

二苯乙烯C-糖苷和O-糖苷的合成研究进展

王丽丽, 袁嘉遥, 李文玲

兰州交通大学化学化工学院, 甘肃 兰州

收稿日期: 2026年8月20日; 录用日期: 2026年9月16日; 发布日期: 2026年9月28日

摘 要

二苯乙烯类化合物具有丰富多样的生物活性, 在人类生活中具有潜在的药用价值, 它们的合成和应用已被广泛研究, 然而, 这些二苯乙烯类化合物在水中的不溶性极大限制了它们的生物利用度和药物开发。因此, 在二苯乙烯单体上引入糖基有助于增加溶解度, 降低毒性。本文归纳总结了近年来二苯乙烯O-糖苷和C-糖苷化合物的化学合成以及生物合成等方面的研究进展, 并对未来该邻域的发展进行了展望。

关键词

二苯乙烯, C-糖苷, O-糖苷, 溶解度, 合成

Research Progress in the Synthesis of C-Glycosides and O-Glycosides of Styrene

Lili Wang, Jiayao Yuan, Wenling Li

School of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu

Received: August 20, 2026; accepted: September 16, 2026; published: September 28, 2026

Abstract

Stilbene compounds exhibit a wide range of biological activities and possess potential medicinal value for human applications, and their synthesis and application have been extensively investigated. Nevertheless, the poor water solubility of stilbenes severely restricts their bioavailability and pharmaceutical development. Accordingly, glycosylation modification on stilbene monomers can improve their aqueous solubility and reduce toxicity. This paper summarizes the recent advances in chemical synthesis and biosynthesis of stilbene O-glycosides and C-glycosides, and prospects the future development of this field.

文章引用: 王丽丽, 袁嘉遥, 李文玲. 二苯乙烯 C-糖苷和 O-糖苷的合成研究进展[J]. 有机化学研究, 2026, 14(3): 440-450.
DOI: 10.12677/jocr.2026.143038

Keywords

Stilbenes, C-Glycosides, O-Glycosides, Solubility, Synthesis

Copyright © 2026 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

多羟基二苯乙烯, 是从白色藜芦根中分离得到的, 是葡萄和红葡萄酒的次要成分[1]。白藜芦醇(1)在“法国悖论”中起着关键作用, 即, 在喝红酒的法国公民中观察到的冠心病风险较低, 并且具有抗菌, 抗真菌, 抗癌和抗衰老特性等生物活性[2]。如图 1 所示这类化合物的其他著名成员包括 Oxyresveratrol (2) 和 Piceatannol (3), 其具有酪氨酸激酶抑制活性沿着抗癌、抗炎和自由基清除活性[3]。Xiao 等人发现, 芪类的糖基化增加了所得化合物的稳定性[4]。此外, 通过葡萄糖基化对多羟基芪类化合物进行结构修饰, 不仅增加了这些化合物的水溶性, 降低毒性和副作用, 添加的糖基部分还可以掩盖酚基并保护它们不被氧化[5] [6]。还能将它们转化为具有抗血小板活性的前药[7], 类似地, 白藜芦醇的 3-O-葡萄糖基化类似物 trans-piceid (4)抑制血小板聚集[8], O-葡萄糖基化类似物具有抗真菌、抑制脂氧合酶和清除自由基的活性[9]。总的来说, 糖基化可以潜在地改善药代动力学, 增强所需的效力。

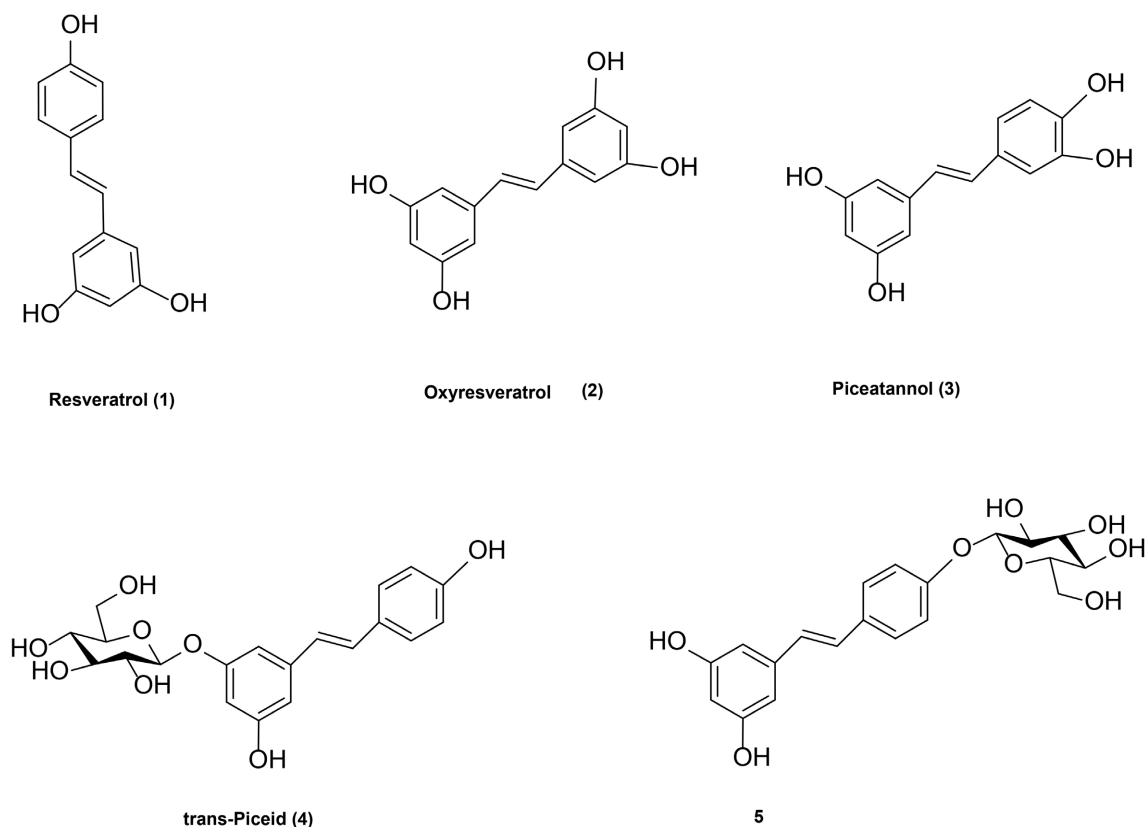


Figure 1. Resveratrol monomer and resveratrol-O-glucoside compound

图 1. 白藜芦醇单体及白藜芦醇 O-糖苷化合物

二苯乙烯糖苷化合物包括二苯乙烯 O-葡萄糖苷和 C-葡萄糖苷,天然二苯乙烯 O-葡萄糖苷是植物中的一类次生代谢产物和必需成分,来源有限,极性大,从而增加了植物中分离纯化的成本,因此,二苯乙烯 O-葡萄糖苷化学合成是必要的,在二苯乙烯单体上引入糖基有助于增加溶解度,降低毒性,天然二苯乙烯 O-葡萄糖苷是植物中的一类次生代谢产物和必需成分,其构效关系近年来受到研究者的关注[10]。在过去的一百年里,已经开发了许多多酚 O-葡萄糖苷的合成方法[11]。但是合成的产率都极低,二苯乙烯 O-葡萄糖苷的区域选择性合成面临巨大挑战。

天然芳香 C-糖苷是由芳环和糖之间以碳-碳键形式连接起来的一类化合物,因具有显著且丰富多样的药理活性如抑制肿瘤生长、抗炎、抗氧化、降血脂等[12]目前报道最多的是黄酮类 C-糖苷化合物的分离鉴定、生物活性及其合成研究[13]分布于多种植物中的二苯乙烯类 C-糖苷及其低聚物,如图 2 所示白藜芦醇(1)的 C-糖苷单体(6)和(7)及其 8~10 [14]的稳定性、水溶性以及生物利用度都明显高于相应的二苯乙烯母体,也因此有更大的潜在药用价值。但因它们自然丰度低、提取困难,极大地限制了对其活性展开深入研究,目前也未见有相关化合物的合成报道。

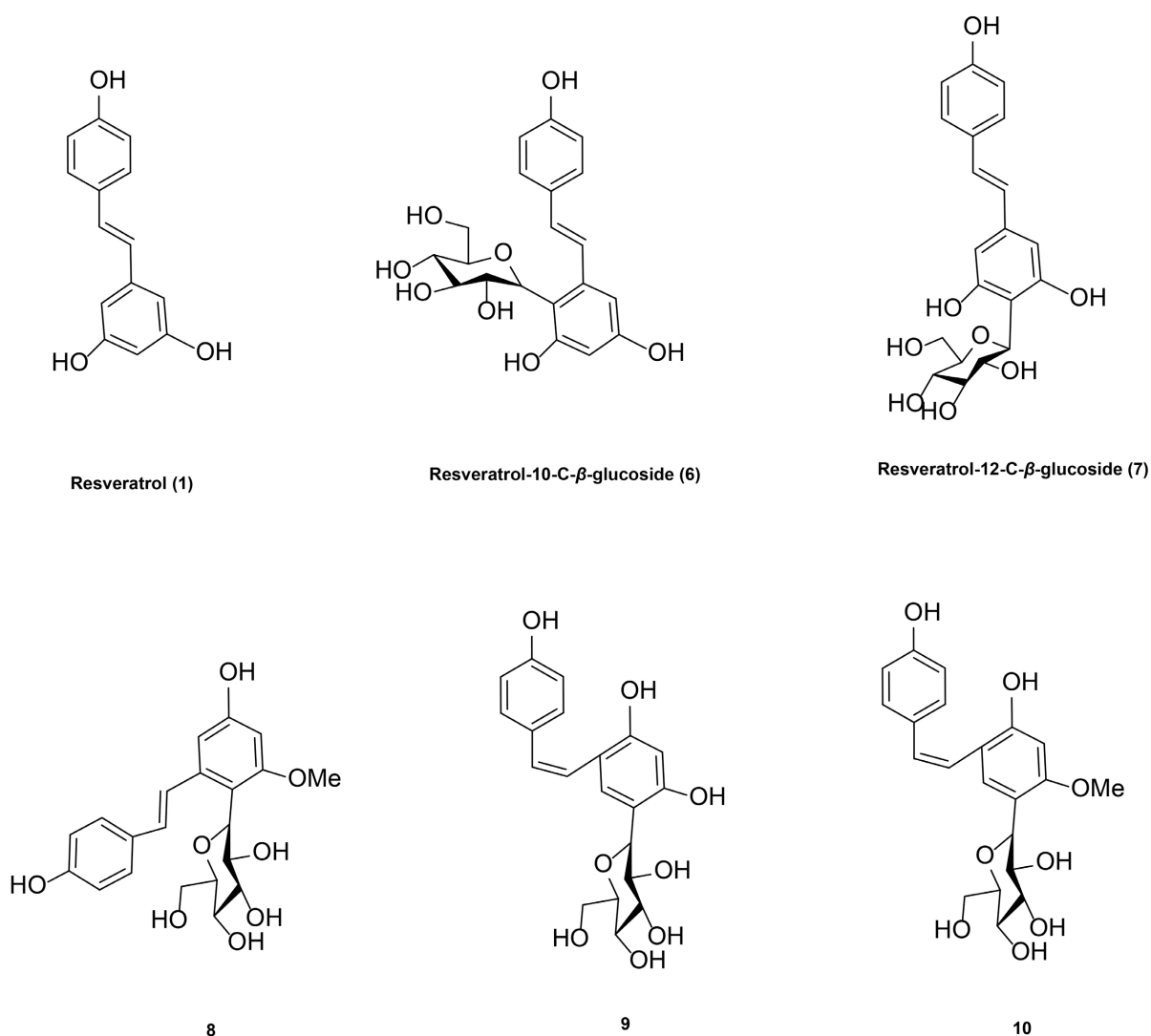


Figure 2. Resveratrol monomer and resveratrol C-glycoside compounds

图 2. 白藜芦醇单体及白藜芦醇 C-糖苷化合物

传统上, 这些 O-葡萄糖苷二苯乙烯类似物是从天然来源中分离出来的[15], 或者通过化学[16]或酶促方法制备[17]。在体内实验条件下, C-糖苷相对于 O-糖苷对应物具有较高的酶促稳定性, 因此前者被认为是更好的治疗靶点[18] [19]。C-糖苷芪类化合物的生物活性还没有被研究, 特别是因为它们很少出现[15], 并且缺乏直接的合成方法来制备它们。由于多羟基芪类化合物的糖基化和甲氧基化类似物具有潜在的生物活性, 开发取代的 C-糖苷芪类化合物的合成策略是值得奋进的。

2. 合成方法

2.1. 二苯乙烯 O-糖苷化合物的合成

2.1.1. 化学合成

Ricardo Lucas [20]等人描述了一种简单而直接的化学合成白藜芦醇 O- β -D-葡萄糖醛酸苷的策略。如图 3 所示首先 Ricardo Lucas 等人初始反应条件使用葡萄糖醛酸基供体 12, 在无水二氯甲烷中并使用 TMSOTf 作为促进剂, 以 54% 的产率产生受保护的化合物 15。当使用无水二氯甲烷中, BF_3OEt_2 作为促进剂时, 得到比先前报道的更好的产率获得白藜芦醇衍生物 14 (71%)。通过用 THF 中的 HFPy 处理和碱性水解, 在两个步骤中将白藜芦醇衍生物 14 脱保护, 得到化合物 16 (67%)。

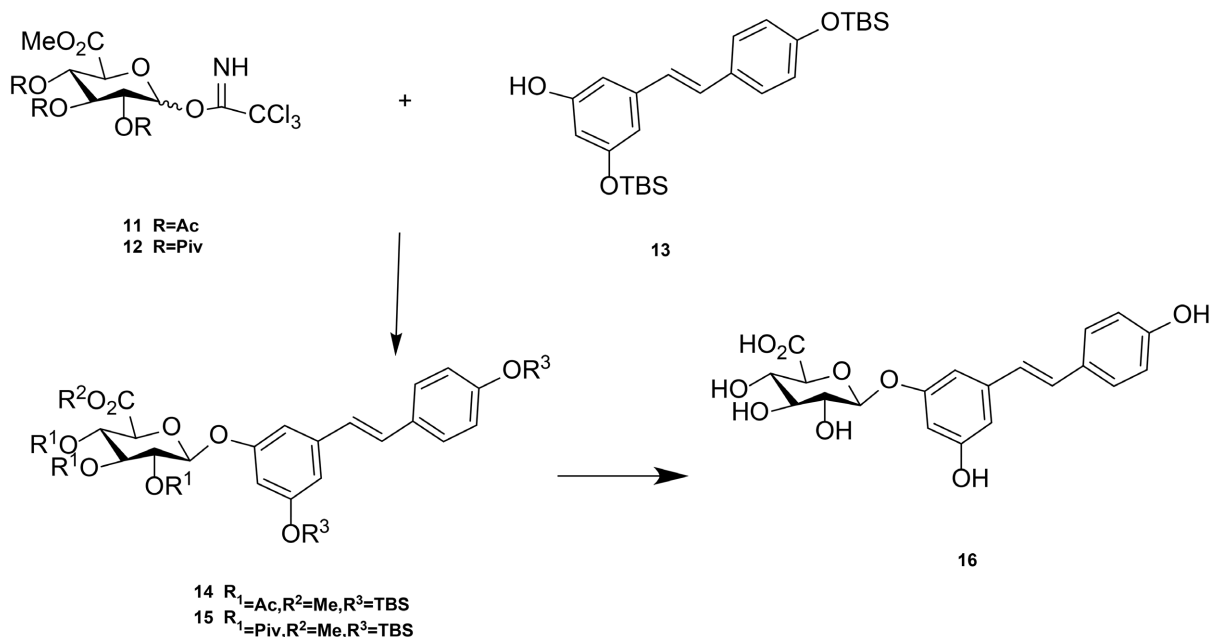


Figure 3. Synthesis of protected resveratrol compounds 14, 15, 16

图 3. 合成受保护的白藜芦醇化合物 14, 15, 16

Haiping Qiu, 等人[21]用简单的 3,5-二羟基-苯甲醛 17 和乙酰溴- α -D-葡萄糖 18, 如图 4 所示先在 Ag_2CO_3 催化的乙腈(MeCN)作用下于室温反应, 得到预期的单 O-糖基化产物 19, 产率 41%。吡啶或 Ag_2O -喹啉作为不溶性亲盐促进剂, 只生成 β -构型的葡萄糖苷[22]。当使用喹啉与 MeCN 时, 19 的产率达到 61%。为了构建芪 4 的关键双键, 将 Wittig 反应应用于醛 20, 但是在 Wittig 反应之前, 必须保护磷叶立德和糖基化苯甲醛 19 中的酚羟基以有效进行。选择相对稳定的苄基保护苯甲醛 19。采用 MeCN 代替 DMF 进行 19 的苄基化反应, 20 的产率可达 95%, 但是反应中产生了具有等量的(Z)-22 和(E)-22 芪的混合物, 将其在 THF 中进行(PhS)₂-促进的顺式/反式异构化, 以中等产率形成(E)-22。(E)-22 的整体脱保护是合成白藜芦醇 O-葡萄糖苷 4 的关键步骤。通过一步或两步反应可以去除两个不同的保护基, 即苄基和

乙酰基。首先,在室温下, $\text{AlCl}_3/\text{PhNMe}_2$ 催化的(E)-22 在 CH_2Cl_2 中的脱苄基反应导致具有相似极性的多种产物的混合物,收集脱苄基反应中的大极性产物,在甲醇钠/甲醇体系中进行脱乙酰化反应,以 31% 的总收率得到目标化合物 4。

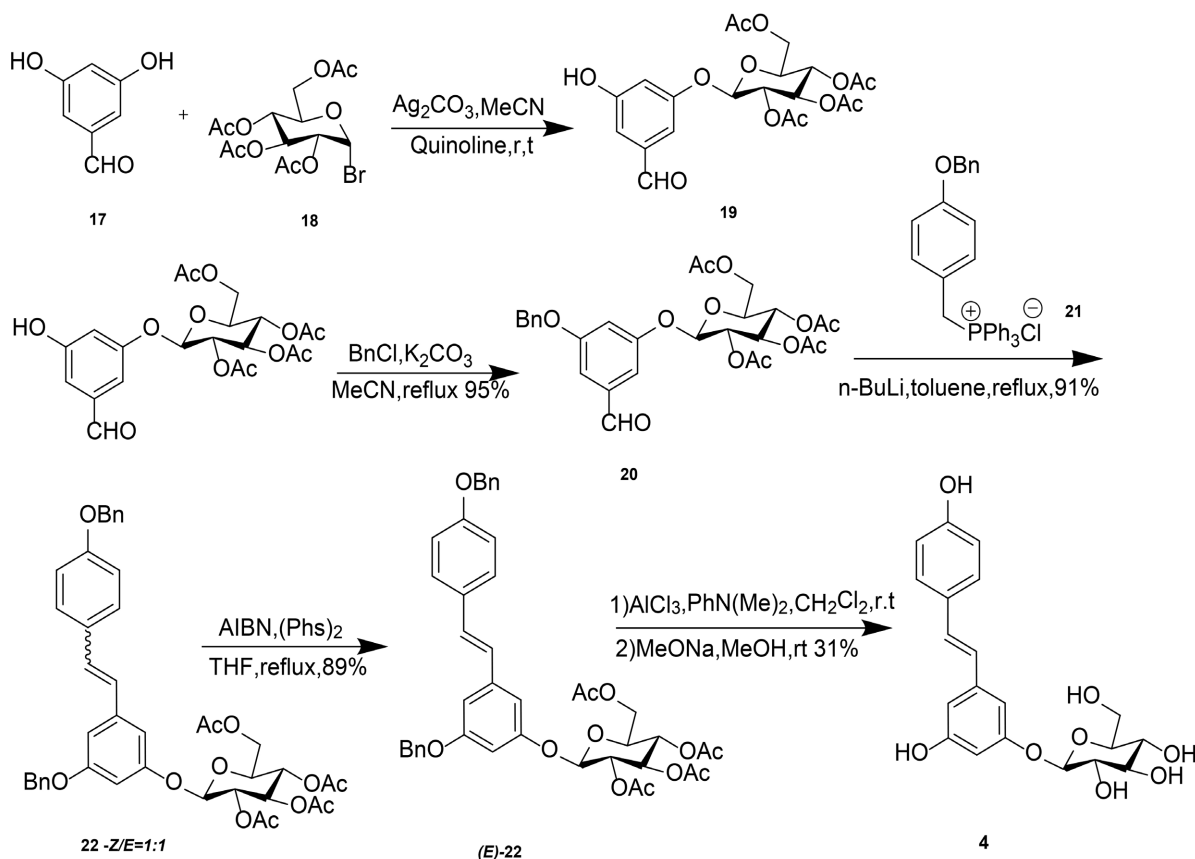


Figure 4. Synthesis of resveratrol-11-O- β -glucoside-4

图 4. 白藜芦醇 11-O- β -葡萄糖苷 4 的合成

Zhang [23] 等人报道的策略, 经过修改, 制备了葡萄糖基化的白藜芦醇衍生物 5, 32, 33, 如图 5 所示白藜芦醇 1 的随机 TBDMS-保护和随后的色谱分离提供了四种可能的酚醇前体 23~26 和完全甲硅烷基化的白藜芦醇 27 (产率分别为 24%、18%、6%、22%和 7%)。使用 2,3,4,6-四-O-苯甲酰基-D-吡喃葡萄糖基三氯乙酰亚胺酯 28 作为糖基供体进行, 23 比以前使用的三氯乙酰亚胺酯衍生物更常见, 制备更简单。但是, 单葡萄糖基化 29 和二葡萄糖基化的白藜芦醇衍生物的产率(30 和 31)化合物的浓度略低于(分别为 60%、40%和 64%)使用三氯乙酰亚胺酯供体报告的浓度。用在 MeOH THF 中的 3 N NaOH 水溶液一步脱保护, 得到化合物 5、32 和 33 (产率分别为 50%、83%和 84%)。以白藜芦醇苷 4 为原料, 采用硅胶固定化疏绵状高温羧酯酶一步酰化制备了白藜芦醇苷酰衍生物 34~38 (Lipozyme TL IM)反应在叔丁醇中进行, 和相应的脂肪酸乙酯为酰化剂, 反应混合物经短柱层析, 以很高的产率得到前药 34~38。

2.1.2. 酶促合成

白藜芦醇 1 最初被描述为一种植物抗毒素, 参与抵御微生物感染和环境压力的防御机制[24] [25]。在 Lijuan Xu [26] 等人的综述报道中, 工程化蔗糖磷酸化酶 R134 A 发现来自解热糖嗜热厌氧杆菌(*Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum*)的(EC 2.4.1.7)选择性地糖基化 1 并产生单一产物 4, 其具有 96%

的糖基化活性。这种酶催化蔗糖的磷酸解生成 α -葡萄糖 1-磷酸, 然后高效地将葡萄糖部分转移到 1 [27]。另一个值得注意的发现是, 含有美洲商陆葡萄糖基转移酶的重组大肠杆菌细胞主要将葡萄糖基转移到 4'-使用内源性 UDP-葡萄糖作为供体, 在不添加额外供体底物的情况下, 将白藜芦醇(1)的羟基转化为白藜芦醇糖苷(4)和白藜芦醇糖苷(5)。此外, 来自链霉菌的葡萄糖基转移酶 OleD 可以将白藜芦醇(1)转化为单葡萄糖苷(4)和单葡萄糖苷(5)之外的二葡萄糖苷(33)和二葡萄糖苷(32)。更有趣的是, 发现来自尼日尔 K2 的内切- β -葡萄糖苷酶(EC 3.2.1.168)在存在作为糖基供体的芦丁 40 的情况下将二糖芸香糖转移至 1 并产生 41 和 42。如图 6 所示(a)嗜热厌氧微生物的 α -环糊精葡聚糖基转移酶(b)美洲假单胞菌的 β -葡萄糖基转移酶(c)来自嗜热链球菌的 β -葡萄糖基转移酶(d)芸香糖苷酶。

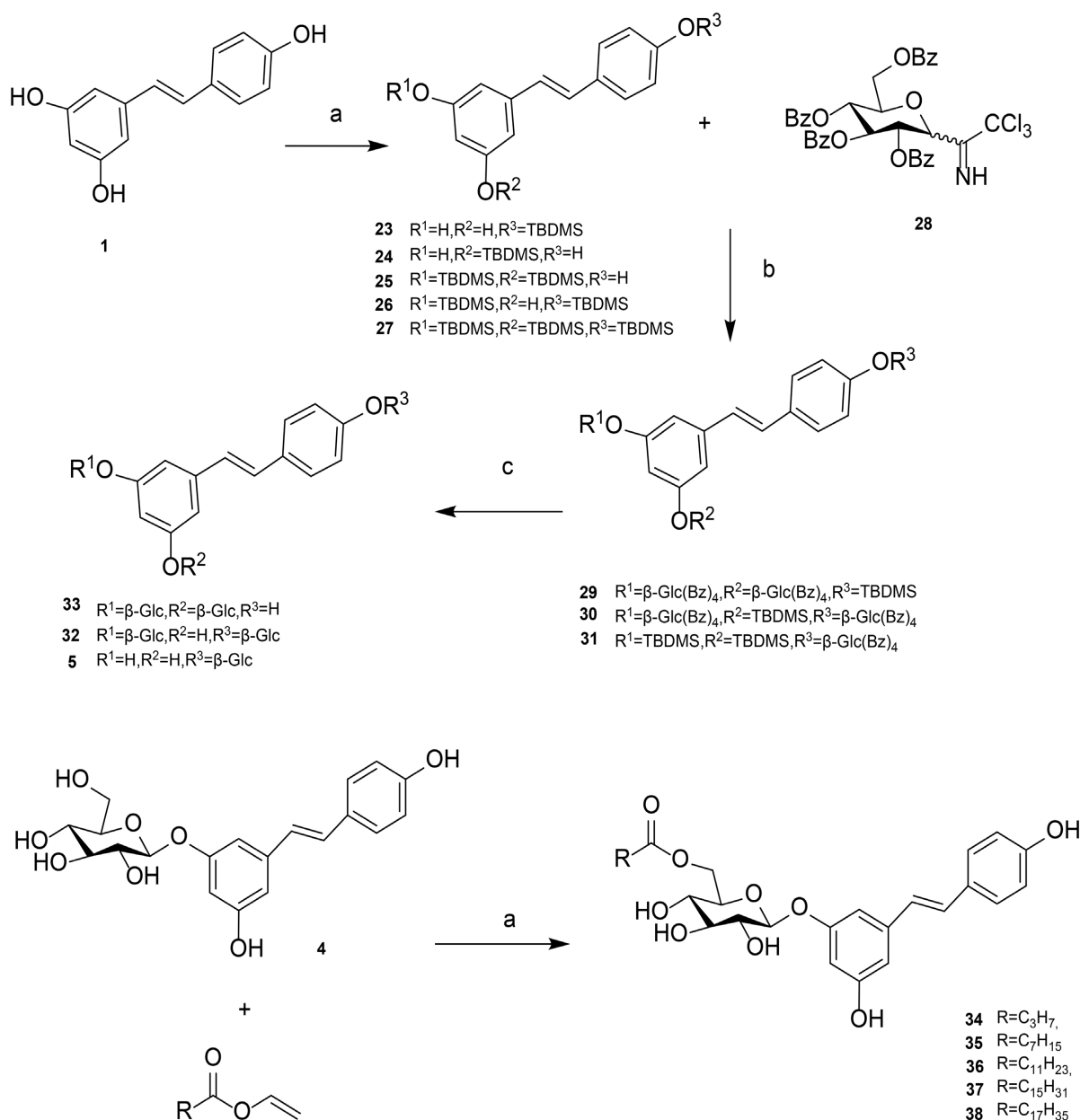


Figure 5. Synthesis of resveratrol fatty acid esters (34~38)

图 5. 白藜芦醇脂肪酸酯 34~38 的合成

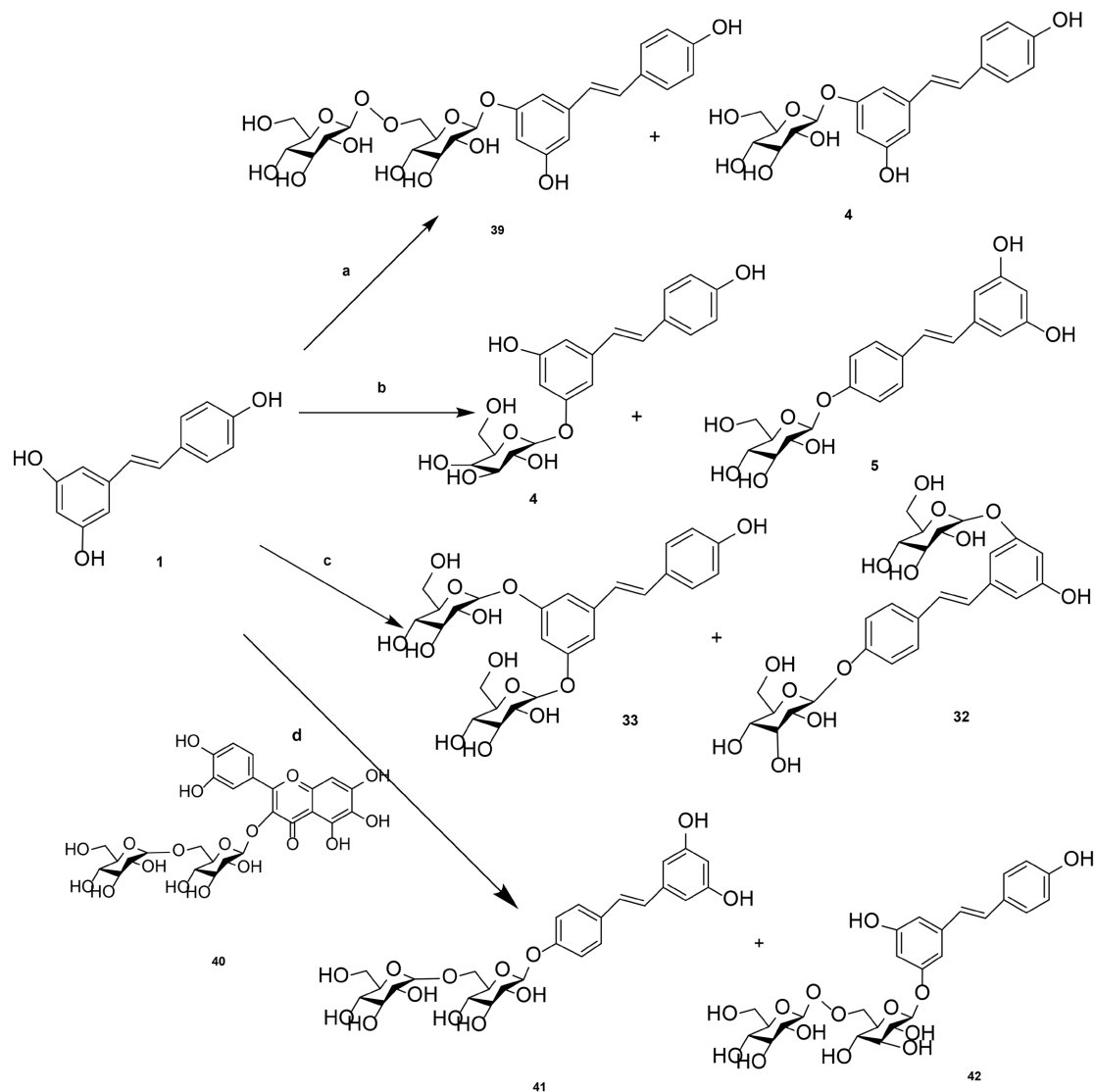


Figure 6. Resveratrol enzymatic glycosylation
图 6. 白藜芦醇的酶促糖基化

2.2. 二苯乙烯 C-糖苷化合物的合成

Kumar [28]报道了制备单-和双-的一般合成策略,如图7微波辅助 Heck 偶联反应合成(C-糖基)反式芪类化合物他们的合成方法采用了广泛的底物(就糖和苯乙烯而言),并且评价了制备的类似物的人 SGLT-2 抑制活性。

如图7所示,通过2,3,4,以6-四-O-苄基-D-吡喃葡萄糖基三氯乙酰亚胺酯(43) [29]为糖基供体,在 $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$ 存在下,与间苯二酚二甲醚(44 a)反应,得到 C-吡喃葡萄糖苷 45 [29],产率 70%,产物为 β -端基异构体。在酸性条件下富含苯环,路易斯酸和离去基团的选择是获得最佳产率的关键。在路易斯酸(如三氟化硼和氯化锌)的存在下,全苄基三氯乙酰亚胺酯供体与甲氧基苯之间的 Friedel-Crafts 反应提供了在甲氧基邻位具有高区域选择性和高 β -选择性的芳基 C-糖苷。然而,在不同的路易斯酸催化条件下,使用白藜芦醇和氧化白藜芦醇与各种糖基供体的 Suzuki 的 $\text{O} \rightarrow \text{C}$ 重排反应的尝试证明是不成功的,不能获得任何显著的 C-糖苷产物。

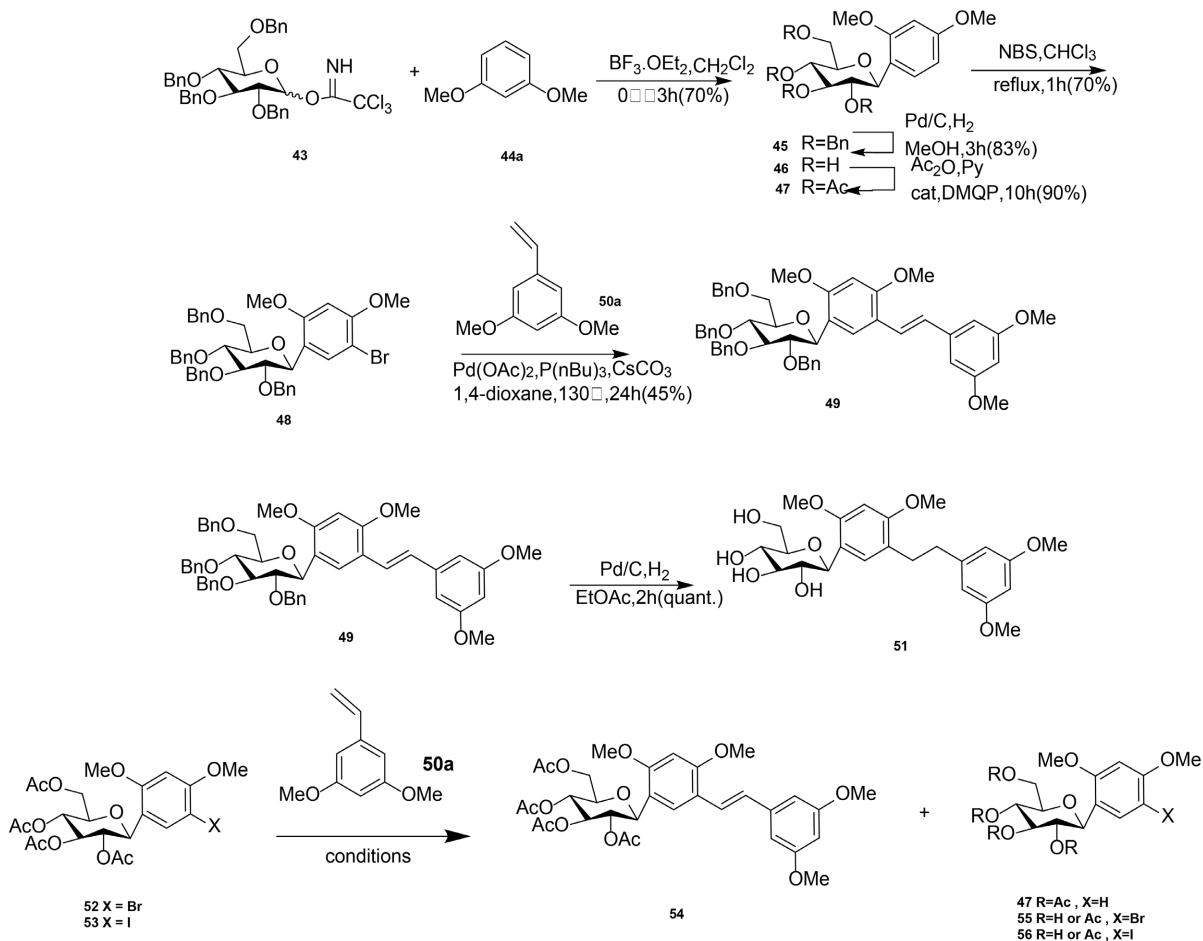


Figure 7. Synthesis of fully protected C-glycosyl-trans-stilbene-49, 56

图 7. 完全保护的 C-糖基反式 - 芪 49, 56 的合成

接下来, 通过在 CHCl_3 中在回流下用 N-溴代琥珀酰亚胺(NBS)处理来实现 45 的芳环的 C5 位置处的溴化^[30], 以 70%产率得到相应的 5-溴代衍生物 45, 研究了 Pd II 催化的溴代芳烃 45 与 3,5-二甲氧基苯乙烯的 Heck 反应, 4-二氧六环在 130°C 下在密封管中反应 20 小时, 得到 45%的反式二苯乙烯衍生物 49。接下来尝试对苄基保护的顺式二苯乙烯 49 进行脱保护。通过催化氢解(Pd/C, H_2)进行脱苄基反应, 导致苄基基团被去除, 同时二苯乙烯双键被还原, 得到二氢二苯乙烯类化合物 51 作为唯一产物。

为了构建芪的关键是在交叉偶联反应之前, 用乙酰基取代芳基 C-葡萄糖苷中的苄基保护基, 因此, 使用 47 制备了全-O-乙酰化的 C-吡喃葡萄糖基芳基卤(即 52 和 53)。在优化条件下, 不同的苯乙烯衍生物被用于分子量辅助的 Pd II 催化的 53 和 50a 在 Heck 偶联反应 3 摩尔% $\text{Pd}(\text{OAc})_2$, 10 摩尔% Dave-Phos, 2 当量 TBAE, CH_3CN , 130°C , 1.5 小时, 250 瓦条件下反应 60%的产率得到相应的完全保护的顺式 - 芪 C-葡萄糖苷。和邻位羟基取代基耐受良好。

马文晋等人^[31]探索了几种保护的二苯乙烯单体 57~62 在 $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$ -DCM 体系中与糖基供体 64 进行糖苷化反应, 成功地合成了六个二苯乙烯 10-C- β -糖苷中间体 57a~62a、三个 12-C- β -糖苷单体 57b、58b 和 62b。如图 8 所示, 由白藜芦醇 1 出发, 经酚羟基的醚化反应分别合成甲基(Me)保护的二苯乙烯 57、烯丙基(Allyl)保护的单体 58、苄基(Bn)保护的单体 59 和叔丁基二甲基硅基(TBS)保护的单体 60, 接着与糖供体 64, 在 $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$ -二氯甲烷(DCM)条件下进行糖苷化反应, 得到产率分别为(9%, 45%, 9%, 56%, 21%,

42%)的 57a~62a 和三个 12-C- β -糖苷单体 57b、58b 和 62b。最后脱除酚羟基的各类保护基和糖苷上的苄基, 就能合成目标的天然白藜芦醇 C-糖苷化合物, 这也是有难度且具挑战性的工作, 其中糖苷上苄基保护基的脱除是获得目标产物的关键和难点, 因此首先尝试先脱除糖苷上苄基, 然后脱除酚羟基保护基的两步法。脱除糖苷上苄基最常使用的方法是催化氢解法, 但往往不适合含有不饱和键的反应物。以质量分数为 10% 的 Pd-C 为催化剂, 环己烯或 1,4-环己烯作为氢源, N,N-二甲基甲酰胺(DMF)-EtOH (V: V = 1:1)为溶剂的催化氢解条件可以脱除苄基, 同时不影响底物中的烯烃双键[32], 遗憾的是尝试用此条件去脱除二苯乙烯 C-糖苷化物 57~60 中的苄基保护基, 发现二苯乙烯双键被还原成复杂产物。另外 Lewis 酸 AlCl_3 或 BBr_3 催化可以脱除苄基保护基, 同时 Me、Bn、Ally 和 TBS 保护基在此酸性条件下也不稳定, 易脱除, 于是尝试用 AlCl_3 -PhNMe₂-DCM 或 BBr_3 -DCM 反应体系, 以期一步脱除 C-糖苷化单体 57~60 中所有保护基, 但多数反应都是得到极性非常相近的保护基脱除不完全的复杂、难分离产物。虽然最终未能分离到纯净的全脱保护基的目标化合物。但是, C-糖苷化单体 61a 在 BBr_3 -DCM 体系中经不断优化反应条件, 最终以 40% 的分离产率得到完全脱除苄基的中间体 63。

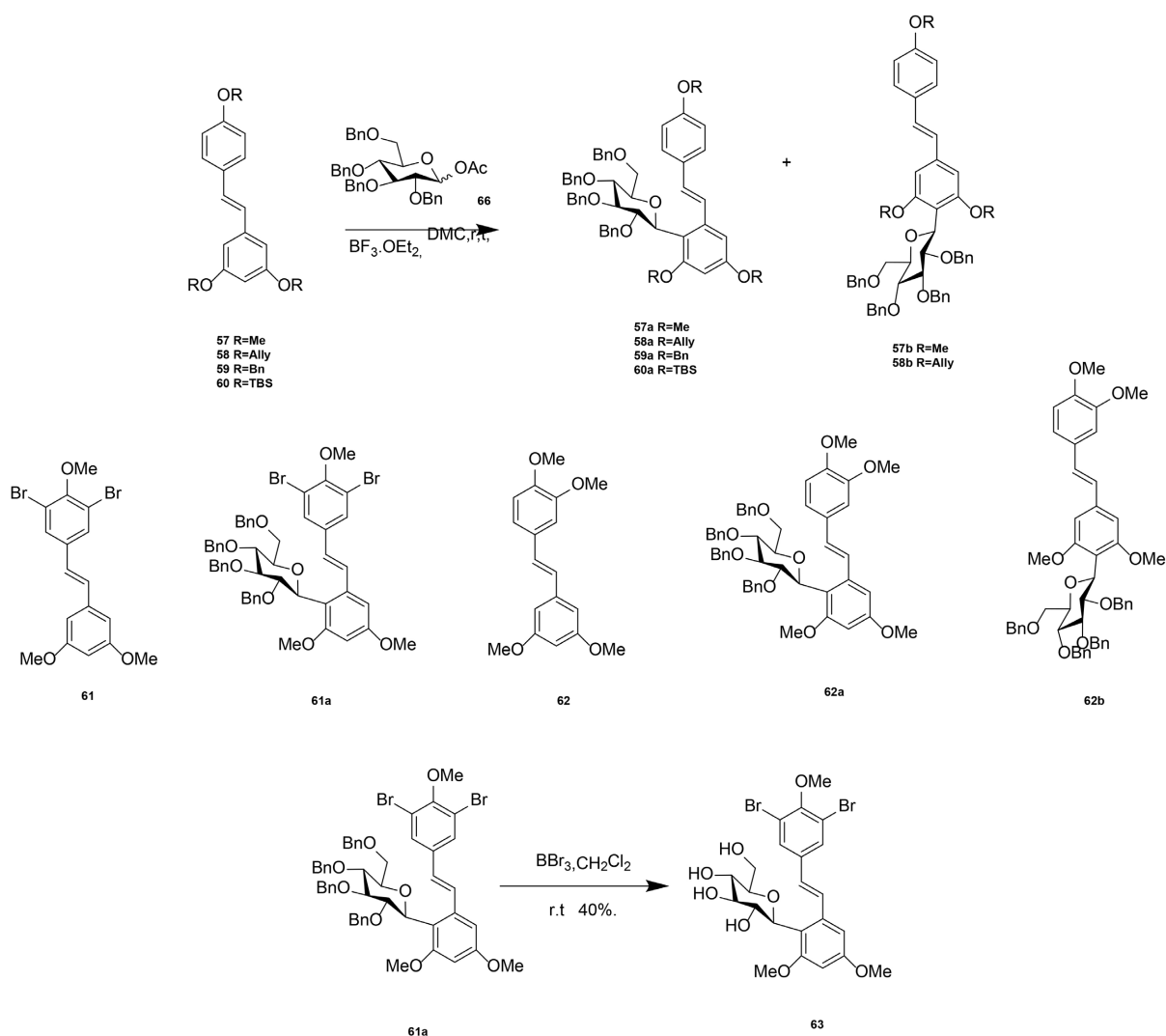


Figure 8. Stilbenes and their C-glycosylation products

图 8. 二苯乙烯和它们的碳糖苷化反应产物

3. 总结与展望

二苯乙烯类化合物活性优异但水溶性差限制了药用开发,糖基化修饰可有效改善其溶解度、降低毒性,目前该领域围绕 O-糖苷与 C-糖苷的化学合成、生物合成已取得诸多进展,但是现有合成方法仍存在选择性不足、规模化难度大等问题。未来可进一步融合化学与生物合成等技术优化制备路径,深化药理作用靶点与代谢机制研究,开发新型糖苷衍生物并推进制剂研发与产业化应用,挖掘其在新药开发、功能性健康产品等领域的应用潜力。

参考文献

- [1] Ahuja, I., Kissen, R. and Bones, A.M. (2012) Phytoalexins in Defense against Pathogens. *Trends in Plant Science*, **17**, 73-90. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.11.002>
- [2] Zhang, Z., Chen, N., Liu, J., Wu, J., Zhang, J., Zhang, Y., *et al.* (2014) Protective Effect of Resveratrol against Acute Lung Injury Induced by Lipopolysaccharide via Inhibiting the myd88-Dependent Toll-Like Receptor 4 Signaling Pathway. *Molecular Medicine Reports*, **10**, 101-106. <https://doi.org/10.3892/mmr.2014.2226>
- [3] Hung, L.M., Chen, J.K., Lee, R.S., Liang, H.C. and Su, M.J. (2001) Beneficial Effects of Astringinin, a Resveratrol Analogue, on the Ischemia and Reperfusion Damage in Rat Heart. *Free Radical Biology and Medicine*, **30**, 877-883. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(01\)00474-9](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(01)00474-9)
- [4] Xiao, J. and Högger, P. (2015) Stability of Dietary Polyphenols under the Cell Culture Conditions: Avoiding Erroneous Conclusions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **63**, 1547-1557. <https://doi.org/10.1021/jf505514d>
- [5] Langenhan, J.M., Griffith, B.R. and Thorson, J.S. (2005) Neoglycorandomization and Chemoenzymatic Glycorandomization: Two Complementary Tools for Natural Product Diversification. *Journal of Natural Products*, **68**, 1696-1711. <https://doi.org/10.1021/np0502084>
- [6] Torres, P., Poveda, A., Jimenez-Barbero, J., Parra, J.L., Comelles, F., Ballesteros, A.O., *et al.* (2011) Enzymatic Synthesis of α -Glucosides of Resveratrol with Surfactant Activity. *Advanced Synthesis & Catalysis*, **353**, 1077-1086. <https://doi.org/10.1002/adsc.201000968>
- [7] Sovak, M. (2001) Grape Extract, Resveratrol, and Its Analogs: A Review. *Journal of Medicinal Food*, **4**, 93-105. <https://doi.org/10.1089/109662001300341752>
- [8] Lee, S., Kim, J.H., Kim, Y.S., *et al.* (2013) Resveratrol Suppresses LPS-Induced Inflammatory Responses in RAW264.7 Macrophages through Inhibition of NF- κ B and MAPK Pathways. *International Immunopharmacology*, **15**, 292-299.
- [9] Şöhretoğlu, D., Baran, M.Y., Arroo, R. and Kuruüzüm-Uz, A. (2018) Recent Advances in Chemistry, Therapeutic Properties and Sources of Polydatin. *Phytochemistry Reviews*, **17**, 973-1005. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9574-0>
- [10] Regev-Shoshani, G., Shoseyov, O., Bilkis, I. and Kerem, Z. (2003) Glycosylation of Resveratrol Protects It from Enzymic Oxidation. *Biochemical Journal*, **374**, 157-163. <https://doi.org/10.1042/bj20030141>
- [11] 张晶晶, 姚明, 李丽, 等. 白藜芦醇、白皮杉醇和赤松素的合成[J]. 有机化学, 2020, 40(4): 1062-1067.
- [12] Huang, G., Lv, M., Hu, J., Huang, K. and Xu, H. (2016) Glycosylation and Activities of Natural Products. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, **16**, 1013-1016. <https://doi.org/10.2174/138955751612160727164559>
- [13] Xiao, J.B., Capanoglu, E., Jassbi, A.R. and Miron, A. (2015) Advance on the Flavonoid c-Glycosides and Health Benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **56**, S29-S45. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1067595>
- [14] Baderschneider, B. and Winterhalter, P. (2000) Isolation and Characterization of Novel Stilbene Derivatives from Riesling Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **48**, 2681-2686. <https://doi.org/10.1021/jf991348k>
- [15] Ito, T., Tanaka, T., Ido, Y., Nakaya, K., Iinuma, M. and Riswan, S. (2000) Stilbenoids Isolated from Stem Bark of Shorea Hemsleyana. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, **48**, 1001-1005. <https://doi.org/10.1248/cpb.48.1001>
- [16] Kiessling, L.L. and Splain, R.A. (2010) Chemical Approaches to Glycobiology. *Annual Review of Biochemistry*, **79**, 619-653. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.77.070606.100917>
- [17] Torres, P., Poveda, A., Jimenez-Barbero, J., Parra, J.L., Comelles, F., Ballesteros, A.O., *et al.* (2011) Enzymatic Synthesis of α -Glucosides of Resveratrol with Surfactant Activity. *Advanced Synthesis & Catalysis*, **353**, 1077-1086. <https://doi.org/10.1002/adsc.201000968>
- [18] Bokor, É., Kun, S., Goyard, D., Tóth, M., Praly, J., Vidal, S., *et al.* (2017) c-Glycopyranosyl Arenes and Hetarenes: Synthetic Methods and Bioactivity Focused on Antidiabetic Potential. *Chemical Reviews*, **117**, 1687-1764. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00475>
- [19] Dos Santos, R.G., Jesus, A.R., Caio, J.M., *et al.* (2011) Fries-Type Reactions for the c-Glycosylation of Phenols. *Current*

- Organic Chemistry*, **15**, 128-148. <https://doi.org/10.2174/138527211793797855>
- [20] Lucas, R., Alcantara, D. and Morales, J.C. (2009) A Concise Synthesis of Glucuronide Metabolites of Urolithin-B, Resveratrol, and Hydroxytyrosol. *Carbohydrate Research*, **344**, 1340-1346. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2009.05.016>
- [21] Qiu, H., Tang, Z., Ma, W., Yuan, J. and Li, W. (2025) Total Synthesis of Four Natural Trans-Stilbene O-Glucosides. *Tetrahedron*, **171**, Article 134417. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2024.134417>
- [22] Yoshida, M., Takahashi, Y. and Hattori, T. (2004) Synthesis of Resveratrol O-Glucosides via Glycosylation with Glycosyl Fluoride. *Carbohydrate Research*, **339**, 1767-1773.
- [23] Zhang, Z., Yu, B. and Schmidt, R.R. (2006) Synthesis of Mono- and di-O- β -Glucopyranoside Conjugates of (E)-Resveratrol. *Synthesis*, **2006**, 1301-1306. <https://doi.org/10.1055/s-2006-926394>
- [24] Poulsen, M.M., Jørgensen, J.O.L., Jessen, N., Richelsen, B. and Pedersen, S.B. (2013) Resveratrol in Metabolic Health: An Overview of the Current Evidence and Perspectives. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1290**, 74-82. <https://doi.org/10.1111/nyas.12141>
- [25] Kraft, T.E., Parisotto, D., Schempp, C. and Efferth, T. (2009) Fighting Cancer with Red Wine? Molecular Mechanisms of Resveratrol. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **49**, 782-799. <https://doi.org/10.1080/10408390802248627>
- [26] Xu, L., Qi, T., Xu, L., Lu, L. and Xiao, M. (2016) Recent Progress in the Enzymatic Glycosylation of Phenolic Compounds. *Journal of Carbohydrate Chemistry*, **35**, 1-23. <https://doi.org/10.1080/07328303.2015.1137580>
- [27] Dirks-Hofmeister, M.E., Verhaeghe, T., De Winter, K. and Desmet, T. (2015) Creating Space for Large Acceptors: Rational Biocatalyst Design for Resveratrol Glycosylation in an Aqueous System. *Angewandte Chemie International Edition*, **54**, 9289-9292. <https://doi.org/10.1002/anie.201503605>
- [28] Kumar-Ponnapalli, K., Kumar Adak, A., Das, A., Song, J., Wu, S., Sun, C., *et al.* (2017) Trans-Stilbene c-Glycosides: Synthesis by a Microwave-Assisted Heck Reaction and Evaluation of the SGLT-2 Inhibitory Activity. *Asian Journal of Organic Chemistry*, **6**, 1308-1321. <https://doi.org/10.1002/ajoc.201700148>
- [29] Schmidt, R.R. and Michel, J. (1984) Glycosyl Imidates. 31. Syntheses of Aryl O-Glycosides by Use of Glycosyl Trichloroacetimidates. *Carbohydrate Research*, **128**, 275-287.
- [30] Mavlan, M., Ng, K., Panesar, H., Yepremyan, A. and Minehan, T.G. (2014) Synthesis of 3,3'-Di-o-Methyl Ardimerin and Exploration of Its DNA Binding Properties. *Organic Letters*, **16**, 2212-2215. <https://doi.org/10.1021/ol500725e>
- [31] Ma, W., Liu, H., Lei, T., Qiu, H., Yuan, J. and Li, W. (2024) Stereoselective Synthesis of Stilbene C-Glucosides. *Chinese Journal of Organic Chemistry*, **44**, Article 2943. <https://doi.org/10.6023/cjoc202402001>
- [32] Guleria, S.P.S. and Gupta, A.K. (2002) Phenolic Compounds in the Heartwood of Tectona Grandis. *Journal of Wood Science*, **48**, 242-246.