

# 成胶条件对魔芋热不可逆凝胶持水性的影响研究

乔慧娟, 杨大伟\*

湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2025年6月17日; 录用日期: 2025年7月11日; 发布日期: 2025年7月23日

## 摘要

为了研究料液比、凝胶厚度和成胶温度等因素对魔芋热不可逆凝胶持水性的影响,以持水率为试验指标,在单因素试验基础上进行了响应面试验设计,研究了各因素及其交互作用对凝胶持水率的影响,并获得最优成胶条件。研究表明,成胶条件中料液比对凝胶持水性影响最为显著,过大或过小的料液比都会降低凝胶持水率,凝胶的持水性变差;凝胶厚度太薄或太厚都会降低凝胶持水率,使持水性变弱;成胶温度太低会使凝胶结构不完整,而温度太高会导致凝胶结构破坏,都会降低凝胶持水率,使持水性变差。最佳成胶条件为:料液比1:22 (g:g)、凝胶厚度8 mm、成胶温度83℃,在此条件下凝胶持水率为91.4%。本文的研究结果对魔芋热不可逆凝胶的结构稳定性研究具有一定参考价值,为生产过程中提高凝胶品质提供技术支持。

## 关键词

魔芋, 热不可逆凝胶, 成胶条件, 持水性, 响应面设计

# Study on the Effect of Gelation Conditions on the Water-Holding Capacity of Konjac Thermally Irreversible Gel

Huijuan Qiao, Dawei Yang\*

School of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

Received: Jun. 17<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jul. 11<sup>th</sup>, 2025; published: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2025

## Abstract

To investigate the effects of konjac-to-water ratio, gel thickness, and gelation temperature on the

\*通讯作者。

文章引用: 乔慧娟, 杨大伟. 成胶条件对魔芋热不可逆凝胶持水性的影响研究[J]. 食品与营养科学, 2025, 14(4): 578-587. DOI: 10.12677/hjfn.2025.144063

water-holding capacity (WHC) of konjac thermo-irreversible gels, WHC was selected as the experimental indicator. Based on single-factor experiments, a response surface methodology (RSM) design was employed to study the influence of these factors and their interactions on gel WHC, and to determine the optimal gelation conditions. The study revealed that the Konjac-to-water ratio had the most significant impact on WHC within the gelation conditions. Both excessively high and low konjac-to-water ratios reduced the gel WHC, leading to poorer water retention. Gel thickness also critically affected WHC. Gels that were either too thin or too thick exhibited reduced WHC and weaker water retention capabilities. Gelation temperature played a key role. Temperatures that were too low resulted in incomplete gel structure formation, while temperatures that were too high caused structural breakdown. Both scenarios significantly decreased gel WHC and resulted in poor water retention. The optimal gelation conditions identified were a konjac-to-water ratio of 1:22 (g:g), a gel thickness of 8 mm, and a gelation temperature of 83°C. Under these conditions, the Konjac gel achieved a WHC of 91.4%. The findings of this study provide valuable insights for research on the structural stability of konjac thermo-irreversible gels and offer practical guidance for enhancing gel quality during industrial production.

## Keywords

Konjac, Thermally Irreversible Gel, Gelation Condition, Water-Holding Capacity, Response Surface Design

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

魔芋葡甘聚糖(Konjac Glucomannan, KGM)是从魔芋球茎中提取出来的一种具有持水、保湿、胶凝、成膜等性能的天然高分子中性多糖[1]-[3]。在实际生产中, KGM 的原材料为魔芋精粉。KGM 具有许多优良特性, 其中最独特的是凝胶性能, 这使其被广泛应用于食品、医药、化工、生物、材料等领域。此外, 魔芋还含有淀粉、蛋白质、多种维生素和氨基酸, 以及钾、磷、硒等矿物质元素[4] [5], 具有减脂、降糖、抗癌、保肝、通便、健胃等功效[6]-[8]。目前, KGM 已被欧美以及我国确定为安全健康食品及食品添加剂[9]。

魔芋葡甘聚糖分子主链上的乙酰基在高温碱性溶液中去乙酰化, 依靠氢键作用力形成一种立体的网络状结构, 该过程是不可逆的, 即为魔芋热不可逆凝胶。由于氢键是一种较弱的作用力, 形成的凝胶结构不太稳定, 导致结构崩塌, 失去原有的硬度和弹性, 凝胶产品品质变劣。一般来说, 凝胶稳定性越强其持水性也越强, 因此持水性是反映凝胶结构稳定性的指标之一。本研究以魔芋精粉为试材制备凝胶, 以料液比、凝胶厚度、成胶温度为试验因素, 以持水率为试验指标, 研究成胶条件对凝胶持水性的影响, 为魔芋热不可逆凝胶结构稳定性的研究提供理论依据, 为凝胶工业化高品质生产提供技术支持。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料与试剂

魔芋精粉, 湖南博嘉魔力农业科技股份有限公司; 氢氧化钙, 食品级, 北京清源食品添加剂有限公司。

### 2.2. 仪器与设备

DK-98-IIA 型电热恒温水浴锅, 天津市泰斯特仪器有限公司; 80-2 型离心机, 常州市华普达教学仪器

有限公司; TP-520A 型电子天平, 湘仪天平仪器有限公司。

2.3. 方法

2.3.1. 魔芋热不可逆凝胶制备

本研究参考李晓飞[10]等的方法并适当修改。按照一定的料液比(g:g, 魔芋精粉与纯水的质量比)准确称取定量的魔芋精粉, 缓慢溶解于 40℃~50℃的 0.013%的氢氧化钙溶液中, 搅拌至魔芋精粉充分吸水溶胀为溶胶, 静置 5 min 后置于 90℃的水浴锅加热 1 h, 取出冷却至室温即得到魔芋热不可逆凝胶。

2.3.2. 单因素试验

1) 料液比对魔芋凝胶持水性的影响。在成胶温度为 90℃、凝胶厚度为 10 mm、氢氧化钙浓度为 0.013%的条件下, 测定不同料液比(1:15、1:20、1:25、1:30)的凝胶持水率, 研究料液比对凝胶持水性的影响。

2) 成胶温度对魔芋凝胶持水性的影响。在料液比为 1:20, 厚度为 10 mm, 氢氧化钙浓度为 0.013%的条件下, 测定不同成胶温度(80℃、90℃、100℃)的凝胶持水率, 研究成胶温度对凝胶持水性的影响。

3) 成胶厚度对魔芋凝胶持水性的影响。在成胶温度为 90℃, 料液比为 1:20, 氢氧化钙浓度为 0.013%的条件下, 测定不同凝胶厚度(6 mm、8 mm、10 mm、12 mm、14 mm)的凝胶持水率, 研究凝胶厚度对凝胶持水性的影响。

2.3.3. 响应面试验设计

在单因素试验的基础上, 选择料液比、成胶温度、凝胶厚度为试验因素, 以持水率为试验指标, 根据中心组合试验 Box-Behnken 原理, 设计 3 因素 3 水平响应面试验方案, 研究各因素对凝胶持水特性的影响, 同时根据回归模型优化魔芋热不可逆凝胶制备工艺条件。响应面试验因素与水平见表 1。

Table 1. Factors and levels of response surface experiment

表 1. 响应面试验因素及水平

| 水平 | 因素        |        |         |
|----|-----------|--------|---------|
|    | 料液比/(g:g) | 成胶温度/℃ | 凝胶厚度/mm |
| -1 | 1:15      | 80     | 6       |
| 0  | 1:20      | 90     | 8       |
| 1  | 1:25      | 100    | 10      |

2.3.4. 持水率测定

参考王鑫[11]等的方法并适当修改。将魔芋凝胶均匀切片(直径 50 mm 左右, 厚度 10 mm 左右), 制备凝胶试样(试样置于室温贮藏 30 d), 质量记为  $m_1$ ; 置于 50 mL 离心管中, 以 3000 r/min 离心 16 min, 除去分离的水并称重, 记为  $m_2$ 。重复试验 3 次。持水率(Water Holding Capacity, WHC)计算公式如式(1)所示:

$$WHC(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \tag{1}$$

式中, WHC 为魔芋凝胶持水率, %;  $m_1$  为离心前魔芋凝胶质量, g;  $m_2$  为离心后魔芋凝胶质量, g。

2.3.5. 数据处理与分析

使用 Excel 2020 软件对试验数据进行初步整理。Design Expert 13 设计并分析响应面试验, Origin 20 进行绘图, 图中以标准误差作为误差棒。采用 IBM SPSS Statistics 26 软件对试验数据进行统计分析。图中不同小写字母表示处理间差异显著( $p < 0.05$ ), 相同字母表示处理间差异不显著( $p > 0.05$ )。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 单因素对魔芋热不可逆凝胶持水性的影响

##### 3.1.1. 料液比对魔芋凝胶持水性的影响

料液比对魔芋凝胶持水率的影响如图 1 所示, 其对魔芋热不可逆凝胶的持水率具有显著影响( $p < 0.05$ )。

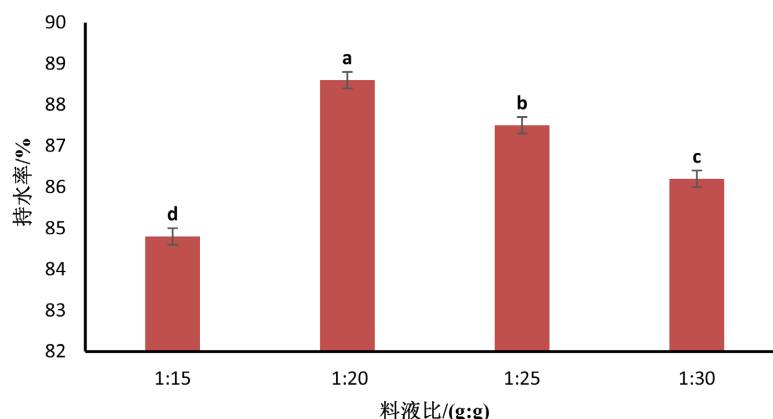


Figure 1. Effect of feed solution ratio on the water-holding capacity of konjac gel

图 1. 料液比对魔芋凝胶持水率的影响

由图 1 可知, 随着料液比的增加, 持水率呈现先增大后减小的趋势, 在料液比为 1:20 时, 持水率达到峰值。这是因为魔芋热不可逆凝胶是一种立体的网络结构, 结构越完整越发达, 形成的氢键就越强, 依靠氢键结合的水分也就越不容易失去。当料液比较小(1:15)时, 还有部分魔芋精粉不能充分溶解在水中, 形成的凝胶结构不够完整, 因而持水性差, 持水率低。当料液比较大时(1:30), 形成的凝胶内部网络结构过于庞大, 单位体积的氢键数量少, 也会导致持水率下降。只有适宜的料液比(1:20)形成的网络结构单位体积的氢键最多, 持水率高, 凝胶的强度高、稳定性好。综上所述, 料液比是构建具有均匀、致密、强韧三维网络结构凝胶的关键因素, 从而最大化其持水能力, 过低或过高的料液比都会导致持水性能下降。

##### 3.1.2. 成胶温度对魔芋凝胶持水性的影响

成胶温度对魔芋凝胶持水率的影响如图 2 所示, 其对魔芋热不可逆凝胶的持水率具有显著影响( $p < 0.05$ )。

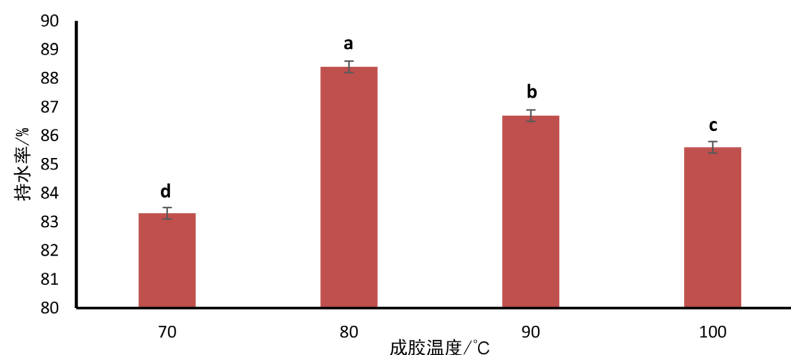


Figure 2. Effect of gelation temperature on the water-holding capacity of konjac gel

图 2. 成胶温度对魔芋凝胶持水率的影响

分析图2可知, 凝胶持水率随温度的升高而增加, 80℃时持水率最大, 超过80℃后持水率下降。一般来说, 温度的升高会促进脱乙酰化反应, 导致魔芋葡甘聚糖分子链充分伸展并形成致密的三维网络结构, 通过氢键和疏水作用有效保留水分, 因而温度越高持水率越大[12], 另外, 温度越高, 魔芋精粉在水中的溶解性越强, 魔芋葡甘聚糖分子上更多的羟基(-OH)与水分子结合, 形成致密的三维网络结构, 束缚大量水分, 导致凝胶的持水率增加[13], 因此, 在70℃~80℃时, 凝胶持水率随温度的升高而增大。当温度超过80℃时, 凝胶持水率呈现下降趋势。这是因为温度过高会导致KGM分子链断裂, 分子量下降, 凝胶融化, 网络结构一定程度的崩塌, 水分束缚能力下降, 致使持水率降低。时间与温度在影响凝胶持水率方面具有协同性, 长时间高温处理会促进凝胶结构的破坏, 使其持水率下降, 因此高温(90℃~100℃)制备魔芋热不可逆凝胶需要控制热处理时间, 防止凝胶结构被破坏。

### 3.1.3. 凝胶厚度对魔芋凝胶持水性的影响

凝胶厚度对魔芋凝胶持水率的影响如图3所示, 其对魔芋热不可逆凝胶持水率具有显著影响( $p < 0.05$ )。

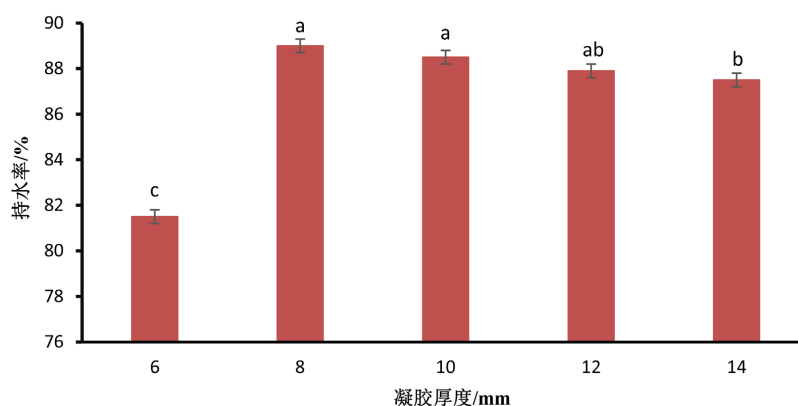


Figure 3. Effect of glue thickness on the water-holding capacity of konjac gel

图3. 成胶厚度对魔芋凝胶持水性的影响

图3所示, 凝胶持水率随凝胶厚度的变化呈现先上升后下降的趋势。凝胶厚度在6~8 mm范围内时, 凝胶持水率随厚度增加而增加。这是因为厚度过小时, 形成的凝胶结构不完整, 持水力小, 因此厚度越大持水率越高。但是当凝胶厚度在8~14 mm范围时, 凝胶厚度对持水率没有显著影响( $p > 0.05$ ), 说明凝胶厚度达到8 mm就已经形成了完整牢固的凝胶结构了, 此时, 凝胶的持水性强, 结构稳定性也强。当凝胶厚度超过14 mm后, 厚度越厚其持水率越小。由于魔芋凝胶网络结构形成过程中, 碱性条件下KGM分子脱乙酰化需要高温协同作用, 热量须快速、均匀地传递到凝胶中心, 而适当厚度的凝胶可确保所有区域的KGM分子都能在设定的温度和时间下充分溶解、伸展、脱乙酰和交联。整个凝胶体几乎同步完成凝胶化反应, 形成的三维网络结构更均一、致密, 对水分的束缚能力一致且强, 所以厚度过大的凝胶因热量不能快速均匀地传递到凝胶中心, 导致表面温度先达到加热温度并开始凝胶化, 而中心温度上升较慢, 当表面已开始或完成凝胶化时, 中心可能仍处于较低温度, 分子活动性差, 交联反应不充分, 三维网络结构不发达, 束缚水分的能力较弱, 持水率下降。

## 3.2. 响应面实验优化魔芋热不可逆凝胶的成胶条件

### 3.2.1. 响应面实验结果及方差分析

在单因素试验基础上, 以凝胶持水率为指标, 采用Design-Expert 13软件和Box-Behnken法进行试

验设计, 研究成胶因素对凝胶持水性的综合影响, 并确定魔芋热不可逆凝胶的最佳成胶工艺参数, 试验结果如表 2 所示。

**Table 2.** Results of the response surface experiment

**表 2.** 响应面试验结果

| 试验 | 试验因素             |                 |                | 试验指标  |
|----|------------------|-----------------|----------------|-------|
| 处理 | $X_1$ : 料液比/g: g | $X_2$ : 凝胶厚度/cm | $X_3$ : 成胶温度/℃ | 持水率/% |
| 1  | 1:20             | 0.8             | 90             | 90.8  |
| 2  | 1:25             | 0.6             | 90             | 89.43 |
| 3  | 1:25             | 0.8             | 100            | 87.26 |
| 4  | 1:20             | 0.8             | 90             | 90.16 |
| 5  | 1:20             | 0.8             | 90             | 90.76 |
| 6  | 1:25             | 1.0             | 90             | 87.91 |
| 7  | 1:20             | 1.0             | 100            | 86.05 |
| 8  | 1:20             | 0.8             | 90             | 90.69 |
| 9  | 1:15             | 0.8             | 100            | 83.3  |
| 10 | 1:25             | 0.8             | 80             | 89.98 |
| 11 | 1:15             | 0.6             | 90             | 85.45 |
| 12 | 1:20             | 0.6             | 100            | 86.21 |
| 13 | 1:20             | 0.8             | 90             | 90.41 |
| 14 | 1:20             | 0.6             | 80             | 88.92 |
| 15 | 1:15             | 1.0             | 90             | 84.18 |
| 16 | 1:15             | 0.8             | 80             | 86    |
| 17 | 1:20             | 1.0             | 80             | 87.79 |

运用 Design Expert 13 软件对响应面试验设计结果进行二次多元回归拟合, 获得魔芋凝胶持水率指标对料液比( $X_1$ )、成胶厚度( $X_2$ )、成胶温度( $X_3$ )的多元回归方程:

$$Y = 90.55 + 1.96X_1 - 0.51X_2 - 1.23X_3 - 0.062X_1X_2 - 0.0050X_1X_3 + 0.24X_2X_3 - 2.21X_1^2 - 1.6X_2^2 - 1.70X_3^2$$

由回归方程可知, 凝胶持水率与料液比呈正相关, 表明随着料液比增大, 持水率上升; 与凝胶厚度和成胶温度呈负相关, 说明在一定水平范围内, 随着厚度与温度上升, 持水率下降。在因素交互作用对凝胶持水率的影响中, 料液比与凝胶厚度和成胶温度均呈负相关, 说明两者交互性不利于持水率的提高, 但交互项的回归系数很小, 影响可以忽略; 凝胶厚度与温度呈正相关, 且回归系数较小, 说明两者交互性影响较小。各因素二次项的影响均呈负相关。综上所述, 除料液比一次项外, 其余因素一次项与二次项都呈负相关, 需要控制因素水平, 才能提高持水率。

由表 3 可知, 此模型的  $p$  值为 0.0001, 响应面回归模型十分显著, 失拟项( $p = 0.3402 > 0.05$ )不显著, 说明非试验因素对试验结果的影响不大, 误差控制得较好。模型确定系数  $R^2 = 0.9919$ ,  $RPred^2 = 0.9254$ , 校正确定系数  $RAdj^2 = 0.9815$  与  $R^2$  接近, 说明了模型有充分的准确性和通用性, 变异系数  $CV = 0.3753$ ,



说明该模型稳定、可靠。因此该模型方程在试验范围内，能够适用于魔芋热不可逆凝胶持水性的最佳工艺的分析预测。

**Table 3.** Analysis of variance  
**表 3.** 方差分析

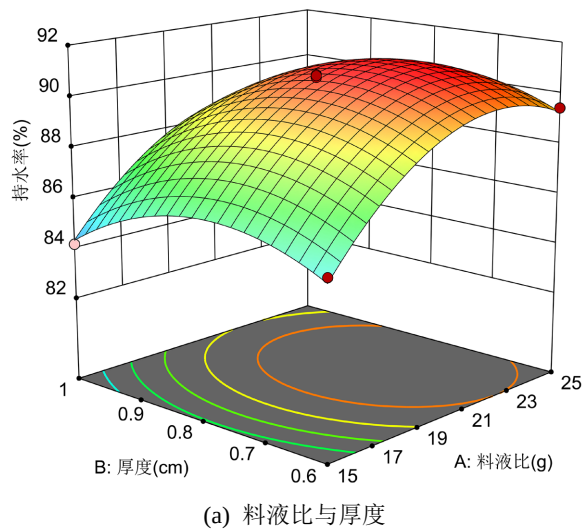
| 来源             | 自由度 df | 平方和 SS | 均方 MS  | F 值    | p 值     | 显著性 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|---------|-----|
| 模型             | 93.68  | 9      | 10.41  | 95.51  | <0.0001 | 显著  |
| A-料液比          | 30.62  | 1      | 30.62  | 280.92 | <0.0001 | **  |
| B-凝胶厚度         | 2.08   | 1      | 2.08   | 19.09  | 0.0033  | **  |
| C-成胶温度         | 12.18  | 1      | 12.18  | 111.73 | <0.0001 | **  |
| AB             | 0.0156 | 1      | 0.0156 | 0.1434 | 0.7162  |     |
| AC             | 0.0001 | 1      | 0.0001 | 0.0009 | 0.9767  |     |
| BC             | 0.2352 | 1      | 0.2352 | 2.16   | 0.1852  |     |
| A <sup>2</sup> | 20.52  | 1      | 20.52  | 188.27 | <0.0001 | **  |
| B <sup>2</sup> | 10.78  | 1      | 10.78  | 98.91  | <0.0001 | **  |
| C <sup>2</sup> | 12.28  | 1      | 12.28  | 112.64 | <0.0001 | **  |
| 残差             | 0.7629 | 7      | 0.109  |        |         |     |
| 失拟项            | 0.4055 | 3      | 0.1352 | 1.51   | 0.3402  | 不显著 |
| 误差             | 0.3574 | 4      | 0.0893 |        |         |     |

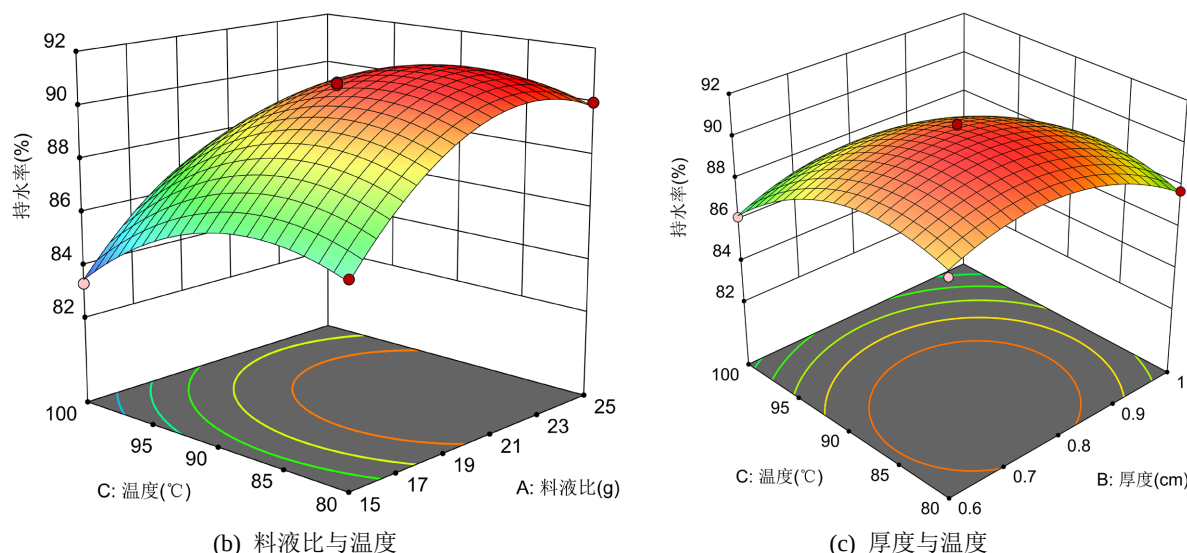
注：\*\*表示  $p < 0.01$ ，差异极显著；\*表示  $p < 0.05$ ，差异显著。

从表 3 的方差分析结果还可以看出，因素 A、B、C、A<sup>2</sup>、B<sup>2</sup>、C<sup>2</sup> 对持水率的影响显著；因素 AB、AC、BC 之间的交互作用对持水率的影响不显著，与回归方程的结果是一致的。

**3.2.2. 成胶因素之间交互作用对凝胶持水性的影响**

成胶因素之间交互作用对凝胶持水性的影响如图 4 所示。





**Figure 4.** The response surface results of the interactions between various factors

**图 4.** 各因素交互作用的响应面结果

分析图 4 可知, (a)、(b)和(c)中 3 个图的响应面等高线图均为圆形, 说明两因素间对凝胶持水性的影响没有交互作用, 或交互作用不显著, 与回归方程的方差分析结果一致, 因此, 最佳成胶条件可根据因素主效应的影响来选择。

### 3.2.3. 最优成胶条件验证试验

对回归方程计算极值, 获得最佳成胶条件为: 料液比 1:22.23 (g:g)、凝胶厚度 7.7 mm、成胶温度 83.4℃, 魔芋凝胶持水率 91.1%。考虑到实际情况, 对上述条件进行修正, 最终的优化条件为料液比 1:22、厚度 8 mm、温度 83℃, 在此条件下进行 3 次平行试验验证, 结果持水率为 91.4%, 略高于预测持水率, 说明该模型可用来进行工艺条件的优化研究, 预测热不可逆凝胶的最佳工艺条件。

## 3.3. 讨论

### 3.3.1. 料液比对魔芋热不可逆凝胶持水性的影响

料液比小, KGM 浓度低, 分子间距离大, 在加热和碱处理诱导凝胶化时, 形成的交联点少, 三维网络结构较为稀疏、脆弱。这种脆弱的网络结构无法有效束缚住大量的自由水。水分更容易在重力、压力或离心力作用下渗出(析水), 凝胶表现出较差的持水性, 质地通常更软、更易碎。反之, 料液比大, KGM 浓度高, 分子间距离小, 相互作用增强。在凝胶化过程中, 更容易形成数量更多、更紧密的交联点, 构建出更致密、更坚固的三维网络结构。这种致密的网络结构具有更强的物理束缚能力, 能更有效地将水分子“锁”在网络内部的微孔中, 通过氢键、毛细管作用等机制保持水分, 抵抗渗出。但当浓度过高, 超过一定阈值时, 网络可能变得过于刚性或致密, 反而压缩了容纳水分的空间(微孔变小变少)。凝胶吸水溶胀的能力可能受到限制。在极高浓度下, 混合和溶胀可能不均匀, 甚至可能导致局部相分离, 影响持水均匀性。生产过程中过高的浓度会使料液粘度过大, 难以搅拌均匀、脱气或成型, 也可能影响凝胶形成的均一性, 间接影响持水率。

### 3.3.2. 成胶温度对魔芋热不可逆凝胶持水性的影响

虽然乙酰基赋予了 KGM 水溶性, 但乙酰基的空间位阻效应阻碍了 KGM 本身分子间作用力的形成 [14]。在高温碱性条件下, 乙酰基从 KGM 上脱落, 脱去乙酰基的 KGM 分子依靠氢键与疏水作用力结合



在一起形成三维网络凝胶结构。KGM 分子在冷水中溶解度低, 易结团。成胶温度低的时候, 分子无法充分水合、伸展。未充分溶解/伸展的 KGM 分子链在后续凝胶化中难以有效参与交联反应, 导致网络结构不连续、不均匀, 形成的凝胶网络脆弱、持水性差, 容易析水。温度升高加速 KGM 分子链间的碰撞和相互作用, 促进交联点(氢键、疏水微区)的形成和稳定。在适宜高温下, 分子链运动性强, 有利于形成更均匀、更精细的三维网络结构, 其微孔分布均匀, 能有效束缚水分子。温度过低, 交联反应慢, 网络形成不充分、结构弱, 持水性差。长时间高温处理, KGM 分子链可能发生水解或热降解, 导致分子量下降。降解的短链无法有效形成长程有序的网络, 或使已形成的网络强度下降、脆性增加。降解导致网络完整性破坏, 束缚水的能力显著降低, 凝胶易碎、析水增多。

### 3.3.3. 凝胶厚度对魔芋热不可逆凝胶持水性的影响

凝胶厚度主要通过影响热传导效率和凝胶化过程的均匀性来间接影响魔芋热不可逆凝胶的持水率。较薄的凝胶有利于获得高且均匀的持水率。魔芋凝胶化过程中, 热量以传导方式由外向内传递, 凝胶厚度与传热速率成反比, 当凝胶厚度显著增加时, 热传导的限制会导致中心区域受热不足[15], 形成的网络结构可能较稀疏或不完善, 从而降低整体持水率并加剧内部水分分布的不均匀性。在实际生产中, 应优先控制厚度在合理范围内; 对于必须制作厚凝胶的情况, 则需通过精心优化加热/冷却工艺(延长时间、改善传热)来尽量弥补厚度带来的不利影响, 并关注产品内部的均匀性。

## 4. 结论

为了研究成胶条件对魔芋热不可逆凝胶持水性的影响, 本文以持水率为试验指标, 在单因素试验基础上, 采用响应面设计, 研究成胶条件对凝胶持水率的影响及最佳成胶条件。研究表明, 成胶条件中料液比对凝胶持水性影响最为显著, 过大或过小的料液比都会降低凝胶持水率, 使凝胶的持水性变差; 凝胶厚度太薄或太厚都会降低凝胶持水率, 使持水性弱; 成胶温度太低会使凝胶结构不完整, 而温度太高又导致凝胶结构破坏, 都会降低凝胶持水率, 使持水性差。研究得出最佳成胶条件为: 料液比 1:22 (g:g)、凝胶厚度 8 mm、成胶温度 83℃, 在此条件下凝胶持水率为 91.4%。本文的研究结果对于魔芋热不可逆凝胶的结构稳定性研究具有一定的参考价值, 为生产过程中提高凝胶品质提供技术支持。

## 参考文献

- [1] Li, X., Jiang, F., Ni, X., Yan, W., Fang, Y., Corke, H., et al. (2015) Preparation and Characterization of Konjac Glucomannan and Ethyl Cellulose Blend Films. *Food Hydrocolloids*, **44**, 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.027>
- [2] Hu, Y., Tian, J., Zou, J., Yuan, X., Li, J., Liang, H., et al. (2019) Partial Removal of Acetyl Groups in Konjac Glucomannan Significantly Improved the Rheological Properties and Texture of Konjac Glucomannan and K-Carrageenan Blends. *International Journal of Biological Macromolecules*, **123**, 1165-1171. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.190>
- [3] 魏恩慧, 吴继红, 刘冰, 等. 魔芋葡甘聚糖的性质及在食品中的应用[J]. 食品工业, 2016, 37(5): 239-242.
- [4] 马俊, 齐颖. 魔芋的功能及应用[J]. 中国食物与营养, 2006(5): 48-49.
- [5] 杨晶晶, 杨林夕, 邵娟娟. 魔芋中化学成分的提取纯化[J]. 农产品加工, 2018(8): 67-69.
- [6] Sirotkin, A.V. (2021) Can Konjac (*Amorphophallus konjac* K. Koch) and Its Constituent Glucomannan Be Useful for Treatment of Obesity? *Obesity Medicine*, **24**, Article ID: 100343. <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2021.100343>
- [7] Chen, H., Cheng, H., Wu, W., Liu, Y. and Liu, S. (2008) Supplementation of Konjac Glucomannan into a Low-Fiber Chinese Diet Promoted Bowel Movement and Improved Colonic Ecology in Constipated Adults: A Placebo-Controlled, Diet-Controlled Trial. *Journal of the American College of Nutrition*, **27**, 102-108. <https://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719681>
- [8] Chua, M., Baldwin, T.C., Hocking, T.J. and Chan, K. (2010) Traditional Uses and Potential Health Benefits of *Amorphophallus konjac* K. Koch Ex N.E.Br. *Journal of Ethnopharmacology*, **128**, 268-278.

---

<https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.01.021>

- [9] 孙中琦, 王雅立, 赵菲, 等. 魔芋葡甘聚糖凝胶结构研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2014(4): 163-170.
- [10] 李晓飞, 李培源, 李安琪, 等. 黄原胶添加对碱法诱导魔芋胶凝胶特性及凝胶机制的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(14): 2941-2955.
- [11] 王鑫, 吴瑀婕, 卢方云, 等. 瓜尔豆魔芋胶的复配胶结合超声处理对鸡血豆腐凝胶特性及其作用力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(18): 187-193.
- [12] Xin, C., Chen, J., Liang, H., Wan, J., Li, J. and Li, B. (2017) Confirmation and Measurement of Hydrophobic Interaction in Sol-Gel System of Konjac Glucomannan with Different Degree of Deacetylation. *Carbohydrate Polymers*, **174**, 337-342. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.088>
- [13] 罗华彬, 林露, 司永利, 等. 不同亲水胶体对带鱼鱼糜凝胶品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(7): 1371-137.
- [14] 于加美, 高瑞昌, 石彤, 等. 高脱乙酰度魔芋葡甘聚糖对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(8): 48-54.
- [15] 杨大伟, 吴国强, 主编. 食品工程原理[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2025: 1.