

# 纤维素酶催化大豆异黄酮的水解

郭咪咪, 杨茜, 段章群

(国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油加工研究所, 北京 102209)

**摘要:**为充分发挥大豆异黄酮生物价值,采用纤维素酶催化糖苷型大豆异黄酮水解制备游离苷元型大豆异黄酮。通过考察 10 种纤维素酶对糖苷型大豆异黄酮总水解率和苷元型大豆异黄酮总转化率的影响,筛选得到一种成本较低且水解效果较好的纤维素酶,用于催化水解糖苷型大豆异黄酮,优化了该纤维素酶在水解工艺中底物质量浓度、酶添加量、反应体系 pH、酶解温度、酶解时间等参数。结果表明:选择来源于 *Trichoderma viride* 的纤维素酶作为大豆异黄酮水解用酶;底物质量浓度 0.8~2.0 mg/mL、酶添加量 7%~11%、反应体系 pH 5.0、酶解温度 55℃、酶解时间 5~6 h 是较经济有效的水解工艺参数,实验优化过程中,大豆异黄酮总水解率超过 90%,总转化率接近 60%。因此,采用纤维素酶催化水解大豆异黄酮可显著增加游离苷元含量,提高大豆异黄酮利用价值。

**关键词:**大豆异黄酮;糖苷水解率;苷元转化率;纤维素酶

中图分类号:Q55;TS229

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2023)03-0110-07

## Hydrolysis of soybean isoflavones catalyzed by cellulase

GUO Mimi, YANG Xi, DUAN Zhangqun

(Institute of Grain & Oil Processing Science and Technology, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 102209, China)

**Abstract:** In order to improve the biological value of soybean isoflavones, the glycoside-type soybean isoflavones was hydrolyzed to prepare free aglycon-type soybean isoflavones with cellulase as catalyst. A low-cost and effective cellulase was selected by investigating the effects of 10 cellulases on the total hydrolysis rate of glycoside-type soybean isoflavones and the total conversion rate of aglycone-type soybean isoflavones. Meanwhile, the cellulase selected was used to catalyze the hydrolysis of glycoside-type soybean isoflavones, and the parameters such as the substrate mass concentration, enzyme amount, reaction system pH, enzymatic temperature and enzymatic time were optimized. The results showed that the cellulase from *Trichoderma viride* was selected as the enzyme for the hydrolysis of soybean isoflavones, and the more economical and efficient hydrolysis parameters were obtained as follows: substrate mass concentration 0.8-2.0 mg/mL, enzyme amount 7%-11%, reaction system pH 5.0, hydrolysis temperature 55℃, and hydrolysis time 5-6 h. In the optimization, the total hydrolysis rate of glycoside-type soybean isoflavones exceeded 90%, and the total conversion rate of aglycone-type soybean isoflavones was close to 60%. Therefore, the use of cellulase-catalyzed hydrolysis of soybean isoflavones can significantly increase the content of free aglycones and improve the utilization value of soybean isoflavones.

**Key words:** soybean isoflavone; hydrolysis rate of glycosides; conversion rate of aglycones; cellulase

收稿日期:2022-01-05;修回日期:2022-10-23

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金(ZX1905)

作者简介:郭咪咪(1987),女,助理研究员,硕士,研究方向为油脂加工与品质分析(E-mail)gmm@ags.ac.cn。

通信作者:段章群,副研究员,博士(E-mail)dzq@chinagrains.org。

异黄酮主要来源于荚豆类植物,在大豆中含量较高,占大豆质量的 0.01%~0.5%<sup>[1]</sup>,是大豆中最重要的活性成分之一。根据是否与糖基结合,异黄酮可分为游离苷元型和结合糖苷型<sup>[2]</sup>,不同类型异黄酮的生理活性和生物利用率具有明显差异,游离

苷元型大豆异黄酮能减少细胞内活性氧的产生<sup>[3]</sup>,具有比糖苷型大豆异黄酮更高的抗氧化活性和更优的免疫功能,在改善健康状况、保护肠道细胞免受氧化损伤等方面均有一定功效<sup>[4-6]</sup>。此外,游离苷元型大豆异黄酮在预防乳腺癌、前列腺癌、心血管疾病等多种疾病方面也有显著成效<sup>[7-9]</sup>。目前,大豆异黄酮被广泛应用于药品、保健品等中。但大豆异黄酮中糖苷型含量达95%以上,游离苷元型含量不足5%<sup>[1]</sup>,且糖苷型大豆异黄酮在进入人体后需经肠道微生物进一步水解为游离苷元型大豆异黄酮后才能被吸收和发挥生理作用<sup>[10]</sup>。由于人体肠道中菌群差异,不同人群直接食用糖苷型大豆异黄酮会有不同的吸收效果,不利于大豆异黄酮的生物利用。基于糖苷型大豆异黄酮可在加工和储存过程中转化为游离苷元型<sup>[11]</sup>,因此通过体外水解糖苷型大豆异黄酮制备游离苷元型大豆异黄酮成为高效利用大豆异黄酮的途径之一,也是目前的研究热点之一。

大豆异黄酮水解制备游离苷元型大豆异黄酮的方法主要有酸水解法、碱水解法、Smith降解法和酶水解法<sup>[12]</sup>,其中:酸水解法需强酸,且温度较高;碱水解法所得苷元不稳定,容易进一步降解;Smith降

解法水解过程中所用试剂比较昂贵;而酶水解法<sup>[13]</sup>具有反应条件温和、特异性强等优点,是制备游离苷元型大豆异黄酮的最佳途径。目前研究中多以 $\beta$ -葡萄糖苷酶为生物催化剂催化水解制备游离苷元型大豆异黄酮<sup>[14-17]</sup>,水解率高达96%<sup>[18]</sup>,但 $\beta$ -葡萄糖苷酶成本较高,而目前关于其他酶水解大豆异黄酮的研究报道还较少。本文以价格较低的纤维素酶催化水解制备游离苷元型大豆异黄酮,从糖苷型大豆异黄酮水解率、苷元型大豆异黄酮转化率以及纤维素酶成本等方面进行系统研究,以期筛选一种经济有效的生物酶,为大豆异黄酮生物转化提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料与试剂

大豆异黄酮(纯度约85%),西安天丰生物科技有限公司;大豆苷(D,含量 $\geq 98\%$ )、黄豆黄苷(GI,含量 $\geq 98\%$ )、染料木苷(G,含量 $\geq 98\%$ )、大豆苷元(De,含量 $\geq 98\%$ )、黄豆黄素(Gle,含量 $\geq 98\%$ )、染料木素(Ge,含量 $\geq 98\%$ )标准品,美国Sigma公司;甲醇、乙酸,均为色谱纯;磷酸氢二钠、柠檬酸、无水乙醇等,均为分析纯;纤维素酶(见表1)。

表1 不同纤维素酶编号及相关产品信息

编号	最适 pH	最适温度/°C	酶来源	供应商	酶活/(U/mg)
酶1	5.0	37	<i>Aspergillus niger</i>	上海安谱实验科技股份有限公司	5
酶2	5.0	37		北京雁栖湾生物技术有限公司	115
酶3	5.0	37	<i>Trichoderma viride</i>	北京索莱宝科技有限公司	
酶4	5.0	37	<i>Trichoderma reesei</i>	西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司	1
酶5	5.0	室温		上海麦克林生化科技有限公司	10
酶6	5.0	36	<i>Aspergillus niger</i>	北京百灵威科技有限公司	
酶7	7.5	36		北京爱普锐晟科技有限公司	>0.3
酶8	4.5	40	<i>Aspergillus niger</i>	广州威佳科技有限公司	
酶9	4.8	45	<i>Trichoderma viride</i>	上海源叶生物科技有限公司	10
酶10	5.0	55		天津瑞根特商贸有限公司	

#### 1.1.2 仪器与设备

EClasscal 3100 高效液相色谱(HPLC)仪,大连依利特公司;KS4000 恒温气浴摇床, IKA 公司;KQ5200DE 超声波器,昆山市超声仪器有限公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 大豆异黄酮的水解

称取一定量大豆异黄酮置于100 mL三角瓶中,加入磷酸氢二钠-柠檬酸缓冲液,摇匀,超声10 min,加入纤维素酶,再用上述缓冲液补足至25 mL,充分

混匀后在一定温度下于摇床中反应一定时间,得到大豆异黄酮水解液。

### 1.2.2 大豆异黄酮含量的测定

采用高效液相色谱法<sup>[19]</sup>测定大豆异黄酮含量,对照标准品保留时间定性,外标法定量。

#### 1.2.2.1 HPLC 分析条件

Symmetry 300™ C18 色谱柱(4.6 mm × 250 mm, 5  $\mu$ m);柱温40 °C;检测波长260 nm;流动相A相为0.1%乙酸水溶液,B相为0.1%乙酸甲醇溶液,梯

度洗脱程序如表 2 所示。

表 2 流动相梯度洗脱程序

时间/min	A/%	B/%	时间/min	A/%	B/%
0	90	10	30	40	60
12	75	25	32	0	100
16	70	30	34	0	100
21	60	40	36	90	10
25	50	50	45	90	10

### 1.2.2.2 标准曲线绘制

准确称取不同大豆异黄酮标准品各 5.0 mg 于 10 mL 容量瓶中,用 60% 甲醇溶解并定容,作为标准储备液。准确移取 1 mL 标准储备液于 10 mL 容量瓶中,用 60% 甲醇定容,作为混合标准品溶液。用 10% 甲醇稀释混合标准品溶液,配制成不同质量浓度的混合标准品工作液,经 0.45 μm 有机滤膜过滤后,按 1.2.2.1 条件进行 HPLC 分析。以大豆异黄酮质量浓度 ( $X$ ) 为横坐标、相应峰面积 ( $Y$ ) 为纵坐标,绘制标准曲线,得 6 种大豆异黄酮组分的回归方程(见表 3)。

表 3 大豆异黄酮标准曲线回归方程

大豆异黄酮组分	标准曲线方程	$R^2$	线性范围/ (μg/mL)
大豆苷	$Y_1 = 76.856X_1 - 1.036$	0.999 9	0.12 ~ 3.60
黄豆黄苷	$Y_2 = 75.032X_2 - 0.171$	0.999 9	0.14 ~ 4.20
染料木苷	$Y_3 = 124.564X_3 - 0.195$	0.999 9	0.07 ~ 2.10
大豆苷元	$Y_4 = 130.172X_4 - 0.900$	0.999 7	0.07 ~ 2.10
黄豆黄素	$Y_5 = 118.597X_5 - 0.588$	0.999 9	0.03 ~ 1.00
染料木素	$Y_6 = 168.431X_6 - 2.109$	0.999 8	0.06 ~ 2.00

### 1.2.2.3 样品分析

取 1.2.1 大豆异黄酮水解液,加入适量无水乙醇,溶解摇匀,转移至 50 mL 容量瓶中,用 80% 乙醇

定容,再用 10% 甲醇稀释适当倍数,经 0.45 μm 有机滤膜过滤后,按 1.2.2.1 条件进行 HPLC 分析,再根据标准曲线回归方程计算大豆异黄酮水解液中 6 种大豆异黄酮组分的含量。

### 1.2.3 大豆异黄酮水解率和转化率的计算

以糖苷型大豆异黄酮水解率和苷元型大豆异黄酮转化率评价大豆异黄酮的水解效果。大豆异黄酮水解时,大豆苷水解为大豆苷元,黄豆黄苷水解为黄豆黄素,染料木苷水解为染料木素。分别按式(1)和式(2)计算大豆异黄酮水解率( $Y$ )和转化率( $Y'$ )。

$$Y = (C_0 - C_1) / C_0 \times 100\% \quad (1)$$

$$Y' = (C_3 - C_2) / C_4 \times 100\% \quad (2)$$

式中: $C_0$ 、 $C_1$ 分别为酶解前后糖苷型大豆异黄酮的质量; $C_2$ 、 $C_3$ 分别为酶解前后苷元型大豆异黄酮的质量; $C_4$ 为理论上糖苷型大豆异黄酮完全水解时苷元型大豆异黄酮的质量。

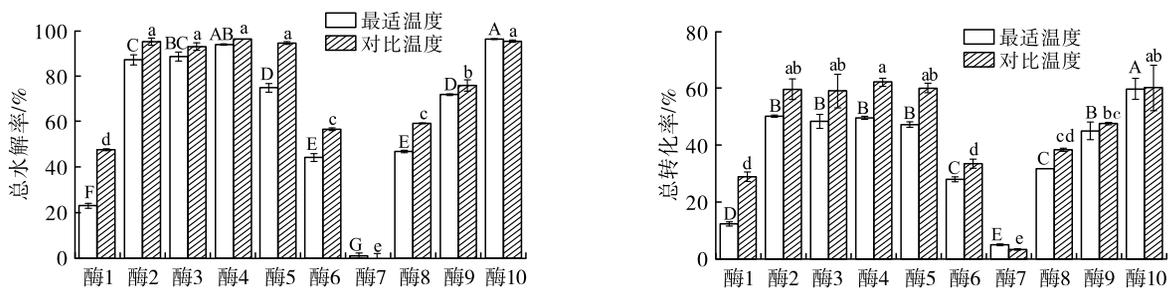
### 1.2.4 数据处理

数据采用 OriginPro 8.5 软件进行分析与作图,每组实验 2 次平行,结果以“平均值 ± 标准偏差”表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 纤维素酶的筛选

纤维素酶是含有葡聚糖内切酶、葡聚糖外切酶和β-葡萄糖苷酶 3 种主要成分的复合酶,在活性比例适当时,可协同完成纤维二糖、纤维三糖向葡萄糖的转化<sup>[19]</sup>。在酶添加量 20%、底物质量浓度 0.8 mg/mL、酶解时间 6 h、各酶最适 pH 条件下,研究 10 种纤维素酶在其最适温度和对比温度(对比温度选取依据:当酶最适温度小于或等于 40 ℃时,对比温度选用 50 ℃;当酶最适温度大于 40 ℃时,对比温度选择 35 ℃;对比温度和最适温度差值不小于 10 ℃)下对大豆异黄酮水解率和转化率的影响,结果如图 1 所示。



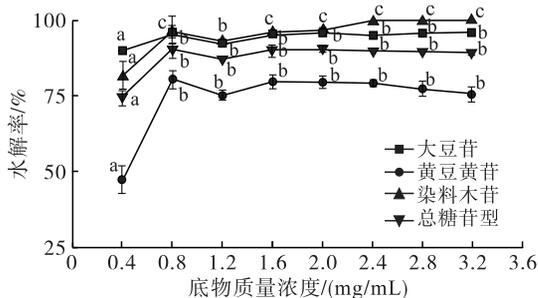
注:不同大写或小写字母表示相同温度实验下具有显著性差异( $p < 0.05$ )

图 1 纤维素酶种类对大豆异黄酮水解率和转化率的影响

由图 1 可见:酶 7 在最适温度和对比温度两组实验下,糖苷型大豆异黄酮总水解率和苷元型大豆

异黄酮总转化率均最低,且受温度影响较小,可能是酶活相对较低所致;除酶 7、酶 9 和酶 10 外(酶 9 在

降低温度时其总水解率和转化率提高,酶 10 在两组温度实验下总水解率和总转化率接近),其他酶在适当提高酶解温度时,均有利于提高大豆异黄酮的总水解率和总转化率。在酶解温度(对比温度)为 50 ℃时,酶 2、酶 3、酶 4、酶 5 对大豆异黄酮的总水解率均相对较高,且无显著性差异( $p > 0.05$ ),在对比温度下,酶 4 对大豆异黄酮的总转化率略高于酶 2、酶 3 和酶 5,但无显著性差异( $p > 0.05$ ),酶 4 的大豆异黄酮总水解率和总转化率分别为 96.53% 和 62.30%,酶 2、酶 3、酶 4、酶 5 对大豆异黄酮的总水



注:同一指标不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )。下同

图2 底物质量浓度对大豆异黄酮水解率和转化率的影响

由图 2 可见:在底物质量浓度由 0.4 mg/mL 升至 0.8 mg/mL 时,大豆异黄酮总水解率和各糖苷型大豆异黄酮水解率均显著升高( $p < 0.05$ ),大豆异黄酮总转化率和大豆苷元、黄豆黄素转化率也相应显著升高( $p < 0.05$ ),而染料木素转化率却显著降低( $p < 0.05$ );当底物质量浓度继续升高至 2.0 mg/mL 时,大豆异黄酮总水解率和各糖苷型大豆异黄酮水解率变化不明显,在底物质量浓度升高至 2.4 mg/mL 时,大豆异黄酮总转化率和大豆苷元、黄豆黄素转化率均明显降低,与底物质量浓度为 2.0 mg/mL 时有显著性差异( $p < 0.05$ ),底物质量浓度继续升高至 2.8、3.2 mg/mL 时,各转化率变化较小。酶解反应为可逆反应,当体系随底物质量浓度增加而导致产物达到一定质量浓度时,不仅抑制酶对底物的酶解能力,还会促使反应逆向进行,导致转

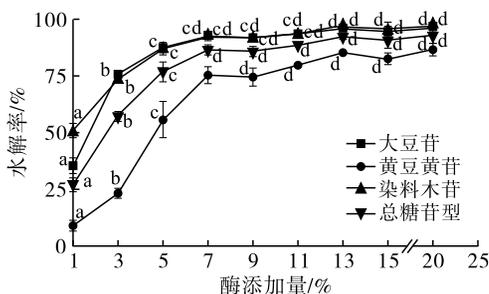


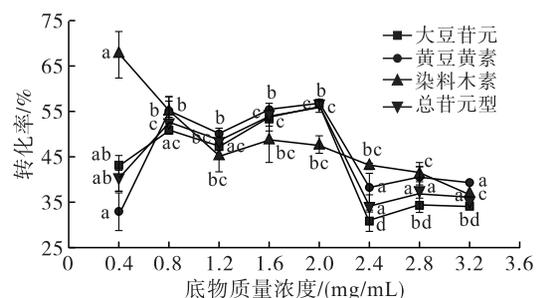
图3 酶添加量对大豆异黄酮水解率和转化率影响

由图 3 可见:当酶添加量在 1% ~ 7% 时,随酶添加量的增加,大豆异黄酮水解率(包括总水解率

解率均高于高荣海等<sup>[20]</sup>使用  $\beta$ -葡萄糖苷酶时的水解率(82.55%)。鉴于纤维素酶 3 价格相对较低,且在两组温度实验下大豆异黄酮总水解率和总转化率均相对较高,分别为 93.21% 和 59.25%,故优选酶 3 作为后续实验用酶。

## 2.2 底物质量浓度的影响

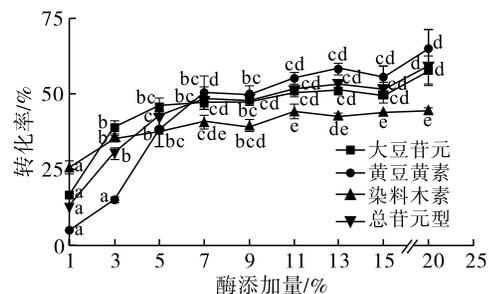
在酶添加量 20%、反应体系 pH 5.0、酶解温度 50 ℃、酶解时间 6 h 条件下,考察底物质量浓度对大豆异黄酮水解率和转化率的影响,结果如图 2 所示。



化率降低。在较低的底物质量浓度,即 0.8 ~ 2.0 mg/mL 时,大豆异黄酮总水解率均高达 90%,而大豆异黄酮总转化率均在 45% 以上,为实验最适底物质量浓度范围;底物质量浓度为 2.0 mg/mL 时,大豆异黄酮总转化率达到极值,为 56.04%,此时总水解率也相对较高,为 90.53%,大豆苷、黄豆黄苷和染料木苷水解率分别为 96.07%、79.55% 和 96.85%,大豆苷元、黄豆黄素和染料木素转化率分别为 56.18%、56.88% 和 47.58%,因此选择 0.8 ~ 2.0 mg/mL 为实验最佳底物质量浓度。

## 2.3 酶添加量的影响

在底物质量浓度 0.8 mg/mL、反应体系 pH 5.0、酶解温度 50 ℃、酶解时间 6 h 条件下,考察酶添加量对大豆异黄酮水解率和转化率的影响,结果如图 3 所示。



和总转化率和大豆苷元型大豆异黄酮转化率)

总体上均显著增加( $p < 0.05$ );当酶添加量在7%~11%时,随酶添加量的增加,大豆异黄酮水解率和转化率均增加不明显,总水解率为86%~89%,总转化率为48%~52%,但仍明显优于周文红等<sup>[21]</sup>在纤维素酶添加量10%时的总水解率(10 000 U/g和3 000 U/g的分别为36.37%、49.84%)和总转化率(10 000 U/g和3 000 U/g的分别为26.97%、41.17%);随酶添加量的继续增加(13%~20%),大豆异黄酮水解率和转化率总体增加,但增加量较

少,可能是因为酶添加量已超过与底物充分反应所需量,继续增加酶添加量,不再产生更多的水解物。综合考虑,选取较适合酶添加量为7%~11%。

#### 2.4 反应体系 pH 的影响

在底物质量浓度0.8 mg/mL、酶添加量7%、酶解温度50℃、酶解时间6 h条件下,研究反应体系pH对大豆异黄酮水解率和转化率的影响,结果如图4所示。

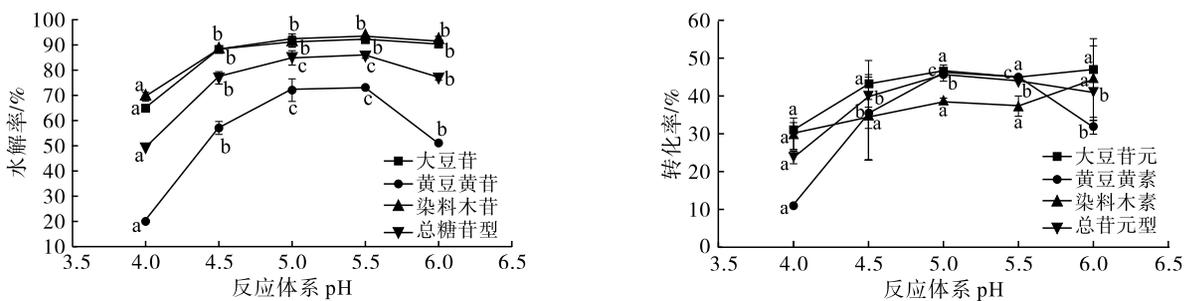
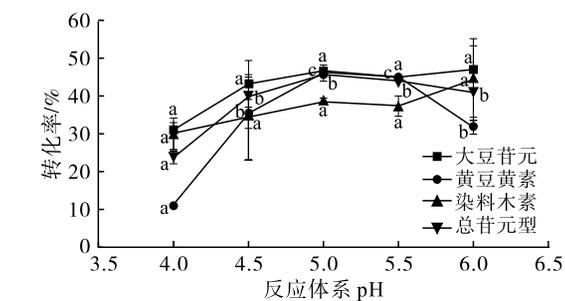


图4 反应体系 pH 对大豆异黄酮水解率和转化率影响

由图4可见,pH对黄豆黄苷水解影响较大,随pH升高,黄豆黄苷水解率及其苷元转化率均先升高后降低,而大豆苷和染料木苷的水解率 and 对应苷元转化率总体上随pH升高先升高后变化不明显(pH 4.5~pH 6.0时变化不明显),可能是3种糖苷型大豆异黄酮在水解时受反应体系pH影响不同所致。pH 5.0是水解大豆异黄酮的最佳pH(pH 5.0时,总



水解率达84.91%,总转化率达47.74%),符合该纤维素酶标识最适pH,作为反应体系最佳pH。

#### 2.5 酶解温度的影响

在底物质量浓度0.8 mg/mL、酶添加量7%、反应体系pH 5.0、酶解时间6 h条件下,研究酶解温度对大豆异黄酮水解率和转化率的影响,结果如图5所示。

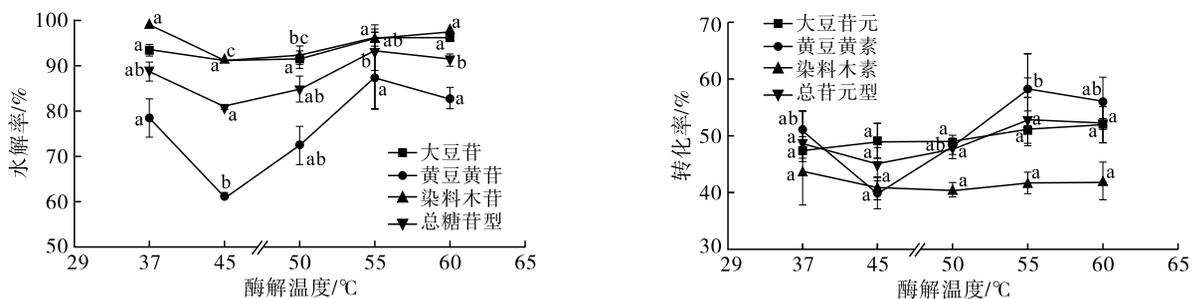
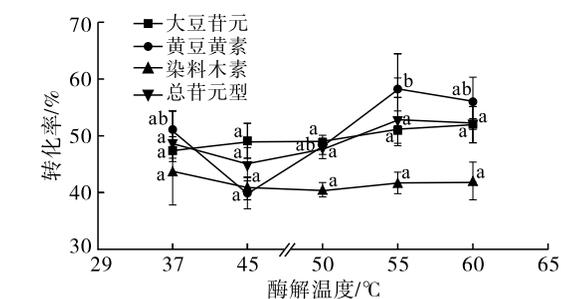


图5 酶解温度对大豆异黄酮水解率和转化率的影响

由图5可见,酶解温度在55℃和60℃时,各糖苷型大豆异黄酮水解率和各苷元型大豆异黄酮转化率均相对较高,总水解率和总转化率最高可分别达93.28%和52.67%。酶解温度在37℃时,大豆苷水解率与其他酶解温度下的无显著性差异( $p > 0.05$ ),染料木苷水解率略高于45、50℃时的( $p < 0.05$ ),与55、60℃时的水解率无显著性差异( $p > 0.05$ ),而黄豆黄苷水解率高于45℃时的( $p < 0.05$ ),但与50、55、60℃时的无显著性差异( $p > 0.05$ ),说明酶解温度对3种糖苷型大豆异黄酮水解



的影响不同。由图5还可见,酶解温度在37、55、60℃时,黄豆黄素表现出比大豆苷元和染料木素更高的转化率,但黄豆黄苷水解率却低于大豆苷和染料木苷的,可能是水解过程副反应导致了水解率和转化率不一致现象,还需进一步研究。综合考虑,选择55℃为实验最佳酶解温度。

#### 2.6 酶解时间的影响

在底物质量浓度0.8 mg/mL、酶添加量7%、反应体系pH 5.0、酶解温度55℃条件下,研究酶解时间对大豆异黄酮水解率和转化率的影响,结果如图6所示。

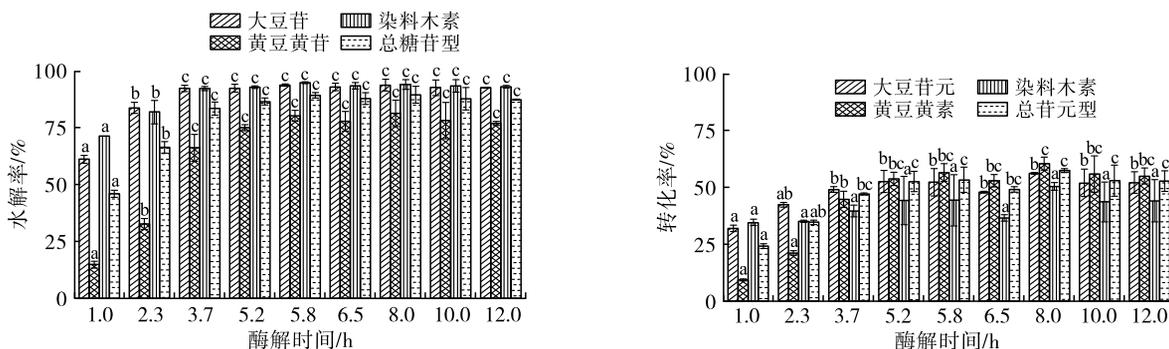


图6 酶解时间对大豆异黄酮水解率和转化率的影响

由图6可见,随着酶解时间的延长,大豆异黄酮水解率和转化率(除染料木素转化率)均呈先显著增加后趋于平缓的变化趋势,在酶解时间8.0 h时大豆异黄酮总转化率最高,此时大豆异黄酮总水解率和总转化率分别为89.84%和57.70%。在酶解时间由1.0 h延长至3.7 h时,各糖苷型大豆异黄酮水解率显著增加,除染料木素转化率基本不变外,其他苷元转化率均显著增加;酶解时间继续延长至5.8 h,各糖苷型大豆异黄酮水解率和各苷元型大豆异黄酮转化率均有所增加,但不显著;酶解时间继续延长,大豆异黄酮水解率和转化率均变化不显著。因此,为提高水解效率,选择最佳酶解时间为5~6 h。

### 3 结论

不同纤维素酶对糖苷型大豆异黄酮水解率和苷元型大豆异黄酮转化率效果不同,通过考察10种纤维素酶对上述2个指标的影响,发现纤维素酶2、酶3、酶4和酶5水解大豆异黄酮可得到相对较高的水解率和转化率,而纤维素酶3价格较低,适合规模化生产使用,为规模化水解制备苷元型大豆异黄酮提供了可行性。

纤维素酶3可有效水解糖苷型大豆异黄酮,底物质量浓度0.8~2.0 mg/mL、酶添加量7%~11%、反应体系pH 5.0、酶解温度55℃、酶解时间5~6 h是较经济有效的工艺参数。在实验优化过程中,糖苷型大豆异黄酮总水解率超过90%,苷元型大豆异黄酮总转化率接近60%。以上结果说明纤维素酶催化水解大豆异黄酮,可显著增加大豆异黄酮中苷元含量,有效提高大豆异黄酮的利用价值。

### 参考文献:

- [1] 韩锋, 翟桂香. 大豆异黄酮及其水解研究进展[J]. 粮油食品科技, 2004(5): 35-36.
- [2] ZAHEER K, AKHTAR M H. An updated review of dietary isoflavones: nutrition, processing, bioavailability and impacts on human health[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2017, 57(6): 1280-1293.
- [3] DAS D, SARKAR S, BORDOLDI J, et al. Daidzein, its

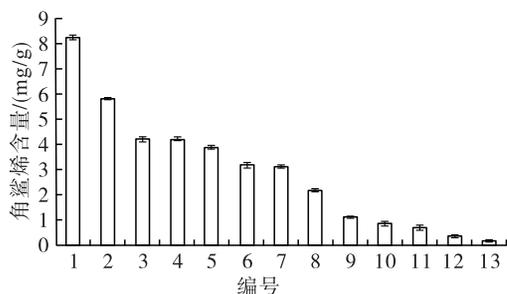
effects on impaired glucose and lipid metabolism and vascular inflammation associated with type 2 diabetes[J]. Biofactors, 2018, 44(5): 407-417.

- [4] ABDELLA A, EL - BAZ A F, IBRAHIM I A, et al. Biotransformation of soy flour isoflavones by *Aspergillus niger* NRRL 3122  $\beta$  - glucosidase enzyme[J]. Nat Prod Res, 2018, 32(20): 2382-2391.
- [5] HIRAMATSU E Y, DE ÁVILA A R A, GÊNNOVA V M, et al. Biotransformation processes in soymilk isoflavones to enhance anti - inflammatory potential in intestinal cellular model[J/OL]. J Food Biochem, 2020, 44(3): e13149 [2022-01-05]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13149>.
- [6] 高荣海, 赵秀红, 郑艳, 等. 大豆异黄酮糖苷和苷元免疫功能研究[J]. 粮食与油脂, 2008(7): 43-44.
- [7] TORSTEN B. Isoflavone bioavailability from foods and supplements dietary factors impacting utilization[J]. Agric Food Ind Hi - Tech, 2010, 21(2): 59-62.
- [8] SUN Y, ZHANG Y Z, LIU N, et al. Hydrolysis of genistin and daidzin by a  $\beta$  - glucosidase purified from *Lentinula edodes* [J]. J Med Plant Res, 2010, 4(24): 2684-2690.
- [9] MANN G E, BONACASA B, ISHII T, et al. Targeting the redox sensitive Nrf2 - Keap1 defense pathway in cardiovascular disease: protection afforded by dietary isoflavones[J]. Curr Opin Pharmacol, 2009, 9(2): 139-145.
- [10] TAKAHASHI R, OHMORI R, KIYOSE C, et al. Antioxidant activities of black and yellow soybeans against low density lipoprotein oxidation[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(11): 4578-4582.
- [11] JUNG Y, KIM Y, KIM A T, et al. Enrichment of polyglucosylated isoflavones from soybean isoflavone aglycones using optimized amylosucrase transglycosylation [J/OL]. Molecules, 2020, 25(1): 181 [2022-01-05]. <https://doi.org/10.3390/molecules25010181>.
- [12] 蒋大海, 田娟娟, 宋宏哲, 等. 大豆异黄酮水解方法的比较[J]. 粮食与食品工业, 2008(1): 25-27.

(下转第139页)

### 2.3 不同品种橄榄油的角鲨烯含量

图2为采自同一引种地、同一成熟度不同品种油橄榄果制取的橄榄油中角鲨烯含量。



注:1. 阿斯;2. 鄂植8号;3. 小苹果;4. Kor-S;5. 皮瓜尔;6. 科拉蒂;7. 佛奥;8. 城固32;9. 九峰6号;10. 卡林;11. 贝拉;12. 豆果;13. 莱星

图2 不同品种橄榄油的角鲨烯含量

由图2可见,角鲨烯含量最高的为‘阿斯’橄榄油,含量为8.3 mg/g,角鲨烯含量最低的为‘莱星’橄榄油,含量为0.1 mg/g,角鲨烯含量较高的品种有‘阿斯’‘鄂植8号’‘小苹果’‘Kor-S’‘皮瓜尔’‘科拉蒂’‘佛奥’‘城固32号’等8个品种,其他5个品种的角鲨烯含量相对较低,在0.1~1.1 mg/g之间,说明不同品种橄榄油中角鲨烯含量差异显著。

### 3 结论

云南省不同引种地的同一品种橄榄油脂肪酸组成具有一定的相似性,大多聚于一类,同一品种橄榄油中的脂肪酸组成总体上具有一定的遗传稳定性。另外,同一品种不同成熟度油橄榄果制取的橄榄油脂肪酸组成差异不大。不同品种橄榄油中角鲨烯含量差异显著。

### 参考文献:

- [1] RONDANINI D P, CASTRO D N, SEARLES P S, et al. Contrasting patterns of fatty acid composition and oil accumulation during fruit growth in several olive varieties and locations in a non - Mediterranean region [J]. *Eur J Agron*, 2014, 52(1): 237 - 246.
- [2] BELTRÁN G, BUCHELI M E, AGUILERA M P, et al. Squalene in virgin olive oil: screening of variability in olive cultivars [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2016, 118(8): 1 - 4.
- [3] 金英姿,葛亮. 橄榄油的营养成分及其保健功能[J]. *农产品加工:学刊*, 2012(6): 94 - 96.
- [4] 柏云爱,宋大海,张富强,等. 油茶籽油与橄榄油营养价值的比较[J]. *中国油脂*, 2008, 33(3): 39 - 41.
- [5] 于长青. 橄榄油的化学成分对人体的营养价值[J]. *食品科技*, 2000(2): 59 - 60.
- [6] CAPONIO F, GOMES T, PASQUALONE A. Phenolic compounds in virgin olive oils: influence of the degree of olive ripeness on organoleptic characteristics and shelf - life [J]. *Eur Food Res Technol*, 2001, 212(3): 329 - 333.
- [7] BELTRAN G, DEL RIO C, SANCHEZ S, et al. Influence of harvest date and crop yield on the fatty acid composition of virgin olive oils from cv. Picual [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52: 3434 - 3440.
- [8] 肖友国. 植物油中生物活性成分的研究与展望[J]. *粮食与食品工业*, 2006, 13(4): 1 - 5.
- [9] FERRARA L A, RAIMONDI A S, EPISCOPO L, et al. Olive oil and reduced need for antihypertensive medications [J]. *Arch Int Med*, 2000, 160: 837 - 842.
- [10] accumulation [J]. *Appl Biochem Biotechnol*, 2020, 192(3): 734 - 750.
- [11] HU S L, WANG D M, HONG J. A simple method for *beta* - glucosidase immobilization and its application in soybean isoflavone glycosides hydrolysis [J]. *Biotechnol Bioproc Eng*, 2018, 23: 39 - 48.
- [12] 孙杰心. 固态发酵法制备大豆异黄酮甙元的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2005.
- [13] 李丹,李晓磊,李荣和. 纤维素酶水解大豆异黄酮糖苷混合物的抗氧化活性[J]. *食品研究与开发*, 2008(8): 1 - 4.
- [14] 高荣海,赵秀红,刘长江. 大豆异黄酮糖苷酶法水解工艺研究[J]. *粮食与油脂*, 2008(2): 18 - 20.
- [15] 周文红,郭咪咪,毕艳红,等. 酶解制备甙元型大豆异黄酮[J]. *中国油脂*, 2020, 45(12): 100 - 104.
- [13] AMANDA R A D Á, LÍVIA D D Q, DANIELLE B L, et al. Enhanced estrogenic effects of biotransformed soy extracts [J]. *J Funct Foods*, 2018, 48: 117 - 124.
- [14] YANG S, WANG L, YAN Q, et al. Hydrolysis of soybean isoflavone glycosides by a thermostable  $\beta$  - glucosidase from *Paecilomyces thermophila* [J]. *Food Chem*, 2009, 115(4): 1247 - 1252.
- [15] ZHU Y, WANG Z, ZHANG L. Optimization of lactic acid fermentation conditions for fermented tofu whey beverage with high - isoflavone aglycones [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2019, 111: 211 - 217.
- [16] ANGELOTTI J, DIAS F, SATO H H, et al. Improvement of aglycone content in soy isoflavones extract by free and immobilized  $\beta$  - glucosidase and their effects in lipid

(上接第115页)