

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.60083

# 植物乳杆菌发酵金线莲工艺优化 及抗氧化活性研究

王琼珺<sup>1,2</sup> 林泽燕<sup>1,2</sup> 林燕燕<sup>2</sup> 章倩<sup>2</sup> 林艺华<sup>1</sup> 付达华<sup>2</sup>

(1. 漳州卫生职业学院, 福建 漳州 363000; 2. 漳州卫生职业学院海洋天然产物与活性研究实验室, 福建 漳州 363000)

**摘要:** [目的] 分析植物乳杆菌发酵金线莲工艺及抗氧化活性。[方法] 以金线莲为原料, 植物乳杆菌 191046 为发酵菌种, 金线莲多糖含量为评价指标, 通过单因素试验结合响应面法优化金线莲发酵工艺, 并评价其体外抗氧化活性。[结果] 金线莲的最佳发酵工艺条件为植物乳杆菌接种量 4.50 g/L、发酵时间 17 h、发酵温度 36 °C, 此时金线莲发酵液中多糖含量为 (24.84±0.05) mg/mL。该发酵液总抗氧化能力为 (8.67±0.85) U/mL, 羟自由基清除率为 (96.11±0.90)%; 2 倍稀释液的超氧阴离子自由基清除率为 (28.03±2.00)%, DPPH 自由基清除率可达 (86.13±0.17)%。[结论] 金线莲经植物乳杆菌 191046 发酵后, 其抗氧化活性良好。

**关键词:** 金线莲; 植物乳杆菌 191046; 发酵液; 多糖; 抗氧化活性

## Optimization of fermentation process of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl by *Lactobacillus plantarum* and antioxidant activity of fermentation broth

WANG Qiongjun<sup>1,2</sup> LIN Zeyan<sup>1,2</sup> LIN Yanyan<sup>2</sup> ZHANG Qian<sup>2</sup> LIN Yihua<sup>1</sup> FU Dahua<sup>2</sup>

(1. Zhangzhou Health Vocational College, Zhangzhou, Fujian 363000, China; 2. Laboratory of Marine Natural Products and Activity Research, Zhangzhou Health Vocational College, Zhangzhou, Fujian 363000, China)

**Abstract:** [Objective] To analyze the fermentation process and antioxidant activity of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl using *Lactobacillus plantarum* 191046. [Methods] *A. roxburghii* was used as the raw material, and *L. plantarum* 191046 was used as the fermentation strain. The polysaccharide content of *A. roxburghii* was used as the evaluation index. The fermentation process was optimized by single-factor experiments combined with response surface methodology, and its *in vitro* antioxidant activity was assessed. [Results] The optimal fermentation conditions for *A. roxburghii* were as follows: *L. plantarum* inoculum of 4.50 g/L, fermentation time of 17 h, and fermentation temperature of 36 °C. Under these conditions, the polysaccharide content of the fermentation liquid was (24.84±0.05) mg/mL. The total antioxidant capacity was (8.67±0.85) U/mL, the hydroxyl radical scavenging rate was (96.11±0.90)%, the superoxide anion radical scavenging rate for a two-fold dilution was (28.03±2.00)%, and the DPPH radical scavenging rate was (86.13±0.17)%. [Conclusion] The fermentation of *A. roxburghii* with *L. plantarum* 191046 resulted in good antioxidant activity.

**Keywords:** *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl; *Lactobacillus plantarum* 191046; fermentation liquid; polysaccharides; antioxidant activity

金线莲 (*Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl)<sup>[1]</sup> 为 功效, 是常用的药食同源植物, 在闽、粤、台及东南亚等地国家二级保护植物, 具有丰富的营养价值和显著的药用 区被广泛应用。2022 年金线莲被列入福建省传统地方特

**基金项目:** 漳州卫生职业学院高学历人才专项 (编号: ZWYGXL202301); 漳州卫生职业学院科技创新团队培育计划项目 (编号: Kjcx-08); 漳州市自然科学基金 (编号: ZZ2020J07); 第三批国家级职业教育教师创新团队项目 (编号: 教师函〔2023〕9 号)

**通信作者:** 林泽燕 (1980—), 女, 漳州卫生职业学院副教授, 博士。E-mail: linsser@126.com

林艺华 (1982—), 女, 漳州卫生职业学院副教授, 硕士。E-mail: 630372695@qq.com

**收稿日期:** 2024-09-02 **改回日期:** 2024-12-26

**引用格式:** 王琼珺, 林泽燕, 林燕燕, 等. 植物乳杆菌发酵金线莲工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2025, 41(6): 196-202.

**Citation:** WANG Qiongjun, LIN Zeyan, LIN Yanyan, et al. Optimization of fermentation process of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl by *Lactobacillus plantarum* and antioxidant activity of fermentation broth[J]. Food & Machinery, 2025, 41(6): 196-202.

色食品管理<sup>[2]</sup>。金线莲富含多种有效成分,其中金线莲多糖在保健功能方面备受关注<sup>[3-5]</sup>,具有抗氧化<sup>[6-8]</sup>、抗衰老<sup>[9]</sup>、抗肿瘤活性<sup>[10]</sup>、增强免疫力<sup>[11-12]</sup>、降血糖<sup>[13-14]</sup>、治疗类风湿性关节炎<sup>[15]</sup>等功效。

常见的金线莲多糖提取方法主要有超声提取法、热水回流提取法和生物酶解法等。超声提取法是利用“空化效应”加速植物细胞壁的破裂,提高目标成分提取率<sup>[16-17]</sup>,被广泛应用于实验室中<sup>[18-19]</sup>,但在工业化生产中的应用尚未成熟<sup>[20]</sup>;利用热水回流提取法提取金线莲多糖,升高温度可提高其提取率,但同时也会影响金线莲的抗氧化能力<sup>[21]</sup>;应用生物酶解提取金线莲多糖<sup>[22]</sup>,具有反应特异性强,提取时间短等特点,但酶解受温度等其他条件影响较大且生产成本较高<sup>[23]</sup>。

发酵法可利用微生物生长过程中自身或分泌出来的酶消化细胞壁,促进有效物质溶出或者完成物质转化,获取更多的活性成分<sup>[24-25]</sup>。目前,有关金线莲发酵工艺及其活性影响的研究较少<sup>[26]</sup>,而应用微生物发酵法提取金线莲多糖的研究尚未见报道。研究拟以多糖含量为指标,通过单因素试验和响应面法优化金线莲发酵工艺参数,并对发酵液的抗氧化活性进行测定,以期为金线莲的深加工和衍生产品开发提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

金线莲 *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl 全草:漳州市南靖县草本养生生物科技有限公司;

植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*) BNCC191046:北京北纳创联生物技术研究院;

无水葡萄糖、L-抗坏血酸(维生素C)、1,1-二苯基-2-三硝基苯胍(DPPH):北京索莱宝科技有限公司;

0.22 μm 滤膜:无锡耐思生命科技股份有限公司;

浓硫酸、苯酚、无水乙醇等:分析纯,汕头市西陇化工股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

电子天平:CP512型,奥豪斯仪器(常州)有限公司;

单人单面超净工作台:SW-CJ-2D型,苏净安泰空气技术有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-2系列,国华(常州)仪器制造有限公司;

振荡培养箱:ZHLY-180型,上海知楚仪器有限公司;

离心机:TDZ5-WS型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

紫外分光光度计:TU-1901型,北京普析通用仪器有限责任公司;

全波长酶标仪:Multiskan SkyHigh型,美国赛默飞世尔科技公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 菌种培养 植物乳杆菌菌株经MRS琼脂培养基于37℃培养箱复苏后,挑取单菌落,经MRS液体培养基37℃培养24h,离心去上清液,得到菌体,真空干燥。

1.3.2 金线莲发酵液的制备 参考文献[27]并修改。取适量金线莲全草,快速清洗,烘干,磨粉备用。精确称取金线莲粉末2g,加入100mL无菌水,接入植物乳杆菌,于培养箱中震荡培养,离心,取上清液,0.22 μm微孔滤膜过滤,全程为无菌操作。

1.3.3 多糖含量测定 吸取1mL金线莲发酵液,加入4倍体积无水乙醇,静置过夜,5000 r/min离心,去上清液,沉淀用双蒸水复溶,根据标准曲线计算多糖含量。

1.3.4 金线莲发酵液制备单因素试验 参考文献[27-28]并修改。

(1) 菌种接种量:固定发酵温度30℃、发酵时间15h,考察植物乳杆菌接种量(1.25, 2.50, 3.75, 5.00, 6.25, 7.50, 8.75 g/L)对金线莲发酵液中多糖含量的影响。

(2) 发酵时间:固定植物乳杆菌接种量5.00 g/L、发酵温度30℃,考察发酵时间(6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 h)对金线莲发酵液中多糖含量的影响。

(3) 发酵温度:固定植物乳杆菌接种量5.00 g/L、发酵时间15h,考察发酵温度(20, 25, 30, 35, 40℃)对金线莲发酵液中多糖含量的影响。

1.3.5 响应面试验 依据单因素试验结果,以金线莲多糖含量作为响应值,植物乳杆菌接种量、发酵时间、发酵温度为变量设计响应面试验<sup>[29]</sup>。

### 1.3.6 金线莲发酵液抗氧化活性

(1) 总抗氧化能力:根据文献[30],按式(1)计算总抗氧化能力。

$$A_{TAOC} = \frac{(\Delta A' - b) \times V_{反总}}{k \times V_{样}}, \quad (1)$$

式中:

$A_{TAOC}$ ——总抗氧化能力, U/mL;

$\Delta A'$ ——测定孔吸光度值与对照孔吸光度值的差值;

$V_{反总}$ ——反应总体积, μL;

$V_{样}$ ——反应中样品体积, μL。

(2) 羟自由基清除率:预热30 min,精密吸取金线莲发酵液50 μL,进行显色反应,按式(2)计算金线莲发酵液羟自由基清除率。

$$R_{HRSC} = \frac{A_{样品} - A_{对照}}{A_{空白} - A_{对照}} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

$R_{HRSC}$ ——羟自由基清除率, %;

$A_{样品}$ ——样品溶液吸光度值;

$A_{对照}$ ——对照品溶液吸光度值;

$A_{空白}$ ——加蒸馏水为空白的吸光度值。

(3) 超氧阴离子自由基清除率:采用黄嘌呤氧化酶法,吸取金线莲发酵液稀释液 20 μL 进行反应,双蒸水调零,测定 530 nm 处吸光度值。按式(3)计算超氧阴离子自由基清除率。

$$R_{SRSA} = \frac{A_{\text{对照}} - A_{\text{样品}}}{A_{\text{对照}}} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

$R_{SRSA}$ ——超氧阴离子自由基清除率,%;

$A_{\text{对照}}$ ——对照品溶液的吸光度值;

$A_{\text{样品}}$ ——样品溶液吸光度值。

(4) DPPH 自由基清除率:样品溶液与 DPPH 试剂等体积混合,避光反应 30 min,测定 517 nm 处吸光度值,用无水乙醇代替对照溶剂,0.05 mg/mL 维生素 C 溶液为阳性对照。按式(4)计算 DPPH 自由基清除率。

$$R_{DPPH} = \left(1 - \frac{A_{\text{样品}} - A_{\text{空白}}}{A_{\text{对照}}}\right) \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

$R_{DPPH}$ ——DPPH 自由基清除率,%;

$A_{\text{样品}}$ ——样品溶液与 DPPH 液的吸光度值;

$A_{\text{对照}}$ ——样品溶液与无水乙醇混合液的吸光度值;

$A_{\text{空白}}$ ——DPPH 与无水乙醇混合液的吸光度值。

#### 1.4 数据处理

所有样品进行 3 次平行试验,采用 SPSS 20、Origin 8.0 和 Design-Expert 8.06 软件对数据进行分析及绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验

由图 1(a)可知,植物乳杆菌接种量对金线莲多糖含量的影响呈先升后降趋势,当接种量为 5.00 g/L 时,金线莲发酵液中多糖含量达(25.60±1.30) mg/mL,之后逐渐减少。其原因可能是随着菌体数量增加,菌体开始以多糖等有机物为碳源,导致多糖被逐渐消耗<sup>[31]</sup>。因此,选择植物乳杆菌接种量 5.00 g/L 较为适宜。

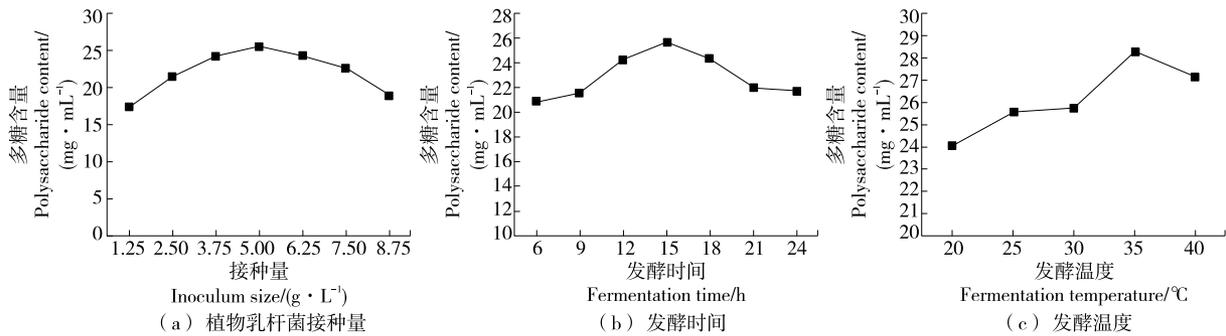


图 1 各因素对金线莲发酵液多糖含量的影响

Figure 1 Effect of factors on polysaccharide content in *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl fermentation liquid

由图 1(b)可知,金线莲发酵液中的多糖含量在 15 h 时达到最高值,为(25.59±1.30) mg/mL,之后继续延长发酵时间,多糖含量反而降低,21 h 后趋于平稳。发酵初始,提取液中多糖含量较少,初期营养充足,微生物活跃,提取液中多糖含量随发酵时间的延长而增加;发酵时间超过 15 h 后,多糖逐渐被乳杆菌消耗,或原料中其他高分子化合物被提取出来,得率反而下降<sup>[32]</sup>。因此,发酵时间定为 15 h。

由图 1(c)可知,发酵温度对金线莲多糖含量的影响较明显,随着发酵温度的上升,多糖含量上升,在 35 °C 时达到最高值,为(28.24±0.94) mg/mL;随后多糖含量逐渐降低。其原因可能是随着温度的逐渐升高,菌体生长受到抑制,与钟灿等<sup>[32]</sup>的研究结果一致。因此,金线莲较适宜发酵温度为 35 °C。

## 2.2 响应面试验

2.2.1 响应面试验设计与结果 根据单因素试验结果,以多糖含量为响应值进行响应面试验,试验因素水平见表 1,试验设计及结果见表 2。

表 1 金线莲发酵液制备编码因素和水平

Table 1 Factors and levels of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl fermentation liquid

水平	A 植物乳杆菌接种量/(g · L <sup>-1</sup> )	B 发酵时间/h	C 发酵温度/°C
-1	3.75	12	30
0	5.00	15	35
1	6.25	18	40

2.2.2 回归模型建立及方差分析 通过对表 2 中的数据点进行回归拟合,得到多糖含量的回归模型方程为:

$$Y = 27.33 + 1.24A - 0.55B - 1.76C - AB + 0.28AC + 0.38BC - 1.06A^2 - 2.29B^2 - 5.06C^2. \quad (5)$$

由表 3 可知,该模型显著( $P < 0.01$ ),回归模型方程因变量与自变量之间的线性关系明显,该模型差异显著;失拟项不显著( $P > 0.05$ ),模型的适配度高达 98.72%,说明模型预测值与实际误差值较小,表明该模型可有效预测

表2 发酵工艺响应面试验结果

Table 2 Response surface methodology outcomes for optimizing the fermentation process

试验号	A	B	C	Y多糖含量/(mg·mL <sup>-1</sup> )
1	1	1	0	23.46
2	1	0	-1	24.47
3	0	0	0	28.01
4	-1	-1	0	19.73
5	0	0	0	27.12
6	0	-1	1	18.72
7	-1	0	1	17.39
8	0	-1	-1	22.51
9	-1	0	-1	21.94
10	-1	1	0	23.59
11	0	1	1	18.21
12	1	-1	0	26.37
13	0	0	0	26.87
14	0	1	-1	20.49
15	1	0	1	21.04

表3 发酵工艺响应面方差分析†

Table 3 Response surface analysis of variance for fermentation process

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	153.24	9	17.03	42.69	0.000 3	**
A	12.25	1	12.25	30.71	0.002 6	**
B	2.38	1	2.38	5.97	0.058 4	
C	24.64	1	24.64	61.77	0.000 5	**
AB	3.99	1	3.99	10.00	0.025 0	*
AC	0.31	1	0.31	0.78	0.418 3	
BC	0.58	1	0.58	1.45	0.283 0	
A <sup>2</sup>	4.17	1	4.17	10.45	0.023 1	*
B <sup>2</sup>	19.34	1	19.34	48.50	0.000 9	**
C <sup>2</sup>	94.61	1	94.61	237.19	<0.000 1	**
残差	1.99	5	0.40			
失拟项	1.27	3	0.42	1.17	0.491 9	
纯误差	0.72	2	0.36			
总回归	155.24	14				

† “\*\*”表示差异极显著(P<0.01);“\*”表示差异显著(P<0.05)。

发酵工艺条件对金线莲多糖含量的影响。交互项AB显著(P<0.05),说明植物乳杆菌接种量和发酵时间的相互作用关系强;二次项B<sup>2</sup>、C<sup>2</sup>极显著(P<0.01)。由F值可知,各因素对金线莲多糖含量影响顺序为发酵温度>植

物乳杆菌接种量>发酵时间。

2.2.3 响应面因素交互作用分析 由图2可知,各响应曲面开口均指向下方,验证了所设定的工艺参数水平范围的科学性与合理性。交互项AB的等高线展现出清晰的椭圆形特征,表明植物乳杆菌接种量与发酵时间之间的

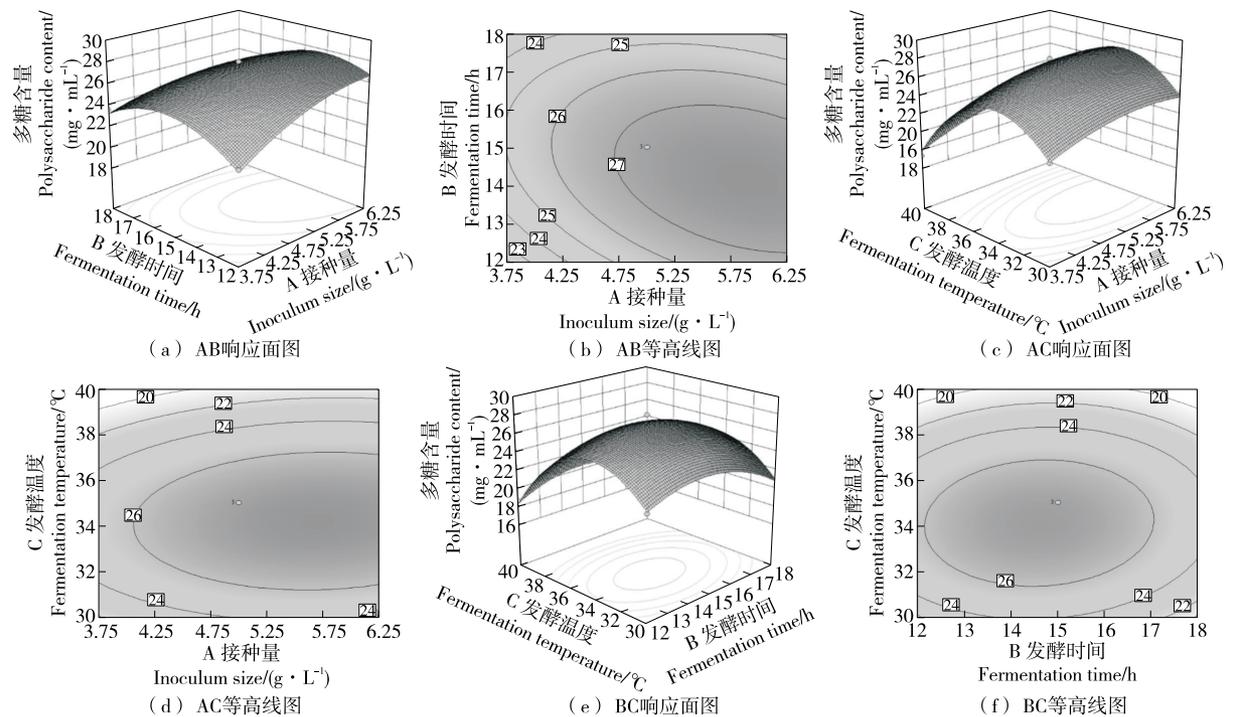


图2 响应曲面图与等高线图

Figure 2 Response surface and contour lines

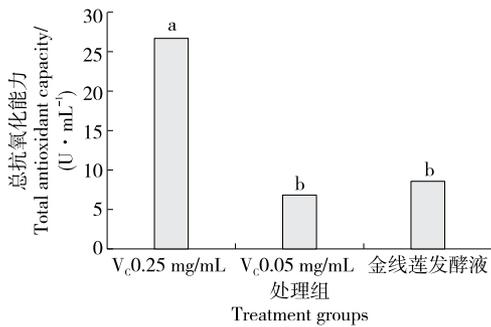
交互效应对金线莲发酵液多糖含量具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 优选工艺条件验证实验

利用响应面设计软件进行分析,确定发酵法提取金线莲多糖的理论最优条件为植物乳杆菌接种量 4.50 g/L,发酵时间 17.07 h,发酵温度 36.01 °C。在此条件下,通过回归方程计算金线莲发酵液多糖含量为 24.95 mg/mL。结合实际操作可行性,将最佳发酵工艺参数调整为植物乳杆菌接种量 4.50 g/L,发酵时间 17 h,发酵温度 36 °C,按此工艺条件进行 3 次平行验证实验,测得多糖含量为 (24.84±0.05) mg/mL,与预测值接近 ( $P > 0.05$ ),表明该模型有效可靠。

### 2.4 金线莲发酵液的抗氧化活性

2.4.1 总抗氧化能力 由图 3 可知,金线莲发酵液的总抗氧化能力为 (8.67±0.85) U/mL,与 0.25 mg/mL 维生素 C 溶液的差异显著 ( $P < 0.05$ ),与 0.05 mg/mL 维生素 C 溶液的无显著差异,说明金线莲发酵液的总抗氧化能力与 0.05 mg/mL 维生素 C 溶液的相当。



字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

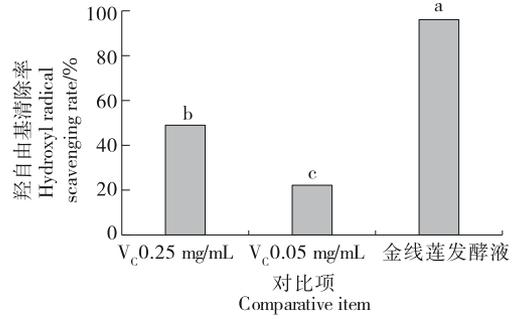
图 3 金线莲发酵液的总抗氧化能力

Figure 3 Total antioxidant capacity of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl fermentation liquid

2.4.2 羟自由基清除能力 由图 4 可知,金线莲发酵液的羟自由基清除率为 (96.11±0.90)%,优于 0.25 mg/mL 维生素 C 溶液的 ( $P < 0.05$ )。

2.4.3 超氧阴离子自由基清除能力 由图 5 可知,将原液稀释 2 倍后,金线莲发酵液的超氧阴离子自由基清除率为 (28.03±2.00)%,与 0.25, 0.05 mg/mL 维生素 C 溶液的差异显著 ( $P < 0.05$ ),表明金线莲发酵液稀释 2 倍后其超氧阴离子自由基清除能力介于 0.25 和 0.05 mg/mL 维生素 C 溶液之间。

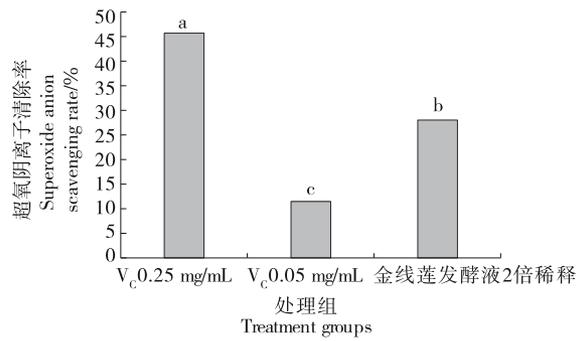
2.4.4 DPPH 自由基清除能力 由图 6 可知,金线莲发酵液稀释 2 倍后,对 DPPH 自由基的清除率为 (86.13±0.17)%,与 0.05 mg/mL 维生素 C 溶液的无显著性差异。随着稀释倍数的增加,DPPH 自由基清除率有所降低,4 倍稀释液清除率为 (84.96±0.03)%,与 2 倍稀释液的差异不



字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 4 金线莲发酵液的羟自由基清除能力

Figure 4 Hydroxyl radical scavenging activity of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl fermentation liquid

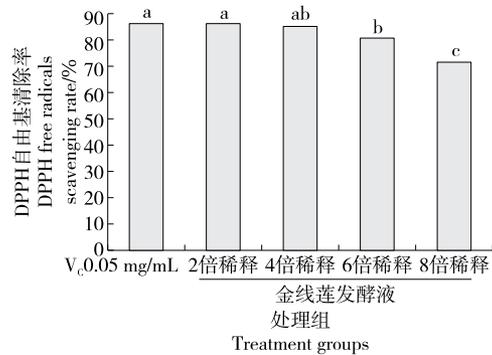


字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 5 金线莲发酵液的超氧阴离子自由基清除能力

Figure 5 Superoxide anion clearance rate of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl fermentation liquid

显著 ( $P > 0.05$ ); 6 倍稀释液的清除率为 (80.59±0.40)%,与 4 倍稀释液的差异不显著 ( $P > 0.05$ ),但与 2 倍稀释液的差异显著 ( $P < 0.05$ ); 8 倍稀释液的清除率虽与 6 倍稀释液的差异显著但仍高达 (71.37±0.42)%,说明金线莲发酵液



字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 6 金线莲发酵液的 DPPH 自由基清除能力

Figure 6 DPPH scavenging activity of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl fermentation liquid

及其稀释液具有较好的清除 DPPH 自由基的能力。

### 3 结论

植物乳杆菌发酵金线莲的最佳工艺条件为植物乳杆菌接种量 4.50 g/L, 发酵时间 17 h, 发酵温度 36 °C。该条件下, 金线莲发酵液中多糖含量为 (24.84±0.05) mg/mL。抗氧化试验结果表明, 金线莲发酵液的总抗氧化能力、羟自由基清除率、超氧阴离子自由基清除率均较好, 说明金线莲经过优选工艺发酵后具有良好的抗氧化活性。后续将对金线莲发酵液中的物质组成及含量进行研究, 并进一步阐述其构效关系, 以保证金线莲醇素的品质。

#### 参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 220.  
Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China[M]. Beijing: Science Press, 1999: 220.
- [2] 福建省卫生健康委员会通告. 关于《福建省食品安全地方标准金线莲》(DBS35/006-2022)《福建省食品安全地方标准佛跳墙》(DBS35/007-2022)的通告(2022年69号)[EB/OL]. (2022-06-03) [2024-07-03]. [https://wjw.fj.gov.cn/xxgk/fgwj/zxwj/202206/t20220609\\_5927575.htm](https://wjw.fj.gov.cn/xxgk/fgwj/zxwj/202206/t20220609_5927575.htm).  
Circular of Fujian Provincial Health Commission Fujian Provincial Health Commission. Notice on the "Fujian Provincial food safety local standard" (DBS35/006-2022) and "Fujian provincial food safety local standard buddha jumping wall" (DBS35/007-2022) (No. 69 of 2022) [EB/OL]. (2022-06-03) [2024-07-03]. [https://wjw.fj.gov.cn/xxgk/fgwj/zxwj/202206/t20220609\\_5927575.htm](https://wjw.fj.gov.cn/xxgk/fgwj/zxwj/202206/t20220609_5927575.htm).
- [3] 王勇, 陈硕, 卢端萍, 等. 金线莲化学成分的研究[J]. 中草药, 2017, 48(13): 2 619-2 624.  
WANG Y, CHEN S, LU D P, et al. Chemical constituents of *Anoectochilus roxburghii*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2017, 48(13): 2 619-2 624.
- [4] 钱丽萍, 李唯, 彭华毅, 等. 金线莲化学成分的研究[J]. 中国医药科学, 2021, 11(15): 73-76.  
QIAN L P, LI W, PENG H Y, et al. Research on chemical constituents of *Anoectochilus roxburghii*[J]. China Medicine and Pharmacy, 2021, 11(15): 73-76.
- [5] 许梦粤, 曾长立, 王红波. 药食同源植物多糖提取方法、结构解析和生物活性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(19): 216-224.  
XU M Y, ZENG C L, WANG H B. Advances in extraction method, structural analysis and bioactivity of polysaccharides from medicinal and edible homologous plants[J]. Food Research and Development, 2023, 44(19): 216-224.
- [6] 赵丹洁, 唐鹏, 田冬梅, 等. 金线莲多糖纯化工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 116-123.  
ZHAO D J, TANG P, TIAN D M, et al. Study on purification technology and antioxidant activity of polysaccharides from *Anoectochilus roxburghii*[J]. Food Research and Development, 2021, 42(20): 116-123.
- [7] 黄琼, 谢向机. 金线莲多糖提取工艺优化及其体外抗氧化活性研究[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2023, 41(3): 36-44.  
HUANG Q, XIE X J. Optimization of extraction process and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharide from *Anoectochilus roxburghii*[J]. Journal of Foshan University (Natural Science Edition), 2023, 41(3): 36-44.
- [8] QIU Y, SONG W B, YANG Y, et al. Isolation, structural and bioactivities of polysaccharides from *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl.: a review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 236: 123883.
- [9] 曾芷筠, 陈强威, 江涛, 等. 金线莲乙醇提取物对自然衰老小鼠衰老作用的研究[J]. 中药材, 2020, 43(5): 1 200-1 204.  
ZENG Z Y, CHEN Q W, JIANG T, et al. Study on the anti-aging effect of ethanol extract from *Anoectochilus roxburghii* in senescent mice[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2020, 43(5): 1 200-1 204.
- [10] YU X L, LIN S E, ZHANG J Q, et al. Purification of polysaccharide from artificially cultivated *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl. by high-speed counter current chromatography and its antitumor activity[J]. Journal of Separation Science, 2017, 40(22): 4 338-4 346.
- [11] 张政. 金线莲水溶性多糖的结构及其免疫活性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2021: 90-101.  
ZHANG Z. Study on structure and immune activity of water soluble polysaccharide from *Anoectochilus roxburghii*[D]. Nanchang: Nanchang University, 2021: 90-101.
- [12] YU X L, HUANG L Y, YOU C, et al. Hepatoprotective effects of polysaccharide from *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl. on rat liver injury induced by CCl<sub>4</sub>[J]. Drug Design, Development and Therapy, 2021, 15: 2 885-2 897.
- [13] 唐婷婷. 金线莲多糖的分离纯化、结构鉴定及抗糖尿病活性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2020: 18-20.  
TANG T T. Study on the purification, structural characterization and anti-diabetic activity of polysaccharide extracted from *Anoectochilus roxburghii*[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2020: 18-20.
- [14] LIU Y T, TANG T T, DUAN S Q, et al. The purification, structural characterization and antidiabetic activity of a polysaccharide from *Anoectochilus roxburghii*[J]. Food & Function, 2020, 11(4): 3 730-3 740.
- [15] GUO Y L, YE Q, YANG S L, et al. Therapeutic effects of polysaccharides from *Anoectochilus roxburghii* on type II collagen-induced arthritis in rats[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 122: 882-892.
- [16] 汤须崇, 刘希敏, 卢绍基, 等. 响应面法优化超声辅助提取金线莲多糖工艺研究[J]. 广州化工, 2020, 48(15): 95-100.  
TANG X C, LIU X M, LU S J, et al. Optimization of ultrasonic assisted extraction of polysaccharides from

- Anoectochilus Roxburghii* (Wall.) Lindl by response surface methodology[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2020, 48(15): 95-100.
- [17] 张松柏, 张勋, 许文, 等. 金线莲多糖的提取优化与纯化[J]. 药学实践杂志, 2020, 38(4): 354-358, 382.  
ZHANG S B, ZHANG X, XU W, et al. Optimization and purification of extraction of polysaccharides from *Anoectochilus roxburghii*[J]. Journal of Pharmaceutical Practice and Service, 2020, 38(4): 354-358, 382.
- [18] 肖付才, 李颖奎, 黄斐, 等. 山茱萸多糖提取工艺优化及结构表征[J]. 食品与机械, 2024, 40(2): 161-167.  
XIAO F C, LI Y K, HUANG F, et al. Optimization of extraction process and structural characterization of polysaccharides from *Cornus officinalis*[J]. Food & Machinery, 2024, 40(2): 161-167.
- [19] 张秋红. 超声细胞破碎仪辅助提取桑葚多糖及其抗氧化性分析[J]. 食品与机械, 2022, 38(6): 168-172.  
ZHANG Q H. Extraction of mulberry polysaccharide by ultrasonic cell crusher-assisting and its antioxidant activity analysis[J]. Food & Machinery, 2022, 38(6): 168-172.
- [20] 冯飞, 葛永杰, 代容, 等. 超声波辅助提取技术研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(4): 239-243.  
FENG F, GE Y J, DAI R, et al. Research progress of ultrasonic assisted extraction technology[J]. The Food Industry, 2022, 43(4): 239-243.
- [21] 马黄璜, 郭晓芳, 张增弟, 等. 不同提取方式对金线莲多糖含量及 DPPH 自由基清除活性的影响[J]. 海峡药学, 2020, 32(1): 34-36.  
MA H H, GUO X F, ZHANG Z D, et al. Effects of different extraction methods on polysaccharide content and DPPH free radical scavenging activity of *Anoectochilus roxburghii*[J]. Strait Pharmaceutical Journal, 2020, 32(1): 34-36.
- [22] 林艺华, 肖海英, 林姿羽, 等. 纤维素酶提取南靖金线莲多糖的工艺优化[J]. 福建分析测试, 2023, 32(1): 54-58.  
LIN Y H, XIAO H Y, LIN Z Y, et al. Optimization of cellulase extraction technology of polysaccharides from Nanjing *Anoectochilus roxburghii*[J]. Fujian Analysis & Testing, 2023, 32(1): 54-58.
- [23] 董宇, 林翰清, 缪松, 等. 酶法提取多糖的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 351-358.  
DONG Y, LIN H Q, MIAO S, et al. Advances in enzymatic extraction of polysaccharides[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(3): 351-358.
- [24] 刘海春, 胡晨旭, 王家明, 等. 药食同源组方联合益生菌对免疫低下小鼠的免疫增强作用[J]. 现代食品科技, 2023, 39(2): 119-124.  
LIU H C, HU C X, WANG J M, et al. The immune-enhancing effect of drug-food homologous prescription combined with probiotics on immunocompromised mice[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 119-124.
- [25] 屈青松, 李智勋, 周晴, 等. 发酵中药的研究进展及其“发酵配伍”理论探索[J]. 中草药, 2023, 54(7): 2 262-2 273.  
QU Q S, LI Z X, ZHOU Q, et al. Research progress on fermented traditional Chinese medicine and its theoretical exploration of "fermentation compatibility"[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(7): 2 262-2 273.
- [26] 陈来成, 陈冬杰, 邹洁, 等. 金线莲发酵液的抗氧化和美白功效研究[J]. 日用化学工业(中英文), 2024, 54(6): 656-662.  
CHEN L C, CHEN D J, ZOU J, et al. Study on antioxidant and whitening effects of *Anoectochilus roxburghii* fermentation broth[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2024, 54(6): 656-662.
- [27] 卢世凤, 尹琳琳, 汪暄妍, 等. 植物乳杆菌发酵草莓果浆工艺优化及抗氧化特性变化[J]. 辽宁科技大学学报, 2022, 45(2): 154-160.  
LU S F, YIN L L, WANG X Y, et al. Process optimization and antioxidant properties change of *Lactobacillus plantarum* fermented strawberry pulp[J]. Journal of University of Science and Technology Liaoning, 2022, 45(2): 154-160.
- [28] 吴德光, 邓学聪, 胡智慧, 等. 植物乳杆菌发酵桑葚酵素工艺优化及质量评价[J]. 食品与机械, 2023, 39(11): 198-203.  
WU D G, DENG X C, HU Z H, et al. Optimization of fermentation process and quality evaluation of *Mulberry* Jiaosu from *Lactobacillus plantarum*[J]. Food & Machinery, 2023, 39(11): 198-203.
- [29] 陆步诗, 王婧璇, 李新社, 等. 多菌协同发酵生产低醇玉米芯饮品的工艺研究[J]. 邵阳学院学报(自然科学版), 2022, 19(1): 64-72.  
LU B S, WANG J X, LI X S, et al. Study on the preparation technology of low-alcohol corncob beverage by multi-bacteria co-fermentation[J]. Journal of Shaoyang University (Natural Science Edition), 2022, 19(1): 64-72.
- [30] 王琼珺, 林泽燕, 林燕燕, 等. 响应面法优化凤柜斗草发酵工艺及抗氧化活性分析[J]. 中国酿造, 2023, 42(12): 226-231.  
WANG Q J, LIN Z Y, LIN Y Y, et al. Optimization of fermentation process by response surface methodology and antioxidant activity analysis of *Sarcopyramis nepalensis*[J]. China Brewing, 2023, 42(12): 226-231.
- [31] 胡楠楠, 亓伟华, 尤丽新, 等. 玉米须多糖发酵工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国酿造, 2022, 41(10): 159-164.  
HU N N, QI W H, YOU L X, et al. Optimization of fermentation technology and antioxidant activity of *Stigma maydis* polysaccharide [J]. China Brewing, 2022, 41(10): 159-164.
- [32] 钟灿, 劳嘉, 周馨, 等. 植物乳杆菌发酵黄精水提液工艺优化及活性物质变化研究[J]. 现代食品, 2023, 29(17): 101-105.  
ZHONG C, LAO J, ZHOU X, et al. Optimization of *Lactobacillus plantarum* fermentation of *Polygonati rhizoma* and analysis of its active components[J]. Modern Food, 2023, 29(17): 101-105.