

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90004

# 青楷槭树皮营养成分、活性物质含量及其抗氧化、抗菌活性

Nutrition components and active substance content and antioxidant and antibacterial activity of *Acer tegmentosum* maxim bark

郭玉媛 金铁岩 张智勇

GUO Yu-yuan JIN Tie-yan ZHANG Zhi-yong

(延边大学农学院, 吉林 延吉 133002)

(College of Agriculture, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China)

**摘要:**目的:丰富天然抗氧化剂和抗菌剂来源,探索槭树科植物生物活性的发展潜力。方法:测定青楷槭(AT)树皮营养成分及其乙醇提取物(ATEE)和热水提取物(ATWE)的总酚和总黄酮含量,HPLC法测定红景天苷和酪醇含量;考察提取物对DPPH自由基、ABTS自由基、羟自由基清除能力和铁还原力的影响,并分析其对变形链球菌、金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的最小抑菌浓度(MIC)。结果:AT的水分、粗脂肪、粗灰分、粗蛋白、碳水化合物和总膳食纤维含量分别为7.12%,4.67%,5.83%,3.96%,78.42%,66.08%;常量元素含量为Ca>K>Mg>Na;微量元素含量为Mn>Fe>Zn>Al>Cu>Cr。ATEE的总酚、总黄酮、红景天苷和酪醇含量高于ATWE,分别为315.66,79.26,183.26,26.89 mg/g。ATEE的DPPH自由基、ABTS自由基、羟自由基清除能力和铁还原力均高于ATWE的,与维生素C的相差不大且总体上高于BHA的。ATEE的乙酸乙酯相表现出了更好的抗菌性,其对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的MIC分别为128,16  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,对变形链球菌无抑菌活性。结论:青楷槭提取物具有良好的抗氧化和抗菌活性。

**关键词:**青楷槭;营养成分;活性物质;抗氧化;抗菌活性

**Abstract: Objective:** This study aimed to enrich the source of natural antioxidants and antibacterial agents and explore the development potential of the biological activity of Aceraceae. **Methods:** The nutrition components of *Acer tegmentosum* Maxim (AT) bark and the total phenols content and total flavonoid content of ethanol extract (ATEE) and water extract (ATWE) were measured, and the contents of salidroside and tyrosol were determined

**作者简介:**郭玉媛,女,延边大学在读硕士研究生。

**通信作者:**金铁岩(1968—),男,延边大学副教授,硕士生导师,博士。E-mail:jintieyan@ybu.edu.cn

**收稿日期:**2021-08-11

by HPLC. DPPH radical, ABTS cationic radical, hydroxyl radical scavenging ability and ferric reducing power of extracts were determined. The antibacterial activity was evaluated by measuring the minimal inhibitory concentration (MIC) against *Streptococcus mutans*, *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. **Results:** The content of water, crude fat, crude ash, crude protein, carbohydrate and total dietary fiber of AT was 7.12%, 4.67%, 5.83%, 3.96%, 78.42% and 66.08%, respectively. The order of the contents of the four major elements was Ca>K>Mg>Na, and the order of the contents of the six trace elements was Mn>Fe>Zn>Al>Cu>Cr. The contents of TPC, TFC, salidroside and tyrosol of ATEE were higher than ATWE, and the contents were 315.66, 79.26, 183.26 and 26.89 mg/g, respectively. ATEE's DPPH radical, ABTS cationic radical, hydroxyl radical scavenging ability and ferric reducing power were higher than that of ATWE with not much different from Vc and generally higher than BHA. The MICs against *S. aureus* and *E. coli* were 128 and 16  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , respectively, but had no antibacterial activity against *S. mutans*; **Conclusion:** The extracts of AT have good antioxidant and antibacterial activities.

**Keywords:** *Acer tegmentosum* maxim; nutrition components; active substance; antioxidant; antibacterial activity

病理状态下,当细胞没有足够能力清除活性氧或平衡其存在时就会引起氧化应激。机体在氧化应激状态下会产生并积累大量的自由基,过量的自由基会对细胞膜脂质、细胞蛋白质、DNA等生物大分子产生破坏作用,最终导致机体的氧化损伤并促进各类慢性疾病的病理学发生<sup>[1-2]</sup>。同时,由食品中存在或与食品相关的有害微生物的失衡而引起的食品腐败变质和安全问题也一直备受关注<sup>[3-4]</sup>。在食品工业中通常会选择加入抗氧化剂及防腐剂(抗菌剂)以达到保证食品品质的目的。但是化学合

成的抗氧化剂及防腐剂的加入对机体始终存在安全隐患,因此,从天然原料中制备出安全、高效的天然抗氧化剂以及抗菌剂成为食品及相关领域的研究热点<sup>[5-7]</sup>。

青楷槭(*Acer tegmentosum* Maxim, AT)是槭树科槭属落叶乔木,原产于中国东北、韩国以及俄罗斯等<sup>[8-9]</sup>。青楷槭在韩国民间传统医学上常被用于治疗眼病和肝脏类疾病;在中国常用其树皮泡水服用,具有护肝、醒酒以及消炎化毒等功效<sup>[10]</sup>。研究发现,青楷槭树皮中含有丰富的多酚以及黄酮类物质<sup>[11-12]</sup>,具有清除自由基<sup>[13]</sup>、抗炎<sup>[14-15]</sup>和降解酒精<sup>[16]</sup>等活性。此外,韩国食品药品安全部(MFDS)已经批准青楷槭提取物可作为无急性毒性的食品原料<sup>[17]</sup>。但目前有关青楷槭的研究大多局限于树种的培育以及生态环境方面,关于其提取物抗氧化性的报道较少,而有关其抗菌性(食源性菌)的研究尚未见报道。

研究拟以青楷槭树皮为原料,制备70%乙醇提取物(ATEE)和100℃热水提取物(ATWE),测定青楷槭树皮的营养成分和两种提取物的活性成分(总酚、总黄酮、红景天苷和酪醇)含量,并评估其体外抗氧化活性和抗菌活性,以期拓宽青楷槭功能性食品领域及其进一步的开发利用提供依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

#### 1.1.1 材料与amp;试剂

青楷槭(AT):吉林省珲春市密江镇;

变形链球菌、金黄色葡萄球菌和大肠杆菌:延边大学药学院微生物实验室;

没食子酸、芦丁、红景天苷、酪醇、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)标准品:色谱纯,上海源叶生物科技有限公司;

2,2-联氮二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)标准品:超纯,上海源叶生物科技有限公司;

丁基羟基茴香醚(BHA):BR级,上海源叶生物科技有限公司;

抗坏血酸(V<sub>C</sub>):分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

甲醇、乙腈:色谱纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

分析天平:FA1104型,上海精密科学仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:101型,泰斯特仪器有限公司;

旋转蒸发器:N-1001型,上海爱朗仪器有限公司;

液相色谱仪:Primaide型,日本日立高科技公司;

紫外分光光度计:U-3900型,日本日立高科技公司;

离心机:TDZ5-WS型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

酶标仪:SH-1000型,广州济恒生物科技有限公司;

超声波清洗器:SB-5200DT型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

恒温培养箱:BPX-272型,上海博迅实验仪器有限公司。

### 1.2 方法

1.2.1 预处理 取青楷槭树皮,自然晾干,粉碎,过80目筛,收集备用。

1.2.2 提取物制备 称取适量的青楷槭树皮粉末,以料液比1:10(g/mL)加入体积分数为70%的乙醇溶液,室温下浸提24h,过滤,重复3次,收集提取液。另取适量的青楷槭树皮粉末,以料液比1:10(g/mL),100℃下煮沸1h,冷却至室温后过滤,重复3次,收集提取液。将提取液进行旋转浓缩,冷冻干燥,得到ATEE和ATWE。-20℃贮藏以备使用。

#### 1.2.3 青楷槭树皮的基本成分测定

(1)水分含量:参照GB 5009.3—2016。

(2)粗灰分含量:参照GB 5009.4—2016。

(3)粗蛋白质含量:参照GB 5009.5—2016。

(4)粗脂肪含量:参照GB 5009.6—2016。

(5)总膳食纤维含量:参照GB 5009.88—2014。

(6)碳水化合物含量:扣除水分、粗灰分、粗蛋白和粗脂肪后的含量。

#### 1.2.4 青楷槭树皮的矿物质含量测定

(1)钾、钠含量:参照GB 5009.91—2017。

(2)钙含量:参照GB 5009.92—2016。

(3)镁含量:参照GB 5009.241—2017。

(4)铁、铜、铝等微量元素含量:参照GB 5009.268—2016。

1.2.5 提取物总酚含量测定 根据文献[18]。

1.2.6 提取物总黄酮含量测定 根据文献[19]修改如下:将制备的ATEE与ATWE配置成适当浓度的溶液,吸取4mL至试管,分别加入0.5mL5%亚硝酸钠溶液和10%硝酸铝溶液,充分混合后静置5min。加入4mL4%氢氧化钠溶液,定容至10mL,充分混匀静置5min,测定510nm处吸光度,用蒸馏水代替样品作对照。

1.2.7 提取物红景天苷和酪醇含量测定 采用HPLC法。选用安捷伦C<sub>18</sub>(250mm×4.6mm,5μm)色谱柱,流动相为乙腈—水(V<sub>乙腈</sub>:V<sub>水</sub>为2:8),流速1.0mL/min,柱温25℃,检测波长275nm,进样量10μL。

1.2.8 DPPH自由基清除能力 根据文献[20],按式(1)计算DPPH自由基清除率。

$$D = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

D——自由基清除率,%;

$A_1$ ——试验组的吸光值；  
 $A_2$ ——样品对照组的吸光值；  
 $A_0$ ——空白对照组的吸光值。

1.2.9 ABTS 阳离子自由基清除能力 根据文献[21]修改如下：分别吸取 1 mL 不同浓度(2.5~1 000.0  $\mu\text{g/mL}$ )的 ATEE 和 ATWE 溶液，加入 4 mL ABTS 工作液，充分混合后静置 6 min，测定 734 nm 处吸光度。使用 1 mL 无水乙醇代替样品作为空白组。按式(2)计算 ABTS 阳离子自由基清除率。

$$A = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$A$ ——ABTS 阳离子自由基清除率，%；  
 $A_0$ ——空白组吸光值；  
 $A_1$ ——试验组吸光值。

1.2.10 羟自由基清除能力 根据文献[18]。按式(1)计算羟自由基清除率。

1.2.11 铁还原能力测定 根据文献[22]。

1.2.12 抗菌性测定 根据文献[23]修改如下：将 ATEE 使用蒸馏水溶解，分别使用石油醚、乙酸乙酯对 ATEE 萃取 3 次，剩余的作为水相，旋转蒸发，得到 ATEE 的石油醚相、乙酸乙酯相以及水相浸膏。将 3 种浸膏、ATEE 和 ATWE 使用相应体积的 DMSO 溶解，在无菌 96 孔板中加入 100  $\mu\text{L}$  细菌培养液，初始加入 4  $\mu\text{L}$  样品溶液，采用双倍连续稀释法，并建立空白对照组。使用酶标仪于 650 nm 处测定加菌后的 96 孔板吸光度。将 96 孔板置于 37  $^{\circ}\text{C}$  恒温培养箱中孵育 20 h，测定吸光度。使用氯霉素作阳性对照。按式(3)计算抑菌率，抑菌率达到 90%<sup>[24]</sup> 的浓度确定为 MIC( $\mu\text{g/mL}$ )。

$$Y = \left(1 - \frac{A'_1 - A_1}{A'_0 - A_0}\right) \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$Y$ ——抑菌率，%；  
 $A'_1$ ——试验组培养 20 h 后的吸光值；

$A_1$ ——试验组培养前的吸光值；  
 $A'_0$ ——空白组培养 20 h 后的吸光值；  
 $A_0$ ——空白组培养前的吸光值。

1.2.13 数据统计与分析 试验重复 3 次，使用 SPSS 17.0、Excel 2010 进行数据统计分析，结果以平均数 $\pm$ 标准差表示。多组间数据比较使用单因素方差分析(Duncan 检验)， $P < 0.05$  表示差异显著。使用 Origin 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 青楷槭树皮基本成分含量

由表 1 可知，青楷槭树皮中水分、粗脂肪、粗灰分、粗蛋白及碳水化合物含量分别为 7.12%，4.67%，5.83%，3.96%，78.42%，碳水化合物含量较丰富，其中总膳食纤维含量为 66.08%。与青楷槭叶基本成分相比，除粗蛋白含量相对较低外，青楷槭树皮水分、粗脂肪、粗灰分、碳水化合物以及膳食纤维含量均高于青楷槭叶中的<sup>[25]</sup>。

### 2.2 青楷槭树皮矿物质含量

由表 2 可知，青楷槭树皮中 4 种常量元素含量为  $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Na}$ ，其中 Ca、K、Mg 含量较高，分别为 13 028.15, 3 600.68, 937.59 mg/kg。6 种微量元素含量顺序为  $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Al} > \text{Cu} > \text{Cr}$ ，其中 Mn 与 Fe 含量丰富，分别为 943.49, 601.88 mg/kg。与青楷槭叶<sup>[25]</sup>中的矿物质含量相比，尽管二者各元素含量存在差异，但含量变化趋势基本一致。综上，青楷槭可作为 Ca、K、Mg、Fe 等矿物质的良好补充来源。

### 2.3 提取物酚类物质含量

由表 3 可知，ATEE 的总酚、总黄酮含量分别为 315.66, 79.26 mg/g，ATWE 的总酚、总黄酮含量分别为 188.34, 34.89 mg/g。ATEE 和 ATWE 的总酚含量均高于总黄酮。ATEE 的总酚、总黄酮含量均高于 ATWE 的，与 Lee 等<sup>[13]</sup>的结果一致，但与 Choi 等<sup>[16]</sup>的结果相反，且差异显著( $P < 0.05$ )，说明不同的产地、处理方式以及提取方法等会影响提取物中酚类物质含量。同时，ATEE 中红景天苷与酪醇含量均高于 ATWE 的，与

表 1 青楷槭树皮基本成分含量

Table 1 Content of proximate compositions in bark of AT %

项目	水分	粗脂肪	粗灰分	粗蛋白	碳水化合物	总膳食纤维
含量	7.12 $\pm$ 0.25	4.67 $\pm$ 0.58	5.83 $\pm$ 0.29	3.96 $\pm$ 0.33	78.42 $\pm$ 0.49	66.08 $\pm$ 0.50

表 2 青楷槭树皮矿物质含量

Table 2 Content of minerals in bark of AT mg/kg

元素名称	钠(Na)	镁(Mg)	钙(Ca)	钾(K)	铝(Al)
含量	25.38 $\pm$ 4.29	937.59 $\pm$ 74.56	13 028.15 $\pm$ 606.17	3 600.68 $\pm$ 88.41	14.19 $\pm$ 1.96
元素名称	锰(Mn)	铁(Fe)	铜(Cu)	锌(Zn)	铬(Cr)
含量	943.49 $\pm$ 22.31	601.88 $\pm$ 27.92	2.22 $\pm$ 0.54	33.31 $\pm$ 1.38	1.70 $\pm$ 0.46

表 3 ATEE 与 ATWE 的酚类化合物含量

Table 3 Phenolic compounds contents of ATEE and ATWE

成分	保留时间/min	回归方程	R <sup>2</sup>	含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	
				ATEE	ATWE
总酚	—	Y=0.014 3X+0.042 8	0.999 1	315.66±2.17	188.34±4.53
总黄酮	—	Y=0.001 1X+0.047 3	0.998 4	79.26±0.82	34.89±1.20
红景天苷	3.920	Y=2 255.3X+146.67	0.998 2	183.26±1.40	129.31±2.98
酪醇	6.017	Y=6 634.9X+461.08	0.999 7	26.89±1.63	19.99±0.66

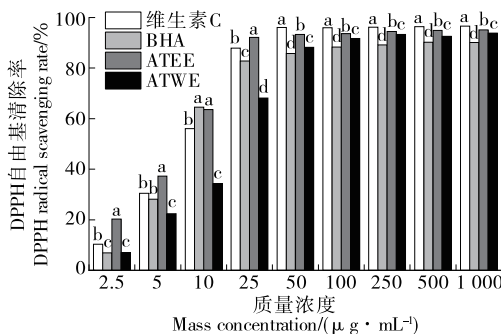
Hwang 等<sup>[26]</sup>的结论一致,证明红景天苷是青楷槭的主要成分。红景天苷是名贵药材红景天中主要的有效成分,其能在清除自由基、抗衰老、抗肥胖和保肝等方面发挥重要作用,具有广阔的市场前景与经济价值<sup>[15,26-28]</sup>。但是人工培育出高含量红景天苷的红景天至今仍存在困难,难以满足市场需求<sup>[29]</sup>,因此,青楷槭是否可以作为新的红景天苷提取来源值得后续研究。

2.4 DPPH 自由基清除能力

由图 1 可知,试验浓度范围(2.5~1 000.0 μg/mL)内,维生素 C、BHA、ATEE 和 ATWE 的 DPPH 自由基清除率随样品质量浓度的增大而增大,当质量浓度为 1 000 μg/mL 时,其清除率分别为 96.59%, 90.14%, 95.11%, 93.80%, IC<sub>50</sub> 分别为 8.34, 9.22, 6.64, 14.33 μg/mL。相同质量浓度下,ATEE 的 DPPH 自由基清除率始终高于 ATWE,且差异显著(P<0.05)。低质量浓度(2.5~25.0 μg/mL)下,ATEE 的 DPPH 自由基清除率均高于维生素 C 和 BHA 的,较高质量浓度(50~1 000 μg/mL)下,ATEE 的 DPPH 自由基清除率高于 BHA 的,虽低于维生素 C 的但相差不大。总体上,DPPH 自由基清除能力为 ATEE>维生素 C>BHA>ATWE。

2.5 ABTS 阳离子自由基清除能力

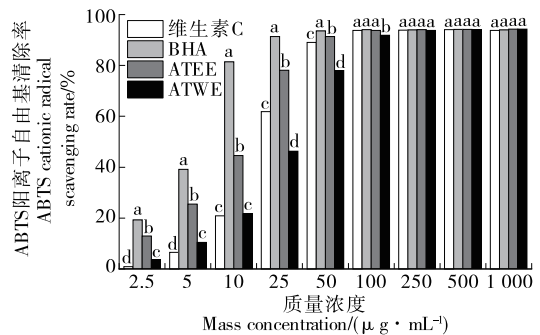
由图 2 可知,试验浓度范围(2.5~1 000.0 μg/mL)内,维生素 C、BHA、ATEE 和 ATWE 的 ABTS 阳离子自



小写字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 1 ATEE 与 ATWE 的 DPPH 自由基清除能力

Figure 1 DPPH radical scavenging activity of ATEE and ATWE



小写字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 2 ATEE 与 ATWE 的 ABTS 阳离子自由基清除能力

Figure 2 ABTS radical scavenging activity of ATEE and ATWE

基清除率随样品质量浓度的增大而增大,当质量浓度为 1 000 μg/mL 时,其清除率分别为 93.79%, 94.01%, 94.23%, 94.24%。较低质量浓度(2.5~50.0 μg/mL)下,两种样品之间以及与阳性对照之间存在显著差异(P<0.05),其中 ATEE 的 ABTS 阳离子自由基清除率始终高于 ATWE 和维生素 C 的,但低于 BHA 的,ATWE 在低质量浓度(2.5, 5.0 μg/mL)下的清除率高于维生素 C 的。较高质量浓度(50~1 000 μg/mL)下,除 ATWE 的 ABTS 阳离子自由基清除率在 100 μg/mL 时较低于 ATEE 和对照组外,两种样品和对照组之间无显著差异,维生素 C、BHA、ATEE 和 ATWE 的 IC<sub>50</sub> 分别为 19.64, 5.74, 10.58, 23.44 μg/mL。总体上,ABTS 阳离子自由基清除能力为 BHA>ATEE>维生素 C>ATWE。

2.6 羟自由基清除能力

由图 3 可知,试验浓度范围(2.5~1 000.0 μg/mL)内,维生素 C、ATEE 和 ATWE 的羟自由基清除率随样品质量浓度的增大而增大,而 BHA 的羟自由基清除率增加缓慢且清除率均很低,当质量浓度为 1 000 μg/mL 时,其清除率仅为 5.99%,说明 BHA 清除羟自由基的能力较弱。两种样品之间,ATEE 的羟自由基清除率在相同质量浓度下均高于 ATWE 的,且差异显著(P<0.05),较低质量浓度(2.5~50.0 μg/mL)下,ATEE 表现出更好的清除能力,且高于维生素 C 和 BHA 的,但清除率均<10%。

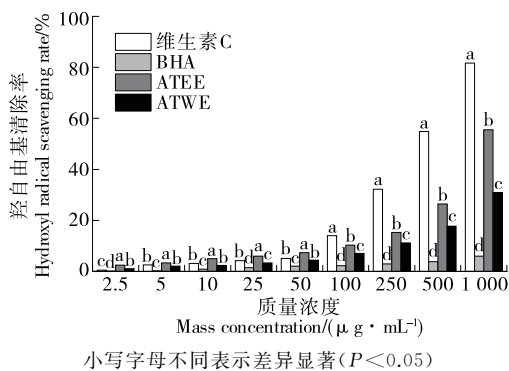


图 3 ATEE 与 ATWE 的羟自由基清除能力

Figure 3 Hydroxyl radical scavenging activity of ATEE and ATWE

较高质量浓度(100~1 000 μg/mL)下,维生素 C、ATEE 和 ATWE 的羟自由基清除率增长速率增加,并当质量浓度为 1 000 μg/mL 时,维生素 C、ATEE 及 ATWE 对羟自由基的清除率分别为 81.64%,55.51%,30.93%。综合比较,羟自由基清除能力为维生素 C > ATEE > ATWE > BHA。

### 2.7 铁还原能力

由图 4 可知,试验浓度范围(2.5~1 000.0 μg/mL)内,维生素 C、BHA、ATEE 和 ATWE 的铁还原能力随样品质量浓度的增大而增大,当样品质量浓度为 1 000 μg/mL 时,其吸光度值分别为 2.109,1.172,1.876,1.427。相同质量浓度下,维生素 C 的铁还原能力最强,BHA 的最弱,ATEE 和 ATWE 的铁还原能力在低质量浓度(2.5~100.0 μg/mL)内,除 25 μg/mL 的外均无显著差异,在较高质量浓度(500,1 000 μg/mL)下,ATEE 的铁还原能力均高于 ATWE,且差异显著(P<0.05)。ATWE 与 BHA 的铁还原能力在较低质量浓度(2.5~25.0 μg/mL)时无显著差异,但随着质量浓度的增加,在较高质量浓度(50~1 000 μg/mL)时,ATWE 的铁还原能力均高于 BHA 的。综合比较,铁还原能力为维生素 C > ATEE > ATWE > BHA。

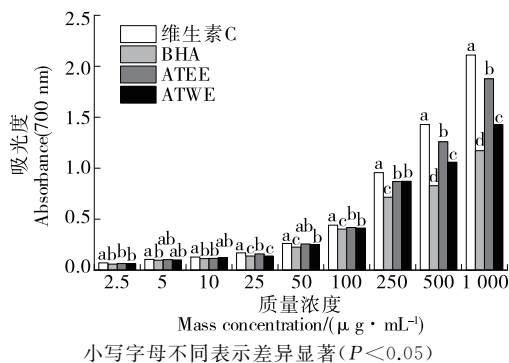


图 4 ATEE 与 ATWE 的铁还原能力

Figure 4 Ferric reducing power of ATEE and ATWE

### 2.8 抗菌性

由表 4 可知,ATEE、ATWE 以及 ATEE 的石油醚相、乙酸乙酯相和水相对变形链球菌均无抗菌活性,但对大肠杆菌均表现出良好的抑菌活性,其 MIC 值分别为 32,32,128,16,16 μg/mL。对于金黄色葡萄球菌,ATEE 及其石油醚相、乙酸乙酯相均表现出了抗菌活性,MIC 值分别为 256,256,128 μg/mL。综上,青楷槭提取物能够对大肠杆菌表现出更好的抗菌活性,整体上的抗菌活性为乙酸乙酯相 > ATEE > 石油醚相 > 石油醚相 > 水相 > ATWE,其中 ATEE 及其各级分展示出了比 ATWE 更好的抗菌活性,乙酸乙酯相相对其他提取物的抗菌活性更好,可能是因为酚类物质更集中在乙酸乙酯相中。侯妍<sup>[30]</sup>在青楷槭乙醇提取物的乙酸乙酯萃取层中分离得到 19 个化合物,其中几种成分(酪醇<sup>[31]</sup>、没食子酸甲酯<sup>[32]</sup>、没食子酸、儿茶素<sup>[33]</sup>、表儿茶素没食子酸酯<sup>[34]</sup>和槲皮素<sup>[35]</sup>等)具有一定的抑菌能力。

表 4 ATEE 与 ATWE 的 MIC<sup>†</sup>

Table 4 MIC of ATEE and ATWE μg/mL

细菌	石油醚相	乙酸乙酯相	水相	ATEE	ATWE
变形链球菌	>256	>256	>256	>256	>256
金黄色葡萄球菌	256	128	>256	256	>256
大肠杆菌	128	16	16	32	32

† >256 表示无抗菌活性。

### 3 结论

测定了青楷槭的营养成分、活性成分,并对其抗氧化和抗菌活性进行评估。结果表明:70%乙醇提取物和 100 °C 热水提取物中含有丰富的酚类物质,此外,红景天苷为青楷槭提取物中的主要成分,含量丰富。70%乙醇提取物(ATEE)和 100 °C 热水提取物(ATWE)均具有良好的自由基清除能力和还原力。其中,70%乙醇提取物表现出更好的抗氧化能力。70%乙醇提取物及其所有级分均表现出了比 100 °C 热水提取物更好的抗菌能力,其中 70%乙醇提取物乙酸乙酯相在总体上表现出最优的抗菌活性。综上,青楷槭树皮提取物具有作为天然抗氧化剂以及天然抗菌剂的良好发展潜力。后续可对青楷槭树皮中活性物质进行定性定量分析,并优化其提取工艺。

### 参考文献

[1] STEFANOVIC V, ANDERSSON S, VENTO M. Oxidative stress-related spontaneous preterm delivery challenges in causality determination, prevention and novel strategies in reduction of the sequelae[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2019, 142: 52-60.

[2] ZAVATTI V, BUDMAN H, LEGGE R L, et al. Impact of oxidative stress on protein production by Bordetella pertussis for vaccine production[J]. Biochemical Engineering Journal, 2019, 151: 107359.

- [3] 王小咪, 吕欣然, 白凤翎. 植物源性抗真菌肽研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(2): 199-204.  
WANG Xiao-mi, LU Xin-ran, BAI Feng-ling. Research progress of plant-derived antifungal peptides[J]. Food & Machinery, 2021, 37(2): 199-204.
- [4] LIM S M, LEE N K, PAIK H D. Antibacterial and anticavity activity of probiotic *Lactobacillus plantarum* 200661 isolated from fermented foods against *Streptococcus mutans* [J]. LWT, 2020, 118: 108840.
- [5] 张焯, 徐玉, 薛海, 等. 藤茶提取物对素肉丸冷藏期间脂质和蛋白质氧化的抗氧化活性影响[J]. 食品科学, 2020, 41(3): 212-217.  
ZHANG Xuan, XU Yu, XUE Hai, et al. Antioxidant activity of vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) extract on lipid and protein oxidation in vegetarian meatballs during refrigerated storage[J]. Food Science, 2020, 41(3): 212-217.
- [6] 郭娟, 张进, 王佳敏, 等. 天然抗菌剂在食品包装中的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(9): 336-346.  
GUO Juan, ZHANG Jin, WANG Jia-min, et al. Natural antibacterial agents and their application in food packaging: A review[J]. Food Science, 2021, 42(9): 336-346.
- [7] 董欣蕊, 赵英侠. 食品防腐剂在食品中应用现状分析[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(11): 139-143.  
DONG Xin-yi, ZHAO Ying-xia. Analysis of current situation of food preservatives application in food[J]. China Food Additives, 2020, 31(11): 139-143.
- [8] CHOI G E, HYUN K Y. Inhibitory effect of *Acer tegmentosum* maxim extracts on *P. gingivalis* LPS-induced periodontitis[J]. Archives of Oral Biology, 2020, 109: 104529.
- [9] 王戈戎, 夏富才, 穆怀志, 等. 青楷槭不定根形成的解剖学研究[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2018, 19(4): 453-456.  
WANG Ge-rong, XIA Fu-cai, MU Huai-zhi, et al. Anatomical structure in adventitious root formation of *Acer tegmentosum* Maxim[J]. Journal of Beihua University (Natural Science), 2018, 19(4): 453-456.
- [10] 尹雄杰, 孙明月, 徐艳, 等. 青楷槭对小鼠急性毒性及体外抗弓形虫作用研究[J]. 延边大学医学学报, 2020, 43(4): 250-253.  
YIN Xiong-jie, SUN Ming-yue, XU Yan, et al. Evaluation of acute toxicity of *Acer tegmentosum* and its anti-Toxoplasma efficacy in vitro[J]. Journal of Medical Science Yanbian University, 2020, 43(4): 250-253.
- [11] 唐雯, 王建军, 徐家星, 等. 槭树科药用植物的化学成分研究进展[J]. 北方园艺, 2012, 12(18): 194-200.  
TANG Wen, WANG Jian-jun, XU Jia-xing, et al. Advances of chemical composition of medicinal plants in Aceraceae [J]. Northern Horticulture, 2012, 12(18): 194-200.
- [12] LEE J I, HWANG I H, JANG T S, et al. Isolation and quantification of phenolic compounds in *Acer tegmentosum* by high performance liquid chromatography [J]. Bulletin of the Korean Chemical Society, 2017, 38(3): 392-396.
- [13] LEE C E, JEONG H H, CHO J A, et al. In vitro and in vivo anti-oxidative and anti-inflammatory activities of *Acer tegmentosum* Maxim extracts[J]. Journal of the Korean Society of Food Ence and Nutrition, 2017, 46(1): 1-9.
- [14] YU T, LEE J, LEE Y G, et al. In vitro and in vivo anti-inflammatory effects of ethanol extract from *Acer tegmentosum*[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 128(1): 139-147.
- [15] YANG G, AN D, LEE M H, et al. Effect of *Acer tegmentosum* bark on atopic dermatitis-like skin lesions in NC/Nga mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2016, 177: 53-60.
- [16] CHOI J H, LEE S H, PARK Y H, et al. Antioxidant and alcohol degradation activities of extracts from *Acer tegmentosum* Maxim[J]. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2013, 42(3): 378-383.
- [17] PARK H S, JO E, HAN J H, et al. Hepatoprotective effects of an *Acer tegmentosum* Maxim extract through antioxidant activity and the regulation of autophagy[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2019, 239: 111912.
- [18] 王炬, 张秀玲, 高宁, 等. 老山芹全株及其不同部位酚类物质含量及抗氧化能力分析[J]. 食品科学, 2019, 40(7): 54-59.  
WANG Ju, ZHANG Xiu-ling, GAO Ning, et al. Polyphenolic content and antioxidant capacity of whole plants and different parts of *Heracleum dissectum*[J]. Food Science, 2019, 40(7): 54-59.
- [19] LI Mei-ying, CHEN Xi-miao, DENG Jie, et al. Effect of thermal processing on free and bound phenolic compounds and antioxidant activities of hawthorn[J]. Food Chemistry, 2020, 332(1): 127429.
- [20] WU Yun-tao, HUO Yun-feng, XU Lin, et al. Purification, characterization and antioxidant activity of polysaccharides from *Porphyra haitanensis*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 165(Pt B): 2 116-2 125.
- [21] YANG Dou-dou, CHEN Yuan, GUO Feng-xia, et al. Comparative analysis of chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of leaves, leaf tea and root from *Codonopsis pilosula*[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 142: 111844.
- [22] 徐乾达, 周志强, 何强, 等. 雪松松针乙醇提取物的抗氧化活性及构效关系研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(20): 295-302.  
XU Qian-da, ZHOU Zhi-qiang, HE Qiang, et al. Antioxidant activity and structure: Activity relationship of ethanol extract from pine needle of *Cedrus deodara*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(20): 295-302.
- [23] 陈巧玲, 陈碧桑, 吴秀婷, 等. 蛋壳粉纳米银抗菌材料的制备及抑菌性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(8): 105-109.  
CHEN Qiao-ling, CHEN Bi-sang, WU Xiu-ting, et al. Preparation of eggshell-powder nanosilver and its antibacterial properties[J]. Food & Machinery, 2018, 34(8): 105-109.
- [24] KHURANA S, MATHUR P, MALHOTRA R. *Staphylococcus aureus* at an Indian tertiary hospital: Antimicrobial susceptibility and minimum inhibitory concentration (MIC) creep of antimicrobial agents[J]. Journal of Global Antimicrobial Resistance, 2019, 17: 98-102.

- [25] PARK S J, SHIN E H, KIM D H, et al. Nutrition components and physicochemical properties of *Acer termentosum* Maxim leaf[J]. *Culinary Science & Hospitality Research*, 2016, 22(8): 27-38.
- [26] HWANG Y H, PARK H, MA J Y. In vitro and in vivo safety evaluation of *Acer tegmentosum* [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2013, 148(1): 99-105.
- [27] 何丽, 涂梦欣, 黄梅, 等. 红景天苷调控 KLF4/eNOS 信号抑制 Hcy 诱导内皮一间质转化的作用[J]. *中国药理学通报*, 2021, 37(5): 681-686.
- HE Li, TU Meng-xin, HUANG Mei, et al. Salidroside inhibits endothelial-mesenchymal transition by regulating KLF4/eNOS signaling pathway[J]. *Chinese Pharmacological Bulletin*, 2021, 37(5): 681-686.
- [28] 周婧丹. 青楷槭皮、叶及果实利用工艺研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021: 2-3.
- ZHOU Jing-dan. Study on the technology of comprehensive utilization of *Acer termentosum*[D]. Haerbin: Northeast Forestry University, 2021: 2-3.
- [29] 祝顺琴, 刘万宏, 戴传云. 红景天苷生物合成的细胞与分子生物学研究进展[J]. *食品科学*, 2012, 33(3): 267-271.
- ZHU Shun-qin, LIU Wan-hong, DAI Chuan-yun. Advances in studies on cellular and molecular biology of salidroside biosynthesis[J]. *Food Science*, 2012, 33(3): 267-271.
- [30] 侯妍. 青楷槭化学成分及体内药物代谢动力学初步研究[D]. 延吉: 延边大学, 2019: 58.
- HOU Yan. Preliminary study on the chemical constituents and pharmacokinetics of *Acer termentosum* in vivo[D]. Yanji: Yanbian University, 2019: 58.
- [31] CHANG Ai-ping, SHUN Shi-wei, LI Li, et al. Tyrosol from marine Fungi, a novel Quorum sensing inhibitor against *Chromobacterium violaceum* and *Pseudomonas aeruginosa* [J]. *Bioorganic Chemistry*, 2019, 91: 103140.
- [32] 刘路洁, 夏林波, 张冉, 等. 中药五倍子中没食子酸甲酯的含量测定研究[J]. *广州化工*, 2021, 49(10): 85-86.
- LIU Lu-jie, XIA Lin-bo, ZHANG Ran, et al. Determination of methyl gallate in *Galla chinensis*[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2021, 49(10): 85-86.
- [33] DÍAZ-GÓMEZ R, LÓPEZ-SOLÍS R, OBREQUE-SLIER E, et al. Comparative antibacterial effect of gallic acid and catechin against *Helicobacter pylori*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 54(2): 331-335.
- [34] STAPLETON P D, GETTERT J, TAYLOR P W. Epicatechin gallate, a component of green tea, reduces halotolerance in *Staphylococcus aureus*[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2006, 111(3): 276-279.
- [35] 夏莹莹, 邹田德, 李硕, 等. 槲皮素的营养生理功能及其饲用化前景[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(2): 729-736.
- XIA Ying-ying, ZOU Tian-de, LI Shuo, et al. Nutritional physiology function and feeding prospects of quercetin[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(2): 729-736.
- 
- (上接第 43 页)
- [10] 毛红艳, 徐鑫, 于明. 新疆地区玉米品种营养品质主成分分析与评价[J]. *新疆农业科学*, 2018, 55(10): 1 909-1 915.
- MAO Hong-yan, XU Xin, YU Ming. Principal component analysis and evaluation of nutritional quality of maize cultivars in xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2018, 55(10): 1 909-1 915.
- [11] 牛丽影, 刘春菊, 李大婧, 等. 不同采收期鲜食玉米氨基酸变化分析[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(6): 209-214.
- NIU Li-ying, LIU Chun-ju, LI Da-jing, et al. Analysis of amino acids in fresh-edible corns harvested at different time[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(6): 209-214.
- [12] 孙志东, 孙晓秋, 赵桐, 等. 糯玉米游离氨基酸含量与品质性状相关分析[J/OL]. *吉林农业大学学报*. (2021-04-21)[2021-04-25]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1100.S.20210421.1105.004.html>.
- SUN Zhi-dong, SUN Xiao-qiu, ZHAO Tong, et al. Correlation analysis of amino acid content and quality characters of waxy corn[J/OL]. *Journal of Jilin Agricultural University*. (2021-04-21)[2021-04-25]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1100.S.20210421.1105.004.html>.
- [13] 陈超, 唐洁, 姜涛, 等. 不同类型玉米氨基酸组成及含量的比较分析[J]. *粮食储藏*, 2020, 49(4): 38-41.
- CHEN Chao, TANG Jie, JIANG Tao, et al. Comparative analysis of amino acid composition and content in different maize[J]. *Grain Storage*, 2020, 49(4): 38-41.
- [14] 牛丽影, 李大婧, 刘春泉, 等. 鲜食玉米发育过程中游离糖和氨基酸变化[J]. *食品科学*, 2020, 41(16): 165-172.
- NIU Li-ying, LI Da-jing, LIU Chun-quan, et al. Changes of free sugars and amino acids in table corn during development[J]. *Food Science*, 2020, 41(16): 165-172.
- [15] 姬玉梅, 赵丽维. 玉米自交系游离氨基酸 HPLC 测定与分析[J]. *浙江农业学报*, 2011, 23(4): 651-654.
- JI Yu-mei, ZHAO Li-wei. Detection and analysis of free amino acids in main maize inbred lines by HPLC method[J]. *Acta Agricultrae Zhejiangensis*, 2011, 23(4): 651-654.
- [16] 荆瑞勇, 卫佳琪, 王丽艳, 等. 基于主成分分析的不同水稻品种品质综合评价[J]. *食品科学*, 2020, 41(24): 179-184.
- JING Rui-yong, WEI Jia-qi, WANG Li-yan, et al. Comprehensive quality evaluation of different rice varieties based on principal component analysis[J]. *Food Science*, 2020, 41(24): 179-184.
- [17] 王丽艳, 荆瑞勇, 郭永霞, 等. 基于氨基酸含量的市售 14 种食用蘑菇的综合评价[J]. *食品科学*, 2021, 42(16): 203-208.
- WANG Li-yan, JING Rui-yong, GUO Yong-xia, et al. Comprehensive evaluation of 14 mushroom species from market based on amino acid content[J]. *Food Science*, 2021, 42(16): 203-208.
- [18] 王丽艳, 王鑫淼, 荆瑞勇, 等. 同品种亚麻籽营养成分分析与品质综合评价[J]. *食品与机械*, 2021, 37(7): 26-32.
- WANG Li-yan, WANG Xin-miao, JING Rui-yong, et al. Comprehensive quality evaluation and analysis of nutrition components of various flaxseed[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(7): 26-32.