增大,提取物浸膏颜色越来越浅,由酒红色变为橙红色到浅黄色。通过计算提取物

浸膏的得率,试验结果如表 1,可知 pH=0.5 时提取物得率最高,达 22%。

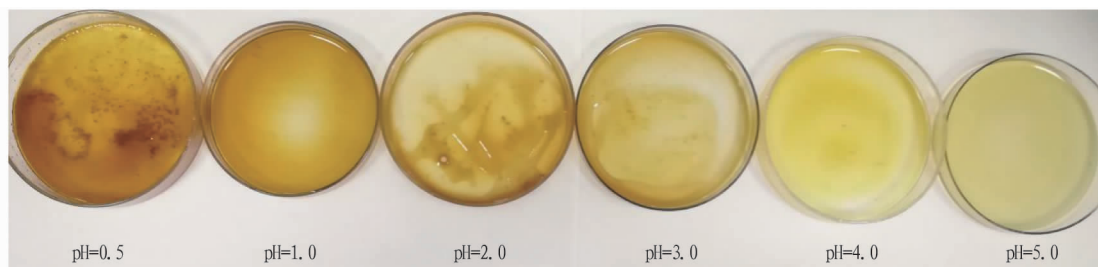


图 2 不同 pH 条件下提取物浸膏颜色

Fig. 2 Extract color under different pH conditions

表 1 不同 pH 条件下枣皮红色素提取浸膏得率

Table 1 The extraction rate of red pigment from jujube peel under different pH conditions

pH	提取量 Extraction amount//g	提取得率 Extraction rate//%
0.5	1.10	22.0
1.0	1.08	21.6
2.0	1.06	21.2
3.0	1.04	20.8
4.0	0.66	13.2
5.0	0.55	11.0

2.2 枣皮红色素的颜色反应

2.2.1 碱液反应。将萃取后得到的 3 种组分(NaHCO_3 组分、 Na_2CO_3 组分、 NaOH 组分)分别进行碱液反应试验,试验结果如图 3 所示,结果表明, NaHCO_3 组分碱水层由无色变为暗红色,醚层由浅黄色变为无色。 Na_2CO_3 组分水层由无色变为黄色,醚层由黄色变为无色, NaOH 组分无颜色变化。此现象说明,通过 pH 梯度萃取法对枣皮红色素粗提物进行分离,所得萃取物含有蒽醌类化合物,且存在于 NaHCO_3 组分和 Na_2CO_3 组分, NaOH 组分不含有蒽醌类化合物,主要集中在 NaHCO_3 组分。

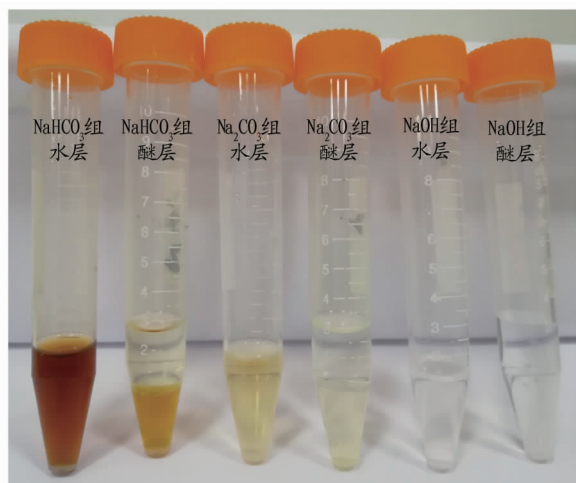


图 3 各萃取物组分碱液反应

Fig. 3 Lye reaction of each extract fraction

2.2.2 盐酸共沸试验。将萃取后得到的 3 种组分(NaHCO_3

组分、 Na_2CO_3 组分、 NaOH 组分)分别与浓盐酸混合,沸水浴 15 min,试验结果如图 4,观察可得 NaHCO_3 组分出现砖红色沉淀, Na_2CO_3 组分、 NaOH 组分不明显。由此得出, NaHCO_3 组分中含有多酚类物质,而 Na_2CO_3 组分、 NaOH 组分不含有此类物质。

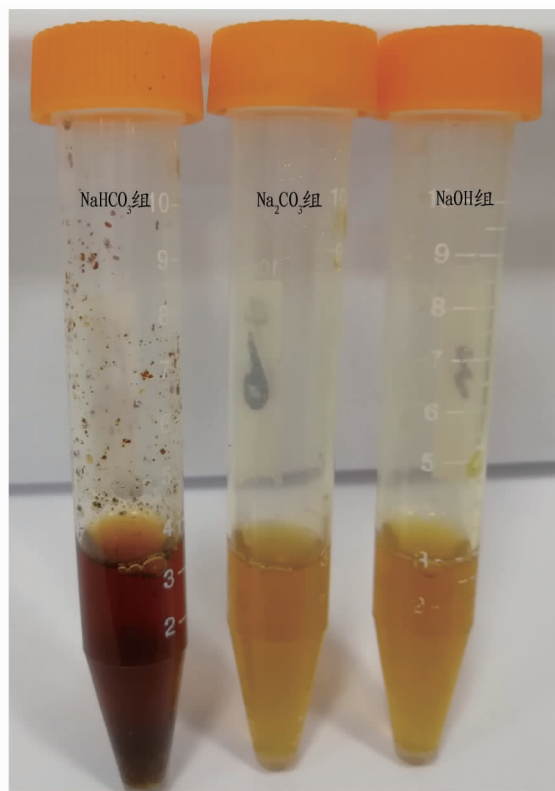
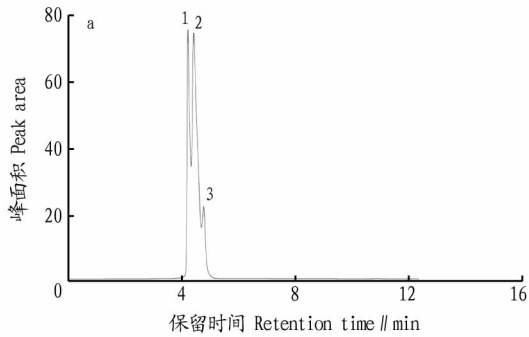


图 4 各萃取物组分盐酸共沸反应

Fig. 4 Hydrochloric azeotropic reaction of each extract fraction

2.3 枣皮红色素的高效液相色谱法分析 由上述碱液反应和盐酸共沸试验可以得出,枣皮红色素主要存在于 NaHCO_3 组分和 Na_2CO_3 组分,因此,采用高效液相色谱法(HPLC)只对 NaHCO_3 组分和 Na_2CO_3 组分进行初步分析,试验结果见图 5。由图 5 可知, NaHCO_3 组分出现 3 个峰,保留时间分别为 4.585、4.782、5.124 min; Na_2CO_3 组分出现 2 个峰,保留时间分别为 4.666、4.764 min。表明 NaHCO_3 组分和 Na_2CO_3 组分含同一种物质,但 NaHCO_3 组分与 Na_2CO_3 组分相比,多含一种物质,其保留时间为 5.124 min。

通过积分计算可得(表2),在保留时间为4.585、4.782、5.124 min的NaHCO₃组分,相对应的峰面积分别为503.30、932.44、191.12;在保留时间为4.666、4.764 min时,Na₂CO₃组分所含物质的峰面积分别为105.53、344.14,说明在相同



保留时间内,NaHCO₃组分的峰面积均高于Na₂CO₃组分的面积。由此表明,有效物质主要存在于NaHCO₃组分。同时此结果验证了上述碱液反应、盐酸共沸试验结果,并且验证出pH梯度萃取法分离枣皮红色素具有可行性。

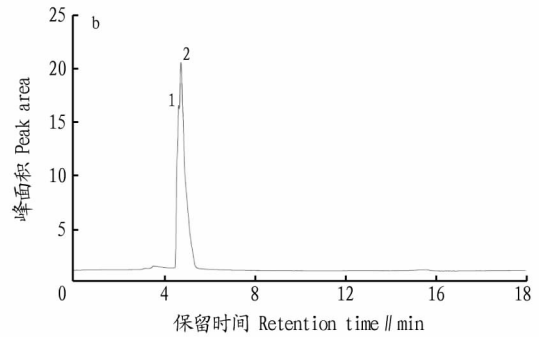


图5 NaHCO₃组分(a)和Na₂CO₃组分(b)液相色谱图

Fig. 5 Liquid chromatogram of NaHCO₃ component (a) and Na₂CO₃ component (b)

表2 高效液相色谱法检测结果

Table 2 The test of high performance liquid chromatography

提取组分 Extract fraction	编号 No.	保留时间 Retention time//min	峰面积 Peak area
NaHCO ₃ 组分	1	4.585	503.30
	2	4.782	932.44
	3	5.124	191.12
Na ₂ CO ₃ 组分	1	4.666	105.53
	2	4.764	344.14

3 讨论与结论

枣皮为红枣加工过程中产生的主要废弃物之一,枣产品的加工生产过程中,枣皮常被当成垃圾处理,造成环境污染,因其价格低廉,具有安全、无毒副作用、色泽明亮、性质稳定等特点,符合人们的消费理念,是一种良好的天然色素。该研究对枣皮红色素提取、分离工艺以及物质展开初步分析。通过单因素试验,对其提取工艺进行优化,结果表明,pH=0.5的盐酸乙醇溶液提取枣皮红色素提取效果最佳,枣皮红色素粗提物得率为22%;采用pH梯度萃取法对枣皮红色素粗提物进行分离,得到3种萃取物组分,分别为NaHCO₃萃取物组分、Na₂CO₃萃取物组分、NaOH萃取物组分;通过颜色反应(碱液反应和盐酸共沸试验)对其物质进行初步分析,试验结果表明,有效物质为蒽醌类和多酚类化合物,其中蒽醌类化合物存在于NaHCO₃萃取物组分和Na₂CO₃萃取物组分,且主要集中在NaHCO₃萃取物组分,多酚类化合物存在于NaHCO₃萃取物组分;最后采用HPLC对其萃取物组分进行进一步分析,结果表明,NaHCO₃萃取物组分和Na₂CO₃萃取物组分含有相同的2种物质,且在NaHCO₃萃取物组分中的含量均高于Na₂CO₃萃取物组分中的含量,除此以外,NaHCO₃萃取物组分含有1种物质,其不存在于Na₂CO₃萃取物组分。此结果印证了上述颜色反应的结果,同时证明pH梯度萃取法对枣皮红色素粗提物进行分离具有可行性,且有较好的分离效果。

目前国内外对枣皮红色素的研究主要集中在提取工艺及理化性能研究,对其成分与结构分析相关报道相对较少,

因此,对其成分与结构分析是一项急需解决的问题。另外,与其他天然色素相比,关于枣皮红色素的研究起步较晚,目前还处于初步阶段。该研究通过pH梯度萃取法对枣皮红色素粗提物进行初步分离纯化,为进一步研究枣皮红色素成分与结构提供理论基础。

参考文献

- [1] 周琳. 河南省枣优良品种介绍[J]. 山西果树, 2001(3): 28-29.
- [2] 中国医学院药物研究所. 中药志: 第三册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1993: 135-136.
- [3] GAO Q H, WU C S, WANG M. The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit: A review of current knowledge of fruit composition and health benefits[J]. Journal of agricultural & food chemistry, 2013, 61(14): 3351-3363.
- [4] EBRAHIMI S, MOLLAEI H, HOSHYAR R. Ziziphus jujube: A review study of its anticancer effects in various tumor models invitro and invivo[J]. Cellular and molecular biology, 2017, 63(10): 122-127.
- [5] LI J W, FAN L P, DING S D, et al. Nutritional composition of five cultivars of chinese jujube[J]. Food chemistry, 2007, 103(2): 454-460.
- [6] 李雪华, 龙盛京. 大枣多糖的提取与抗活性氧研究[J]. 广西科学, 2000, 7(1): 54-56, 63.
- [7] LIU M J, ZHAO J, CAI Q L, et al. The complex jujube genome provides insights into fruit tree biology[J]. Nature communications, 2014, 5: 1-14.
- [8] WOJDYŁO A, CARBONELL-BARRACHINA Á A, LEGUA P, et al. Phenolic composition, ascorbic acid content, and antioxidant capacity of Spanish jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruits[J]. Food chemistry, 2016, 201: 307-314.
- [9] WAN C R, HAN D D, XU J Q, et al. Jujuboside A attenuates norepinephrine-induced apoptosis of H9c2 cardiomyocytes by modulating MAPK and AKT signaling pathways[J]. Molecular medicine reports, 2017, 17(1): 1132-1140.
- [10] 葛宇. 食品中人工合成色素使用法规及检测标准进展[J]. 质量与标准化, 2011(9): 31-35.
- [11] ABDELHAFIDH K, MHADHBI L, MEZNI A, et al. Protective effect of *Ziziphus lotus* jujube fruits against cypermethrin-induced oxidative stress and neurotoxicity in mice[J]. Biomarkers, 2018, 23(2): 167-173.
- [12] 吴宇宽. 红枣红色素的提取纯化及其性质和应用研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2008.
- [13] 夏明, 杜琪珍. 天然红色素研究进展[J]. 食品研究与开发, 2002, 23(6): 38-41.
- [14] 徐清海, 明霞. 天然色素的提取及其生理功能[J]. 应用化工, 2005, 34(5): 268-270.
- [15] 游凤, 黄立新, 张彩虹, 等. 红枣红色素的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2012(4): 223-230.
- [16] 邵佩兰, 徐明. 正交试验优化红枣色素提取工艺[J]. 食品科技, 2014, 39(3): 232-235.

龙眼壳产气高峰期出现的时间要比豌豆壳、蚕豆壳较晚一些,与康乃馨秸秆相同。综合而言,以龙眼壳为原料的发酵试验启动较快,产气的周期短,其TS产气率相对较高,在实际的沼气工程中,龙眼壳的综合效率较高,成本较低。

表4 不同原料的产气高峰期出现的时间和原料中粗纤维素含量、含水率的关系

Table 4 The relationship between the peak time of gas production and crude cellulose content and moisture content in raw materials

编号 No.	发酵原料 Fermented raw material	粗纤维素 含量 Crude cellulose content/%	含水率 Moisture content %	产气高峰期 出现的时间 Peak time of gas prod- uction/d	参考文献 Reference
1	龙眼壳	11.0	10.29	6,9	[8]
2	豌豆壳	28.0	85.12	3	[21]
3	蚕豆壳	24.8	85.98	3	[22]
4	康乃馨秸秆	30.6	80.74	6	[12]
5	勿忘我花杆	38.7	83.58	7	[13]
6	玫瑰秸秆	31.7	63.13	9,12	[23]
7	花生壳	65.7	8.06	11,17	[24]
8	稻壳	34.0	8.26	15	[25]
9	小麦颖壳	65.0	7.50	21	[15]

3 结论

(1)以龙眼壳为发酵原料,在中温(30±1)℃进行批量式的厌氧发酵试验,第31天之后产气量为零,故发酵周期为31d,试验在第1天就开始产气,并在第6天达到峰值,故试验启动较较快。

(2)龙眼壳的产气潜力为265 mL/g(TS)、287 mL/g(VS)。通过表3可以看出,虽然龙眼壳的TS产气率要低于花卉秸秆类,但发酵周期要比其短一些,而且龙眼壳的TS产气率要高于部分壳类。由此看来,龙眼壳是作为沼气发酵的较理想原料。

(3)龙眼壳发酵产沼气主要集中在前15d,到15d时累计的产气量已达总产气量的80%以上,产气速率较快,甲烷品质较高。因此可初步设计实际沼气工程的水力滞留时间为15d。

(4)利用计算机软件Origin拟合出累积产气量随发酵时间的变化趋势曲线所遵循的方程, $Y = -206.71 + 292.88X - 6.52X^2 + 0.02X^3$,其相关系数为0.9942,证明了试验数据可

信度相对较高。

参考文献

- [1] 吴妮妮,李雪华.龙眼化学成分及活性研究进展[J].海峡药学,2006,18(4):17-20.
- [2] 廖娜.龙眼壳化学成分的研究[D].桂林:广西师范大学,2006.
- [3] 肖更生,黄儒强,曾庆孝,等.龙眼核的营养成分[J].食品科技,2004,32(1):93-94.
- [4] 邱松山,李颖,姜翠翠,等.龙眼加工废弃物的综合利用探讨[J].甘肃农业科技,2016(5):59-64.
- [5] 熊俐,杨跃寰,曹新志,等.微生物发酵柱圆壳制取高水溶性膳食纤维的研究[J].中国酿造,2011,30(10):61-63.
- [6] 王瑛.龙眼壳纤维制成可降解环保材料的研究[J].科技创新与应用,2017(34):171-172.
- [7] 秦洁华,李雪华,肖庆,等.龙眼壳多糖含量的测定及其免疫活性研究[J].西北药学杂志,2010,25(2):110-112.
- [8] 王志远.龙眼壳与龙眼核多酚的分离纯化、结构鉴定及抗氧化活性[D].厦门:厦门大学,2008.
- [9] 许国芹,尹芳,张无敌,等.城市垃圾渗滤液厌氧消化试验研究[J].中国沼气,2017,35(5):20-24.
- [10] 张无敌,宋洪川,尹芳,等.沼气发酵与综合利用[M].昆明:云南科技出版社,2003.
- [11] 白娜,符征鸽,梅自力,等.茶渣沼气发酵潜力研究[J].中国沼气,2011,29(3):20-23.
- [12] 李映娟,柳静,杨红,等.红毛丹果皮沼气发酵试验研究及果皮回收利用分析[J].安徽农业科学,2013,41(33):12984-12986,13041.
- [13] 杨红,马煜,张无敌,等.康乃馨秸秆发酵产沼气潜力的试验研究[C]//2011年中国沼气学会学术年会暨第八届理事会第二次会议论文集.昆明:《云南师范大学学报》编辑部,2011:82-84.
- [14] 吉喜燕,林卫东,张无敌,等.勿忘我花杆发酵产沼气潜力的实验研究[J].新能源进展,2014,2(5):358-363.
- [15] 李梦洁.玫瑰秸秆厌氧发酵产沼气特性试验研究[D].上海:东华大学,2017.
- [16] 田菲.小麦颖壳厌氧发酵特性与产气潜力研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [17] 邵艳秋.花生壳和猪粪混合厌氧发酵特性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [18] 刘伟伟,尹芳,张无敌.豌豆壳沼气发酵潜力的研究[J].云南师范大学学报,2005,25(6):28-30.
- [19] 尹雯,茹菁宇,刘士清,等.蚕豆壳发酵产沼气潜力的研究[J].中国建设动态-阳光能源,2006(2):57-58.
- [20] 施晨璐,李连华,孙永明.稻壳与玉米秆高温厌氧发酵制备生物燃气潜力研究[J].新能源进展,2014,2(4):264-269.
- [21] 黄光红.豌豆荚壳饲喂泌乳奶牛的试验[J].上海畜牧兽医通讯,2013(3):20-21.
- [22] 邹金飞.蚕豆壳窄行式栽培平菇技术[J].食用菌,2005(5):53.
- [23] 李梦洁,顾平道,邵一心,等.沼液预处理对玫瑰秸秆厌氧发酵产气特性的影响[J].建筑热能通风空调,2017,36(9):37-41.
- [24] 杨国峰,周建新,汪海峰,等.花生壳提取物的制备及其抗氧化与抗菌活性的研究进展[J].食品与发酵工业,2007,33(2):97-101.
- [25] 何文修,张智亮,计建炳.稻壳生物质资源利用技术研究进展[J].化工进展,2016,35(5):1366-1376.

(上接第152页)

- [17] 陈韶华.超声波法提取小口大枣枣皮红色素及其稳定性研究[J].食品科技,2011,36(10):203-207.
- [18] WANG D Y, ZHAO Y, JIAO Y D, et al. Antioxidative and hepatoprotective effects of the polysaccharides from *Zizyphus jujube* cv. Shaanbeitanzao [J]. Carbohydrate polymers, 2012, 88(4): 1453-1459.
- [19] 游凤.红枣果皮功能成分提取、分离与纯化工艺的研究[D].北京:中国林业科学研究院,2014.
- [20] 樊君,吕磊,尚红伟.大枣的研究与开发进展[J].食品科学,2003,24(4):161-163.
- [21] 戴富才,赵娣,孙傲.大孔树脂对枣皮红色素的分离纯化[J].安徽农

- 业科学,2012,40(35):17298-17300.
- [22] 李勇.大枣枣皮红色素的分离、生物活性及稳定性的研究[D].郑州:郑州大学,2013.
- [23] 薛自萍,曹建康,姜微波.枣果皮中酚类物质提取工艺优化及抗氧化活性分析[J].农业工程学报,2009,25(S1):153-158.
- [24] 王桐,石丽花,陈惠.枣皮中食用色素的提取工艺及其稳定性研究[J].中国食品添加剂,2006(5):72-76.
- [25] 邹玉红,郭琳,寇小燕.枣皮红色素提取工艺的优化及稳定性研究[J].安徽农业科学,2012,40(25):12659-12661,12675.
- [26] GUO C J, YANG J J, WEI J Y, et al. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay [J]. Nutrition research, 2003, 23(12): 1719-1726.