

甜菊糖不良风味的产生原因及 改善方案研究进展

王 熾, 俄克英

(甘肃普华甜菊糖开发有限公司, 甘肃 武威 733006)

摘要: 甜菊糖为来源于甜叶菊的天然甜味剂, 因其具有甜度高和低热量等特征而被广泛应用于食品、医药和酿酒等行业, 是公认的理想代糖。然而, 甜菊糖在表现高甜度的同时有着明显的后苦味和甘草味等不良风味。为了解决甜菊糖产生不良风味的问题, 从甜菊糖的提取工艺和甜菊糖苷的结构方面阐述了甜菊糖不良风味产生的原因, 从甜菊糖生产工艺优化和开发新一代高产 Reb D 和 Reb M 方面讨论了已有的改善方案, 总结了甜菊糖的未来发展与应用前景。

关键词: 甜菊糖; 天然甜味剂; 不良风味; 改善方案

中图分类号: TS202.3

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2024)07-0600-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.07.003

Research Progress on the Causes of Off-flavors in Stevioside and Improvement Strategies

WANG Xi, E Keying

(Gansu Puhua Stevia Sugar Development Co., Ltd., Wuwei Gansu 733006, China)

Abstract: Stevioside, a natural sweetener derived from *Stevia rebaudiana*, is widely used in the food, pharmaceutical, and brewing industries due to its high sweetness and low-calorie characteristics, making it an ideal sugar substitute. However, stevioside exhibits noticeable off-flavors such as bitterness and licorice aftertaste despite its high sweetness. To address the issue of off-flavors in stevioside, this paper elucidates the causes of these flavors from the aspects of stevioside extraction process and stevioside glycoside structure. It discusses existing improvement strategies from the optimization of stevioside production processes and the development of new high-yield Reb D and Reb M. The future development and application prospects of stevioside are also summarized.

Key words: Stevioside; Natural sweetener; Off-flavor; Improvement strategy

甜菊糖(别称甜菊糖苷)是从甜叶菊中提取、精制而成的天然甜味剂, 以其高甜度(蔗糖的 200 ~ 300 倍)、低热量(蔗糖的 1/300)、零卡路里和在光、热以及酸碱条件下的稳定性而闻名, 成为继蔗糖和甜菜糖之后的第三大糖源^[1]。甜菊糖为白色结晶或粉末, 易溶于水, 被广泛用于食品和饮料行业^[2]。甜菊糖食用后难以被人体吸收, 因此可作为糖尿病或肥胖患者的甜味剂。还具有抗高血压、抗氧化、抗癌、抗炎、抗菌和改善肾脏功能的特点^[3], 可作为保健品、药品等替代品, 具有很好的应用前景。然而, 甜菊糖的微后苦味和甘草味成为限制其进一步发展的因素^[4]。为此我

们分析了甜菊糖不良风味的成因并提出解决方案, 旨在为解决甜菊糖不良风味问题提供参考。

1 甜菊糖产生不良风味的原因

1.1 甜菊糖提取工艺不成熟

甜菊糖常以甜叶菊为原料进行提取, 其提取过程包括树脂吸附浓缩、溶剂清洗、重结晶和离子交换树脂纯化等步骤, 最终通过喷雾干燥得到纯净的甜菊糖^[5]。然而, 甜叶菊除了含有甜味成分甜菊糖苷外, 还含有单宁、类黄酮和挥发性油等苦味成分, 这些苦味成分在提取和纯化过程中不易完全去除, 导致甜菊糖产品中可能残留苦味杂质, 影响最终产品的口味。

收稿日期: 2024-02-08; 修订日期: 2024-06-03

作者简介: 王 熾(1987—), 男, 甘肃武威人, 研究方向为食品添加剂的提取工艺。Email: wx1579@163.com。

通信作者: 俄克英(1975—), 男, 甘肃武威人, 研究方向为食品添加剂的提取与制备。Email: eky7309@126.com。

甜菊糖提取过程中产生苦味的原因有以下几个方面^[6-7]。一是树脂吸附浓缩阶段, 如果树脂选择和使用不当, 则存在无法有效吸附甜菊糖, 相应的苦味成分也会被保留; 二是溶剂清洗的目的是去除油脂和部分苦味物质, 如果溶剂选择错误则无法有效去除苦味成分; 三是重结晶是提高甜菊糖纯度的关键步骤, 若此步操作不当, 可能导致苦味成分被浓缩而非被去除; 四是离子交换树脂用于去除可溶性杂质, 如果树脂的性能不佳或操作条件不适宜, 苦味成分可能不会被有效去除。五是虽然喷雾干燥是最后一步, 但如果操作条件(如温度、压力等)控制不当, 也可能影响产品风味。

为了减少甜菊糖中的苦味, 需要对提取工艺进行细致的优化, 包括改进树脂吸附和溶剂清洗工艺、优化重结晶条件、选择合适的离子交换树脂以及调整喷雾干燥参数。

1.2 甜菊糖苷的结构差异

继甜菊糖后, 人们又从甜叶菊中分离出其他甜菊糖苷类化合物, 常见的有 10 种, 它们具有相

似的四环二萜类化学骨架, 均以甜菊醇为苷元(图 1), R_1 和 R_2 位置被不同长度的葡萄糖基、木糖基或鼠李糖基取代, 从而形成味质和理化性质迥异的各类糖苷(表 1)。在该结构中, 甜菊醇本身具有较强的疏水性, 表现出一定的苦味; 在味觉感知中, 苦味略后于甜味, 因此, 随着浓度的增加, 后苦涩味也得到加强。另一方面, 甜菊糖苷的细微结构变化影响其甜味和味质, C-13(R_1)位置的不同、吡喃糖取代和 C-19(R_2)位置的取代基长度是影响甜菊糖苷苦味的关键因素, 推测这一现象可能与苦味受体 hT2R4 和 hT2R14 的激活有关^[8]。鉴于甜菊糖苷单体的多样性, 对其中有价值的部分进行筛选、优化与复配是目前最具前景的优化策略。

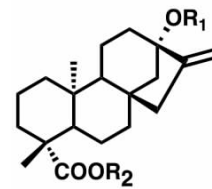


图 1 甜菊糖苷结构式

表 1 甜菊糖苷的结构、甜度和口感

化合物	分子式	C-19取代基	C-13取代基	甜度	含量 /%	口感 ^①
甜菊苷 Stevioside (Stv)	C ₃₈ H ₆₀ O ₈	Glc(β1-	Glc(β1-2)Glc(β1-	250	4.2	苦味、甘草味和金属余味
瑞鲍迪 苷A A(Reb A)	C ₄₄ H ₇₀ O ₂₃	Glc(β1-	Glc(β1-2)[Glc(β1-3)]Glc (β1-	300	10.7	起甜超快, 后甜较长, 有苦味和后苦味, 无甘草味
瑞鲍迪 苷B B(Reb B)	C ₃₈ H ₆₀ O ₁₈	H	Glc(β1-2)[Glc(β1-3)]Glc (β1-	300	0.3	起甜慢, 甜感欠佳, 后甜较长, 有轻微苦味和后苦味, 无甘草味
瑞鲍迪 苷C C(Reb C)	C ₄₄ H ₇₀ O ₂₂	Glc(β1-	Glc(β1-2)[Glc(β1-3)]Glc (β1-	50	0.4	N/A
瑞鲍迪 苷D D(Reb D)	C ₅₀ H ₈₀ O ₂₈	Glc(β1-2)Glc(β1-	Glc(β1-2)[Glc(β1-3)]Glc (β1-	250	<0.1	起甜较快, 甜感接近蔗糖, 后甜较长, 无苦味和后苦味, 无甘草味
瑞鲍迪 苷F E(Reb F)	C ₄₃ H ₆₈ O ₂₂	Glc(β1-	Glc(β1-2)[Glc(β1-3)]Glc (β1-	25		N/A
瑞鲍迪 苷M M(Reb M)	C ₅₆ H ₉₀ O ₃₃	Glc(β1-2)[Glc(β1-3)]Glc(β1-	Glc(β1-2)[Glc(β1-3)]Glc (β1-	200	<0.1	起甜快, 甜感接近蔗糖, 后甜长, 无苦味和后苦味, 无甘草味
杜克苷 A (Dul A)	C ₃₈ H ₆₀ O ₁₇	Glc(β1-	Glc(β1-2)Rha(α1-2)	50		N/A
甜茶苷 (Rub)	C ₃₂ H ₅₀ O ₁₃	Glc(β1-	Glc(β1-	200		N/A
甜菊双 糖苷 (Sbio)	C ₃₂ H ₅₀ O ₁₃	H	Glc(β1-2)Glc(β1-	100		N/A

①N/A 表示不适用。

2 甜菊糖不良风味的改善方案

2.1 甜菊糖生产工艺优化

2.1.1 新兴提取技术 为进一步提高甜菊糖的提取效率,国内外开展诸多糖苷提取方法的研究,主要包括热水浸提法、酶辅助提取法、超声波提取法及其他新兴提取技术^[6]。这些成果的开发为甜菊糖生产管线的工艺优化提供思路,可在提高甜菊糖苷总含量(通常大于95%)的同时减少单宁、类黄酮和挥发性油等苦味成分的残余,从而改善甜菊糖的后苦涩味。

传统生产中常用热水浸提法提取甜菊糖,该方法对热量要求高,花费时间长,总甜菊糖苷提取率低,且成品色泽较深。在提取过程中,水作为介质溶解有机酸、蛋白质、多酚等杂质,因此对该方案的改进主要是针对后续除杂。张梦蕾等^[9]使用壳聚糖絮凝沉淀联合反相色谱除杂,降低成本缩短除杂时间;Kovačević等^[10]采用加压热水提取有效回收甜叶菊叶中的热不稳定和极性杂质成分,这为工业化生产提供了良好前景。

酶辅助提取法通过添加纤维素酶等破坏细胞壁,在低温条件下提高甜菊糖的提取效率,并降低能耗。然而酶的使用成本较高,且目前已有的酶未能完全破碎细胞壁。Puri等^[11]通过响应面方法优化了提取条件,同时证明酶辅助提取法相较于传统溶剂提取效率更高。可见酶辅助提取法有望成为溶剂法提取甜菊糖的有效替代。

超声波提取法利用超声波的空化效应快速破碎植物细胞壁,加速生物活性物质的释放。该方案提取效率高、提取用时短、提取溶剂用量少、操作简便。然而,超声波提取可能导致溶液中混入未知杂质,给后续的分选过程带来挑战。后续工艺优化过程涉及调整多个实验参数^[12],如超声波的频率、功率、处理时间、溶剂类型和浓度、固液比等,以找到最佳的提取条件。通过优化这些参数,可以最大化提取效率,同时最小化能源消耗和潜在的化学降解。

除了上述传统提取方法外,目前已出现一些新型提取技术。如缪晴等^[13]采用天然低共熔溶剂(NADES)替代传统溶剂,这种方法不仅绿色环保且提取效率较高;Jentzer等^[14]则采用加速溶剂萃取法优化了甜叶菊的自动提取条件参数。这些新型

技术为甜菊糖苷的提取提供了新的视角和可能性。

2.1.2 其他甜味剂复配 复配法即将甜菊糖与其他甜味剂相互协同,复合甜味剂口味更贴近蔗糖,同时能消除甜菊糖的后苦涩味。例如,以共晶的方式将甜菊糖与赤藓糖醇复配,可以保留两者原有的功能与特色,同时赤藓糖醇能够改变甜菊糖起甜的时间曲线,消除部分微后苦味;将甜菊糖与阿洛酮糖以及罗汉果甜苷结合,可以促进三者间美拉德反应引起的褐变功能,常被添加至碳酸饮料中;将甜菊糖、赤藓糖醇、阿洛酮糖和罗汉果甜苷四者融合,可以发挥四种甜味剂的优势并中和各自的缺陷。其中阿洛酮糖和赤藓糖醇清爽的口感能够改善甜菊糖与罗汉果甜苷的不良口感,而阿洛酮糖可降低赤藓糖醇的结晶度,使其参与美拉德反应^[15]。该方案操作便利,能还原自然甜味,同时甜味剂总使用量较少,成本较低。但仅仅依赖其他甜味剂的协助,甜菊糖仍无法在甜味和香气等多重感官上媲美蔗糖。

2.1.3 化学与酶促修饰 有研究表明,甜菊糖水解后生成甜度较低的甜菊糖醇生糖苷,后苦味变弱,受此启发,可以对碳水部分进行化学结构或酶促修饰^[16],以减少甜菊糖相应的后苦味。化学修饰是指通过化学反应改变连接在甜菊醇苷酯基上的糖基来改变甜菊糖的味质,但由于化学修饰操作复杂、步骤较多、要求苛刻,目前很少有人使用该方案。酶促修饰技术是指在酶的催化作用下受体底物被水解为葡萄糖基或者其他不同链的糖基配体,这些产物进一步经过酶催化转苷与受体的C-13或C-19连接,从而形成种类丰富的甜菊糖苷衍生物^[17]。常用酶为环糊精葡萄糖基转移酶(CGTase),它能催化淀粉和环糊精的葡萄糖基转移至甜菊糖苷的糖基上,从而在甜菊糖苷上引入新糖元^[18],生成葡萄糖基甜菊糖苷。该产品能减少苦味,增加溶解度,改善甜菊糖的甜度,兼备后味良好和醇厚的特点,常与糖醇联用应用于低糖酸奶,两者味道相辅相成,目前已被批准作为食用香精使用。但是上述酶价格相对昂贵,相应糖基供体的使用也使成本增加,开发和筛选性价比更高、口味更佳的甜菊糖苷仍需进一步研究。

2.2 开发新一代高产 Reb D 和 Reb M

除甜菊糖外, 第二代甜菊糖苷 Reb A 含量最高, 高纯度 Reb A 具有与蔗糖相接近的甜味, 但其后苦味依旧明显^[19]; 第三代甜菊糖苷 Reb D 和 Reb M 在不断改良与优化中应运而生, 相较于 Reb A, Reb D 和 Reb M 表现出优异的性能。它们有更高的甜度和口感, 无后苦和类似甘草味, 作为理想的新一代甜味剂已引起人们广泛关注。但 Reb D 和 Reb M 含量稀少、产量较低, 仅有少量存在于常规甜菊科植物中, 难以实现大规模的商业化生产, 因此开发新的方法分离制备高纯度 Reb D 和 Reb M, 是目前甜菊糖领域的研究热点。

2.2.1 育种法 育种法是指利用农业技术科学培育与种植, 优化最佳种植条件, 从而培育出 Reb D 和 Reb M 的高产品种。相较于普通甜叶菊, 其产量提升近一半^[20]。这种方案的优势在于能够培育天然的甜菊糖苷, 保持甜度且无后苦味, 但相应地需要投入更多的人力与物力, 需要优化种植环境和条件, 这可能需要大量的研究和试验。

2.2.2 生物转化法 生物转化法是指从含量最丰富的 Reb A 入手, 借助特定的生物酶将其转化为 Reb D 和 Reb M^[21]。但该方案需要特定的酶才能进行, 所需酶的价格相对昂贵, 这增加了生产成本, 并且酶的可获得性也是需要考虑的问题。

2.2.3 发酵法 发酵法是指利用基因工程改造的酵母菌产生的酶, 通过发酵将甜叶菊的提取物转化为 Reb D 和 Reb M^[22], 经过发酵的甜菊糖苷具有类似蔗糖的口感和清爽的味质, 不改变食物原有的口感。主要原料为葡萄糖和蔗糖, 能够保证量产, 具有成本低和可拓展等优势。虽然前期研发成本高, 但条件成熟后能进行规模化生产, 使成本降低, 是目前性能最好、最受欢迎和最具前景的方案。

3 结束语

综上所述, 随着人们对自身健康需求的增加, 减糖成为当前社会发展的潮流与趋势。人们更加注重饮食与身体健康, 因此需要开发新一代甜味相当、零卡路里、不影响血糖的完美代糖。目前已知天然甜味剂较少, 而甜菊糖本身就满足上述条件, 因此甜菊糖的需求量急剧增加。然而, 其后苦味与甘草味限制了大规模使用, 因此, 甜菊

糖提取工艺的优化和新一代甜菊糖苷的开发显得迫在眉睫。针对甜菊糖微苦后味的产生原因进行了分析, 并总结了目前已有的解决策略, 即开发新型提取工艺和构造新一代高产无后苦味的甜菊糖苷。开发新型提取方式已成为当前提取率优化研究的主流, 其中酶辅助提取法具有较好的前景, 但同时也存在着技术壁垒较高的挑战。其他提取条件的优化方式, 如超声提取等, 在当前科技水平下实现相对较为容易, 具有在工业生产中应用的极大优势。而新一代甜味剂的开发则需要通过严格的食品安全评估和法规批准, 可能需要较长时间。在食品加工和贮存过程中保持 Reb D 和 Reb M 的稳定性, 以及确保最终产品的货架期, 也是开发过程中需要解决的技术问题。这些挑战需要通过跨学科的研究和合作, 结合现代生物技术和工程方法来克服。在未来发展中, 可以将上述几种方式进行联用, 例如使用基因工程辅助育种, 推动新型高产株的量产进程。当甜菊糖的缺陷被弥补时, 必将掀起新的研究和应用热潮。

参考文献:

- [1] PETELIUK V, RYBCHUK L, BAYLIAK M, et al. Natural sweetener *Stevia rebaudiana*: Functionalities, health benefits and potential risks[J]. EXCLI J, 2021, 20: 1412-1430.
- [2] 陈媛媛. 甜菊糖的应用及研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(18): 172-174.
- [3] MOMTAZI-BOROJENI A A, ESMAEILI S A, ABDOLLAHI E, et al. A review on the pharmacology and toxicology of steviol glycosides extracted from *Stevia rebaudiana*[J]. Curr Pharm Des, 2017, 23(11): 1616-1622.
- [4] 万会达, 蔡 亚, 校秋燕, 等. 甜菊糖的酶法改性及其生物活性研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2011(5): 188-196.
- [5] 吕爱弟. 甜菊糖提取工艺的优化[D]. 天津: 天津科技大学, 2016.
- [6] 史石磊. 甜菊糖苷提取工艺进展[J]. 食品工业, 2023, 44(6): 157-159.
- [7] 凌立新, 张国芬, 陈凤鸣. 甜叶菊中甜菊素提取工艺研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 257-261.
- [8] 李文佳, 慕 峰, 姜海涛, 等. 高比表面极性大孔树脂的结构设计及在甜菊糖 Rebaudioside D 苷分离中的应用[J]. 离子交换与吸附, 2022, 38(1): 60-70.
- [9] 张梦蕾. 甜菊糖水提液纯化工艺的改进[D]. 无锡: 江

- 南大学, 2021.
- [10] KOVAČEVIĆ D B, BARBA F J, GRANATO D, et al. Pressurized hot water extraction (PHWE) for the green recovery of bioactive compounds and steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves[J]. Food Chemistry, 2018, 254: 150–157.
- [11] PURI M, SHARMA D, BARROW C J, et al. Optimisation of novel method for the extraction of steviosides from *Stevia rebaudiana* leaves[J]. Food Chemistry, 2012, 132: 1113–1120.
- [12] 陈 虎, 侯丽娟, 路付勇, 等. 响应面法优化超声溶剂法提取甜菊糖苷工艺[J]. 食品工业, 2022, 43(5): 6–9.
- [13] 缪 晴, 萨比哈·帕合尔丁, 曾思瑀, 等. 基于天然低共熔溶剂的甜叶菊中甜菊糖绿色提取方法及优化[J]. 植物学报, 2021, 56(6): 722–731.
- [14] JENTZER J B, ALIGNAN M, VACA-GARCIA C, et al. Response surface methodology to optimise accelerated solvent extraction of steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves[J]. Food Chemistry, 2015, 166: 561–567.
- [15] 胡国华. 我国功能性高倍甜味剂的发展现状与前景[J]. 食品工业科技, 2008(6): 28; 30; 32.
- [16] YANG Y, ZHAO L, WANG T, et al. Biological activity and structural modification of isosteviol over the past 15 years[J]. Bioorg Chem, 2024, 143: 107074.
- [17] 李 乐, 袁 莹, 马 双. α -淀粉酶催化甜菊糖的改性研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(2): 202–208.
- [18] POL J, VARADOVA OSTRA E, KARASEK P, et al. Comparison of two different solvents employed for pressurised fluid extraction of stevioside from *Stevia rebaudiana*: methanol versus water[J]. Anal Bioanal Chem, 2007, 388(8): 1847–1857.
- [19] 刘 杰. 甜菊糖苷中莱鲍迪 A 苷的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010.
- [20] 余波颖, 王宁琳, 李国婧, 等. 基因工程和代谢工程在甜菊糖生产上应用进展[J]. 生物技术通报, 2015, 31(9): 8–14.
- [21] 吴则东, 马龙彪, 周艳丽, 等. 甜菊糖的生物合成、转化与糖基化[J]. 中国糖料, 2018, 40(2): 58–60.
- [22] 于学健. 黄腐酸调控甜菊糖苷合成的机理及甜菊糖苷的酶法转化[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.