

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2016)05-0308-04

综 述

## 马铃薯茎叶中茄尼醇研究进展

杨晓珍<sup>1</sup>, 刘 伟<sup>2</sup>, 仲乃琴<sup>3,4</sup>, 肖庆红<sup>2</sup>, 郑维平<sup>5</sup>, 李维东<sup>5</sup>, 陈 延<sup>2\*</sup>

( 1. 宁夏回族自治区原州区农业综合开发办公室, 宁夏 固原 756000; 2. 宁夏回族自治区农业综合开发办公室, 宁夏 银川 750000;  
3. 中国科学院微生物研究所, 北京 100101; 4. 植物基因组学国家重点实验室, 北京 100101;  
5. 宁夏回族自治区海原县农业综合开发办公室, 宁夏 海原 755200 )

**摘 要:** 马铃薯茎叶中含有丰富的茄尼醇, 近年来从马铃薯废弃茎叶中分离纯化茄尼醇的研究得到广泛关注。介绍了当前对马铃薯茎叶中茄尼醇分析、提取和纯化方法的研究现状。提出了在马铃薯茎叶中提取并纯化高纯度茄尼醇的利用中所存在的问题。展望了马铃薯废弃茎叶提取纯化高纯度茄尼醇的开发应用前景与发展趋势。马铃薯茎叶提取纯化高纯度茄尼醇是将马铃薯茎叶废弃物资源化利用的重要途径, 有利于扩展马铃薯的产业链, 对中国农业的发展和资源的综合利用具有重要的意义。

**关键词:** 马铃薯; 茎叶; 茄尼醇; 提取; 纯化

## Research Progress of Solanesol in Potato Stems and Leaves

YANG Xiaozhen<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, ZHONG Naiqin<sup>3,4</sup>, XIAO Qinghong<sup>2</sup>, ZHENG Weiping<sup>5</sup>, LI Weidong<sup>5</sup>, CHEN Yan<sup>2\*</sup>

( 1. Yuanzhou Agricultural Comprehensive Development Office, Guyuan, Ningxia 756000, China; 2. Ningxia Agricultural Comprehensive Development Office, Yinchuan, Ningxia 750000, China; 3. Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 4. State Key Laboratory of Plant Genomics, Beijing 100101, China; 5. Haiyuan Agricultural Comprehensive Development Office, Haiyuan, Ningxia 755200, China )

**Abstract:** Potato stems and leaves are fairly good sources of solanesol. The research of separation and purification of solanesol from abandoned potato stems and leaves gets much attention in recent years. The current research status of analysis, extraction and purification methods of solanesol in potato stems and leaves were introduced. The problems of extraction and purification of highly purified solanesol from abandoned potato stems and leaves were pointed out. Meanwhile, the future development and application and development trend were prospected. Extraction and purification of highly purified solanesol from potato stems and leaves are important ways to utilize the abandoned potato stems and leaves. It is favorable for extending the potato industry chain and bears substantial significance to agricultural development and comprehensive utilization of resources.

**Key Words:** potato; stem and leaf; solanesol; extraction; purification

马铃薯是中国重要的农作物之一, 其营养丰富<sup>[1]</sup>, 并可作为淀粉工业原料<sup>[2]</sup>, 在中国得到大面积推广, 其产量和种植面积均居世界第一<sup>[3]</sup>。近年

来, 对马铃薯的研究日益增多, 在营养价值<sup>[4,5]</sup>、废渣处理<sup>[6]</sup>、淀粉加工<sup>[7,8]</sup>、品种培育<sup>[9-11]</sup>和病虫害防治<sup>[12-14]</sup>等方面均取得了极大进展。但是其种植后产生的

收稿日期: 2015-12-02

基金项目: 宁夏农业综合开发科技推广项目(NTKJ2015-06-01)。

作者简介: 杨晓珍(1975-), 女, 高级工程师, 从事现代农业综合技术示范推广工作。

\*通信作者(Corresponding author): 陈延, 研究员, 主要从事现代农业综合技术集成与推广, E-mail: nxcztcy@sina.com。

茎叶废弃物的处理一直是举步维艰, 虽然部分可作为青贮饲料<sup>[15,16]</sup>, 但是大部分仍然被废弃, 既造成了大量植物资源的浪费, 也产生了极大的环境危害。因此, 对马铃薯茎叶资源化利用的研究与开发具有极大的现实意义。

现代植物化学研究表明, 马铃薯茎叶中含有丰富的茄尼醇(Solanesol)<sup>[17]</sup>, 其含量仅次于烟叶。因此, 从马铃薯茎叶中提取分离茄尼醇, 特别是高纯度的茄尼醇产品, 有望成为马铃薯茎叶资源化的重要途径之一。

茄尼醇是一种全反式结构的半萜烯醇化合物, 其纯品为白色或者乳黄色蜡状固体, 熔点为33.0~42.5 °C<sup>[18]</sup>。茄尼醇广泛存在于高等植物、哺乳动物和微生物体内, 在茄科植物烟叶、马铃薯叶、茄子和番茄中含量较高<sup>[19]</sup>。茄尼醇在植物体内主要以游离态和结合态存在, 前者主要存在于植物细胞的线粒体内, 而后者主要以有机酸类物质结合成酯的形式存在。茄尼醇是一种重要的医药中间体, 具有极高的产业附加价值。由茄尼醇衍生得到的多种化合物具有丰富的药理和生物活性, 其中很多已经得到商业化应用<sup>[20]</sup>。茄尼醇本身具有抗菌、消炎、抗肿瘤和抗氧化等多种生理活性作用, 可以直接用于抗氧化保健品和化妆品的生产中。同时茄尼醇也是合成泛醌类药物辅酶Q10和维生素K2的主要原料<sup>[21,22]</sup>。随着国内外制药工业中辅酶Q10需求量大幅增长, 对高纯度茄尼醇的需求量也逐年增加, 当前高纯度茄尼醇供不应求, 具有非常广阔的市场前景。

由于茄尼醇是长链的不饱和脂肪醇, 含有多个双键, 所以人工合成难度大, 目前工业生产主要是从植物中分离提取。由于烟叶中茄尼醇含量较高<sup>[23]</sup>, 所以一般生产均以烟叶为原料。但使用烟叶来生产茄尼醇, 其原料与制烟行业形成竞争, 且生产成本过高。中国虽然是烟草大国, 每年烟草产量居世界第2位, 烟草采收和加工剩余物的数量较大, 但是随着烟草加工业的技术进步, 许多烟草加工剩余物被重新加以利用, 因此烟草剩余物越来越紧缺。同时, 随着中国对烟草工业规模的限制, 烟草种植规模也不断缩小, 这也为以烟草为原料分离制备茄尼醇带来了原料和成本压

力。因此, 开发新的茄尼醇生产原料势在必行。

马铃薯茎叶中含有丰富的茄尼醇, 虽然含量低于烟叶中的含量, 但是马铃薯茎叶作为一种农业剩余物尚未被规模化利用。中国是马铃薯种植大国, 产量居世界首位。由于马铃薯茎叶资源丰富, 价格低廉, 以马铃薯茎叶作为原料分离制备具有高经济价值的茄尼醇, 是提高马铃薯产业附加值的一条较好的途径。本文对国内外近年来从马铃薯茎叶中分离纯化茄尼醇的研究进展予以综述, 为更好地研究茄尼醇提供参考和借鉴。

## 1 马铃薯茎叶中茄尼醇分析方法

沈建伟等<sup>[24]</sup>应用液相色谱法建立了马铃薯茎叶提取物中茄尼醇含量的测定方法, 该方法以甲醇和乙醇为流动相, 等度洗脱, 流速为1.0 mL/min, 平均回收率为98.2%, RSD值为1.32%, 具有良好的精密度和准确性, 适用于茄尼醇产品中茄尼醇含量的测定。杨玲娟等<sup>[25]</sup>建立了反相高效液相色谱法测定马铃薯茎叶中茄尼醇的分析方法, 并采用微波辐射法进行样品前处理, 大大提高了样品的提取效率并减少了提取溶剂消耗, 该方法以甲醇和乙醇为流动相, 等度洗脱, 流速为1.0 mL/min, 茄尼醇保留时间为8.75 min, 平均加样回收率为99.04%, RSD值为1.87%。高敏等<sup>[26]</sup>采用高效液相色谱法测定了不同马铃薯品种茎叶中茄尼醇含量, 该方法以乙腈和异丙醇为流动相, 等度洗脱, 流速为1.5 mL/min, 茄尼醇保留时间为7.312 min, 加样回收率为99.5%~103.3%, RSD值为2.8%。通过对东北地区不同品种马铃薯茎叶的检测, 结果表明不同品种间茄尼醇含量差别较大, 而在同一植株中, 茄尼醇含量由高到低依次为叶、侧茎、主茎、根。马君义等<sup>[27]</sup>采用反相高效液相色谱法建立了测定马铃薯茎叶中茄尼醇的方法, 该方法以甲醇和乙醇为流动相, 等度洗脱, 流速为1.0 mL/min, 茄尼醇保留时间为6.73 min, 平均回收率为96.56%, RSD值为1.32%。该课题组的研究也表明马铃薯叶中茄尼醇含量高于茎中, 并且皂化能使结合态茄尼醇游离出来, 从而增加茄尼醇的含量。同时通过比较分析可知, 马铃薯茎叶中茄尼醇含量与海拔、纬度、产地、品种和气候条件等因素有关,

并且原材料的堆放时间、存贮条件等也对其有影响。贾海红等<sup>[28]</sup>建立了快速、简便的薄层扫描法测定马铃薯茎叶提取物中茄尼醇含量, 该方法样品回收率为92.6%~97.1%, RSD值为2.17%~2.59%。侯雨佳等<sup>[29]</sup>比较了不同生育期马铃薯茎叶中茄尼醇含量的变化, 发现在现蕾前期略高于盛花期, 盛花期之后含量逐渐增加, 收获期时含量达到最高。同时对不同品种马铃薯茎叶茄尼醇含量也做了对比, 发现在同一块地的不同马铃薯品种间, 茎叶中茄尼醇含量变化范围为0.29%~0.79%(DW), 差别也很明显, 表明马铃薯品种是导致茎叶中茄尼醇含量不同的重要因素之一。

## 2 马铃薯茎叶中茄尼醇提取方法

马君义等<sup>[30]</sup>比较了石油醚、醋酸乙酯和乙醇3种溶剂对马铃薯茎叶中茄尼醇的提取效率, 结果表明, 3种溶剂提取时, 所得提取物的提取率由高到低依次为醋酸乙酯、乙醇和石油醚; 不同溶剂提取所得提取物中茄尼醇含量由高到低依次为乙醇、石油醚、醋酸乙酯; 尽管以乙醇为溶媒的提取率较醋酸乙酯低, 但所含有效成分茄尼醇的含量却较高, 因此, 在茄尼醇的工业化生产中应以马铃薯叶作为提取材料, 以乙醇作为提取溶剂。葛岩涛<sup>[31]</sup>以马铃薯茎叶为原料, 考察了不同溶剂、搅拌、浸泡和萃取等条件对马铃薯茎叶中茄尼醇提取率的影响, 最终确定最佳提取条件为采用6号溶剂油, 在35℃下搅拌2.5 h, 之后萃取8 h, 整个工艺提取浸膏中茄尼醇含量可达到3.1%~5.3%。马君义等<sup>[32]</sup>研究了采用微波辅助法从马铃薯茎叶中提取茄尼醇的工艺方法。与传统的索氏提取法相比, 采用微波辐射辅助提取可以将提取时间缩短为20 min, 并且提取温度也大幅度降低, 避免了茄尼醇的受热分解, 提取效率较传统方法也大幅度提高, 具有较好的应用前景。马君义等<sup>[33]</sup>还应用正交试验法对微波辅助提取马铃薯茎叶中茄尼醇的工艺进行了优化, 最终确定最佳的提取条件为以95%乙醇为提取溶剂, 料液比为1:8, 提取时间20 min, 提取温度65℃, 微波辐照功率为450 W, 在此条件下马铃薯茎叶中茄尼醇提取率为94.19%。该方法提取效率高, 操作重复性好, 工艺稳定。

## 3 马铃薯茎叶中茄尼醇纯化方法

胡江涌等<sup>[34]</sup>采用高速逆流色谱法从马铃薯茎叶提取物中分离纯化得到高纯度茄尼醇。筛选正己烷-甲醇两相溶剂系统, 以上相为固定相, 下相为流动相, 转速800 r/min, 流速1.5 mL/min, 通过高速逆流色谱分离可以得到纯度98.7%的高纯度茄尼醇。陈桐等<sup>[35]</sup>采用柱色谱法从马铃薯茎叶提取物中分离纯化茄尼醇。以200~300目硅胶为填料, 流动相流速为2.0 mL/min, 洗脱剂以石油醚:乙酸乙酯(v:v)=20:1、15:1、9:1进行梯度洗脱, 洗脱剂流速2.0 mL/min, 得到茄尼醇馏分的质量分数达到85.37%, 然后用无水乙醇重结晶后纯度达到97.47%。贾海红等<sup>[28]</sup>将马铃薯茎叶用乙醚浸提, 皂化后使用水-乙醚体系萃取, 将乙醚提取液回收溶剂后采用分子蒸馏法分离出茄尼醇粗品, 然后通过丙酮结晶后得到茄尼醇纯品。该课题组采用此法纯化得到茄尼醇纯品, 并建立了应用薄层扫描法测定马铃薯茎叶提取物中茄尼醇含量的方法。

## 4 结束语

中国是马铃薯种植大国, 每年产生的大量马铃薯茎叶被废弃, 从中提取茄尼醇是将废弃马铃薯茎叶资源化利用的重要途径。现有研究表明, 虽然马铃薯茎叶中茄尼醇含量较烟叶中低, 但是部分品种中含量较高, 可以作为茄尼醇生产的原料。但是, 中国在马铃薯茎叶中茄尼醇的代谢, 马铃薯茎叶提取茄尼醇原料供应体系和通过生物、基因等方法调控茄尼醇含量的基础理论和农业措施等方面的研究还比较薄弱, 与日本、美国等国家相比存在很大差距。目前, 从马铃薯茎叶中提取分离高纯度茄尼醇的研究正在逐渐成为新的热点, 合理利用马铃薯茎叶资源, 可以显著提高马铃薯种植的附加值, 变废为宝, 减少对环境的污染, 有利于提高农产品的附加值, 并实现对“三农”的支持。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 曾凡遼, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述 [J]. 中国马铃薯, 2015, 29 (4): 233-243.
- [2] 刘玲玲. 世界马铃薯淀粉专利技术现状及未来趋势 [J]. 中国马

- 铃薯, 2015, 29(4): 244–248.
- [3] 李芳蓉, 韩黎明, 王英, 等. 马铃薯渣综合利用研究现状及发展趋势 [J]. 中国马铃薯, 2015, 29(3): 175–181.
- [4] 赵凤敏, 李树君, 张小燕, 等. 不同品种马铃薯的氨基酸营养价值评价 [J]. 中国粮油学报, 2014, 29(9): 13–18.
- [5] 张小燕, 杨炳南, 刘威, 等. 马铃薯主要营养成分的近红外光谱分析 [J]. 食品科学, 2013, 34(2): 165–169.
- [6] 李芳红, 沈智, 高淑玲. 马铃薯废渣/聚丙烯酸/坡缕石黏土高吸水树脂的制备及表征 [J]. 精细化工, 2013, 30(9): 1061–1067.
- [7] 刘婷婷, 宋春春, 王大为. 微波辅助提取马铃薯淀粉及其特性研究 [J]. 食品科学, 2013, 34(6): 106–111.
- [8] 谢远. 马铃薯原淀粉及变性淀粉的特点及应用 [J]. 中国马铃薯, 2014, 28(3): 180–184.
- [9] 梁远发, 倪苏, 蒋馨, 等. 高干中早熟马铃薯新品种“川芋 10 号”的创新培育 [J]. 中国马铃薯, 2008, 22(1): 63.
- [10] 董旭生, 牛俊义, 高玉红, 等. 半干旱区马铃薯品种性状比较试验 [J]. 中国马铃薯, 2015, 29(3): 129–132.
- [11] 梁远发. 茎矮高产抗病加工用马铃薯品种“川芋 6 号”的创新培育 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 100–102.
- [12] 曲延军, 蒙美莲, 张笑宇, 等. 马铃薯品种对枯萎病菌的抗性鉴定 [J]. 植物保护, 2015, 41(3): 149–153.
- [13] 张建平, 程玉臣, 巩秀峰, 等. 华北一季作区马铃薯病虫害种类、分布与为害 [J]. 中国马铃薯, 2012, 26(1): 30–35.
- [14] 谢成君, 刘普明, 谢强, 等. 马铃薯晚疫病优化防治决策 [J]. 中国马铃薯, 2014, 28(6): 357–361.
- [15] 何玉鹏, 郭艳丽, 秦士贞, 等. 添加米糠和小麦麸对不同品种马铃薯茎叶青贮品质的影响 [J]. 动物营养学报, 2015, 27(10): 3311–3318.
- [16] 付月峰, 乔国栋. 农户马铃薯茎叶窖藏青贮技术 [J]. 畜牧与饲料科学, 2014, 35(2): 83–84.
- [17] 戴飞, 韩正晟, 魏宏安, 等. 中国马铃薯茎叶利用处理现状及相关机械化技术发展 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51(10): 1975–1977, 1981.
- [18] Mohammad A, Sunil K. A mini review on solanesol: a trisesquite-rpenoid alcohol of *Nicotiana tabacum* [J]. International Journal of Current Pharmaceutical Sciences, 2014, 1(1): 63–66.
- [19] Taylor M A, Fraser P D. Solanesol: added value from *Solanaceous* waste [J]. Phytochemistry, 2011, 72(11–12): 1323–1327.
- [20] 顾正桂, 王琼. 茄尼醇的应用及衍生物的合成研究进展 [J]. 化学世界, 2006(11): 692–695.
- [21] Oh E T, Kim H J, Oh J T, *et al.* Synthesis of coenzyme Q10 [J]. European Journal of Organic Chemistry, 2012: 4954–4962.
- [22] 王自社, 刘文乾, 王军红, 等. 茄尼醇的研究及应用进展 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41(32): 12539–12540.
- [23] Zhou H Y, Liu C Z. Rapid determination of solanesol in tobacco by high performance liquid chromatography with evaporative light scattering detection following microwave-assisted extraction [J]. Journal of Chromatography B, 2006, 835(1–2): 119–122.
- [24] 沈建伟, 杨晓燕, 芦启琴, 等. 高压液相色谱法测定马铃薯叶提取物中茄尼醇的含量 [J]. 分析试验室, 2008, 27(s1): 167–168.
- [25] 杨玲娟, 张继, 陈桐, 等. 马铃薯叶中茄尼醇的 RP-HPLC 分析 [J]. 食品工业分析, 2009(4): 330–331, 340.
- [26] 高敏, 杨磊, 祖元刚. 高效液相色谱法测定茄科植物废弃物中茄尼醇 [J]. 理化检验(化学分册), 2007, 43: 454–456.
- [27] 马君义, 张继, 柳国学, 等. 反相高效液相色谱法测定马铃薯茎叶废弃物中的茄尼醇含量 [J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2009, 45(4): 72–75.
- [28] 贾海红, 李拥军, 徐枉, 等. 马铃薯茎叶中茄尼醇的提取及薄层扫描测定 [J]. 卫生职业教育, 2007, 25: 104–105.
- [29] 侯雨佳, 曾学勤, 郝晋彬, 等. 马铃薯叶中茄尼醇含量与生育期及品种的关系 [J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2010, 30(4): 329–331.
- [30] 马君义, 张继, 柳国学, 等. 不同溶剂对马铃薯茎叶中茄尼醇提取率的影响 [J]. 中国医院药学杂志, 2009, 29(9): 729–731.
- [31] 葛岩涛. 利用马铃薯叶提取制备茄尼醇工艺研究 [J]. 青海科技, 2008(4): 17–19.
- [32] 马君义, 张继, 徐小龙, 等. 微波辅助萃取马铃薯叶中茄尼醇的工艺研究 [J]. 中国现代应用药学, 2010, 27(3): 218–221.
- [33] 马君义, 张继, 徐小龙, 等. 正交试验优化茄尼醇的微波辅助萃取工艺 [J]. 中国医院药学杂志, 2010, 30(12): 1010–1013.
- [34] 胡江涌, 梁勇, 谢亚, 等. 土豆叶中茄尼醇的高速逆流色谱法分离纯化及质谱解析 [J]. 色谱, 2007, 25(4): 528–531.
- [35] 陈桐, 张继, 孙学刚, 等. 柱色谱法纯化马铃薯叶中的茄尼醇 [J]. 精细化工, 2009, 26(1): 47–50.