

DOI:10.11937/bfyy.201706044

苦杏仁苷的分析及生物功能研究进展

谢 勇¹, 范志平², 施 伽¹, 李刚凤¹, 朱 苗¹

(1. 铜仁学院 材料与化学工程学院, 贵州 铜仁 554300; 2. 四川省宜宾市食品药品检验检测中心, 四川 宜宾 644000)

摘 要:苦杏仁苷是许多蔷薇科植物果核中重要的功能成分之一, 具有特殊的药用价值。现对苦杏仁苷的含量、分离纯化、结构与性质、代谢途径及重要的生物功能等方面的最新研究进行综述, 并就其研究方向和应用前景提出了看法。

关键词:苦杏仁苷; 分离纯化; 性质与代谢; 抗肝纤维化; 类风湿性关节炎; 膀胱癌

中图分类号:S 662.201 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)06-0190-06

苦杏仁苷(amygdalin)是由氨基酸衍生的芳香族氰苷类物质之一, 主要分布在杏、山桃、枇杷、花秋及杨梅等蔷薇科植物果实的种子中, 是传统中药苦杏仁中的药理成分之一, 具有很好的止咳平喘功效, 同时还具有抗炎、抗肿瘤及免疫调节等生物学功能。苦杏仁苷由1分子龙胆二糖残基(糖基)、1分子苯甲醛残基(配基)及1分子氢氰酸残基(配基)组成, 配基通过 β -糖苷键与糖基连接^[1-2], 其含量在不同植物和组织中有较大差异。由于苦杏仁苷具有一定的特殊生物功效, 近年来, 有不少关于苦杏仁苷的最新研究报道, 对其最新生物学功能进行综述, 促进其应用价值的开发与利用。

1 苦杏仁苷的含量

由表1可知, 苦杏仁苷在不同果核、同种果核不同产地、同种果实不同组织及不同存在形式下的含量均有不同程度的差异^[3-12], 苦巴旦杏仁中含量为1.00%, 乌梅果核中含量仅为0.39%, 天山花楸果核中含量约为0.18%, 而苦杏仁中含量总体较高, 平均含量约3.00%, 最高可达5.19%; 山西产苦杏仁中含量达3.84%, 而甘肃产苦杏仁中含量达4.88%, 内蒙古产苦杏仁中含量更高可达5.19%; 杏仁皮中的含量约3.61%, 略低于同种苦杏仁中的含量; 苦杏仁苷在生桃仁中的含量达3.04%, 而在干桃仁中的含量

仅为0.67%, 在生杏仁中含量一般都大于3.00%, 而在干苦杏仁中含量仅为1.41%, 约为生品的1/2; 除此之外, 苦杏仁苷的含量还与检测方法、样品的处理方法有一定的关系, 如用紫外分光光度计测定苦杏仁中苦杏仁苷的含量为2.40%, 而用高效液相色谱法(HPLC)测定所得的含量却通常高于3.60%。

表1 不同果核中苦杏仁苷含量

Table 1 Content of amygdalin in different kernel

样品名称 Sample	产地 Origin	检测方法 Method	含量 Content/%	平均含量 Average content/%
桃仁	新疆	HPLC	2.05~3.62	3.04
山桃桃仁	陕西	HPLC	1.25~1.90	1.42
山桃桃仁	四川	HPLC	0.67~2.81	1.41
山桃桃仁	河北	HPLC	—	1.29
干桃仁	新疆	HPLC	—	0.67
苦杏仁	山西	HPLC	—	3.84
杏仁皮	张家口	紫外分光光度法 ($\lambda=219$ nm)	3.60~3.63	3.61
苦杏仁	甘肃	HPLC	—	4.88
苦杏仁	内蒙古	HPLC	—	5.19
苦杏仁	新特药医药公司	紫外分光光度法 ($\lambda=264$ nm)	2.10~2.80	2.47
干杏仁	新疆	HPLC	—	0.35
干苦杏仁	新疆	HPLC	—	1.41
苦巴旦杏仁	新特药医药公司	紫外分光光度法 ($\lambda=264$ nm)	—	1.00
枇杷花	福建	HPLC	—	1.16
乌梅	山东	紫外分光光度法 ($\lambda=207$ nm)	—	0.39
丁香种杨梅 果仁	浙江温州	HPLC	—	4.04
天山花楸	新疆呼图壁	胶束毛细管电泳 (MEC) ($\lambda=215$ nm)	—	0.18

第一作者简介:谢勇(1986-), 男, 硕士, 讲师, 现主要从事食品加工与分析等研究工作。E-mail: 747442934@qq.com.

基金项目:贵州省125重大专项资助项目(黔教合重大专项字[2012]018号); 贵州省科技厅联合基金资助项目(黔科合LH字[2015])。

收稿日期:2016-09-29

2 苦杏仁苷的分离纯化

目前,关于苦杏仁苷分离纯化的研究主要集中于提取工艺优化、含量检测和初步分离 3 个方面,而在高纯度物质分离方面的研究相对较少。

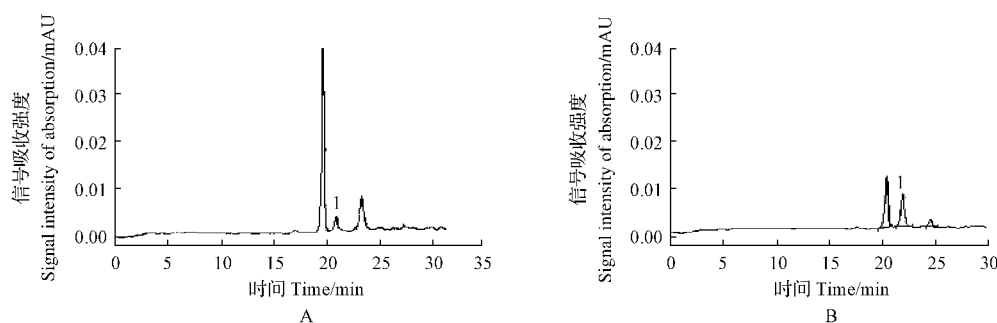
2.1 苦杏仁苷的提取

王涛等^[11]通过超声波辅助法提取杨梅蔬果核仁中的苦杏仁苷时,得到最佳工艺条件为:乙醇浓度 27%,料液比 1:45 g·mL⁻¹,提取时间 20 min,超声功率 250 W,温度 44 ℃,苦杏仁苷在此条件下的得率为 93.8%。另报道,将长柄扁桃仁干燥灭酶并粉碎后,用石油醚脱脂,最后用乙醇浸提,在最佳工艺条件(乙醇浓度 90%、料液比 1:6 g·mL⁻¹、提取时间

55 min)下的提取率为 86.9%^[13]。另外,超临界 CO₂ 流体萃取等食品高新技术已被广泛用于其提取工艺的研究中^[14]。

2.2 苦杏仁苷的纯化

采用胶束毛细管电泳技术对天山花楸果实中的苦杏仁苷进行分离和纯化研究时,当缓冲液硼砂浓度为 70 mmol·L⁻¹、电压为 10 kV、缓冲液 pH 9.5、表面活性剂 SDS 浓度 200 mmol·L⁻¹ 及柱温 25 ℃ 时,分离效果明显(图 1)^[12]。另外,柱层析技术、重结晶技术及各种技术联用已被用于苦杏仁苷的纯化工艺中,纯度最高可达 96.36%^[2,15]。



注:A. 供试品;B. 供试品加苦杏仁苷标准品;1. 苦杏仁苷。

Note: A. Sample; B. Sample add amygdalin of reference substances; 1. Amygdalin.

图 1 天山花楸果实苦杏仁苷的毛细管电泳图

Fig. 1 The CZE of sample of *Sorbus tianschanica* Rupr. fruit

3 苦杏仁苷的性质与代谢

作为传统中药苦杏仁中的苦杏仁苷除了具有止咳平喘功效以外,还具有一定的抗动脉粥样硬化、抗干细胞纤维化、抗氧诱导肺损伤、抗肿瘤等药理作用^[16]。对类风湿性关节炎及溃疡疾病有良好的疗效,大量研究表明,其药理作用是主要通过其在生物体内的代谢产物氢氰酸和苯甲醛对生物体中病理酶系的抑制作用来实现的。

3.1 苦杏仁苷的结构与性质

苦杏仁苷的分子式为 C₂₀H₂₇O₁₁N, 结构式如图 2A 所示,相对分子质量为 457,其三水合物为斜方柱状结晶(水),熔点为 200 ℃,无水物熔点约为 220 ℃,1 g 可溶于 12 mL 水、900 mL 乙醇或 11 mL 沸乙醇中,易溶于沸水,几乎不溶于乙醚^[2,17]。研究表明苦杏仁苷分为 L-苦杏仁苷和 D-苦杏仁苷 2 种类型(图 2),正常情况下,以 D-苦杏仁苷的形式存在于各种植物种子中,但与其它中药煎煮(40 ℃ 以上)或是在碱性条件下,苦杏仁苷易发生差向异构,且随着温度和 pH 的增加,L-苦杏仁苷与 D-苦杏仁苷含量的比值逐

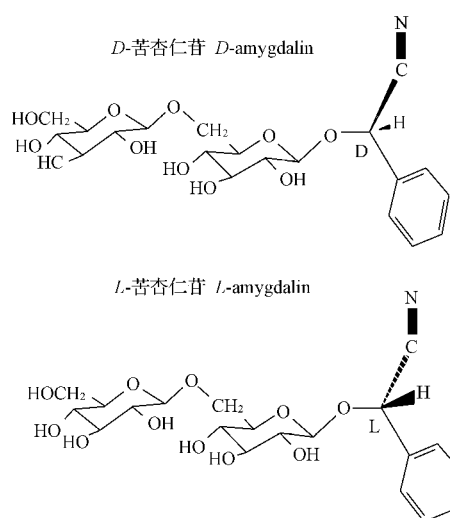


图 2 L 型和 D 型苦杏仁苷的结构式

Fig. 2 Chemical structures of L-amygdalin and D-amygdalin

渐增加,但是酸性环境不影响其构型的变化^[18],说明苦杏仁苷的药效很可能是来自于 L-苦杏仁苷。

3.2 苦杏仁苷在生物体内的代谢

苦杏仁苷在植物中是由 *L*-氨基酸在酶的作用下衍化生成的,其合成代谢如图 3 所示^[2]。在苦杏仁苷酶的作用下,苦杏仁苷进入生物体后水解成野樱苷,然后经其它酶的催化作用被分解生成苯甲醛和氢氰酸,其分解代谢如图 4 所示^[2]。苦杏仁苷药物(含苦杏仁苷 25.3 mg)经单次静脉滴注后,主要以其原形经肾脏随尿液排出,给药结束后 2 h 达到最大排泄速率,24 h 内的累计排泄率为 $(79.6 \pm 16.7)\%$ ^[19],这说明苦杏仁苷在体内的分解率不高,原因可能是通过抑制某些酶类活性从而抑制某些病理反应实现的其药理作用,还有一种可能就是因为人体对苦杏仁苷的需求量很少,多余的就随尿液排出。进一步研究发现,苦杏仁苷在生物体内的代谢

与其不同的给药方式有重大关系,其代谢途径也不完全相同,如对大鼠进行喂灌给药后,血浆中只检测到野黑樱苷,未检测到苦杏仁苷原型,而注射给药后在血浆中可检测到其原型^[20-21],这很可能是由于生物体消化道中存在大量或者活性较高的催化苦杏仁苷分解成野黑樱苷的酶类,而血液系统中此类酶的种类较少或活性不高的缘故。同时研究发现,苦杏仁苷单体与苦杏仁复合物在生物体内的代谢途径也并非完全一样,当苦杏仁苷单体进入生物体后,血浆中的代谢产物只有野黑樱苷 M_1 ,而当苦杏仁单体与其它药品一起进入生物体后,血浆中可检测到代谢产物野黑樱苷 M_1 和野黑樱苷 M_2 (M_1 、 M_2 为野樱苷的同分异构体),因此可以推测苦杏仁中其它成分对苦杏仁苷的代谢途径产生了一定的影响^[22]。

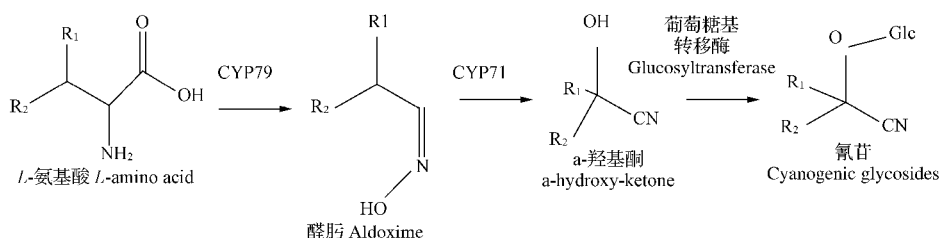


图 3 苦杏仁苷的合成代谢

Fig. 3 The biosynthetic and degradation of amygdalin

4 苦杏仁苷的生物功能

4.1 抗肝细胞纤维化

肝细胞纤维化是多种慢性肝病晚期所共有的组织学变化过程,而肝星状细胞(HSC)-T6 的瀑布级联式的增殖及其向肌成纤维细胞(MFB)转化是其重要的发病机制。另外,研究发现凋亡基因家族 *Bcl-2* 与肝细胞纤维化有着重要的关系,它是一个参与细胞死亡调控的基因家族,其调控机理主要是通过阻遏线粒体释放细胞色素 C 并与其竞争结合 Apaf-1 以达到抑制半胱氨酸天冬蛋白酶(caspase)-9 的活化,从而阻断 caspase 的级联瀑布效应以达到拮抗细胞凋亡来实现的。同时,与之作用相反的 *Bax* 基因则是一个促凋亡的基因,*Bcl-2* 基因可通过与 *Bax* 竞争结合形成异源二聚体从而实现抑制细胞凋亡的目的。在静止的 HSC 细胞中,抗凋亡基因 *Bcl-2* 可在细胞中强烈表达,但在 HSC-T6 活化情况下,*Bcl-2* 的表达水平明显降低,而 *Bax* 基因的则显著升高,最终导致 *Bcl-2/Bax* 比值显著降低,使细胞进入凋亡程序^[23]。研究发现,苦杏仁苷在其高、中浓度下能刺激 HSC-T6 增殖,从而促进凋亡基因 *Bax* 的表达,降

低 *Bcl-2/Bax* 比值,最终使活化的 HSC-T6 细胞提前进入凋亡程序而实现抗纤维化的作用,由此可推断,苦杏仁苷的抗纤维化机理可能并不是通过直接抑制 HSC-T6 的增殖,而是通过抑制已活化的 HSC-T6 细胞的分泌功能来实现的^[24]。

4.2 抗炎

苦杏仁苷能够增加老年糜烂性胃炎患者血清中超氧化物歧化酶(SOD)的浓度,且能降低其中丙二醛(MDA)和一氧化氮(NO)的浓度,从而对老年糜烂性胃炎具有一定的疗效。研究发现,苦杏仁苷可通过抑制蛋白酶的活性,抑制胃酸的分泌,从而降低 MDA 的浓度,同时,MDA 浓度的降低能够减少肿瘤基因的表达,从而对胃黏膜形成保护作用,加快糜烂的愈合,说明苦杏仁苷能够改善老年糜烂性胃炎患者的临床疗效^[25]。

类风湿关节炎(rheumatoid arthritis, RA)是一种自身免疫性疾病。初步研究表明,细胞因子肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和细胞间粘附分子(sICAM-1)是导致 II 型胶原诱导性关节炎(type II collagen induced arthritis, CIA)的重要因子,这些因子可诱导滑膜细胞产生多种细胞因子,促进滑膜细胞增殖,进而促进

RA 滑膜细胞凋亡,引起炎症反应。ICAM-1 通过介导细胞间、细胞与细胞外基质间的粘附作用,促进炎症的发生与发展。研究发现,苦杏仁苷(药剂量为 $120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)进入患 RA 大鼠体内后,滑膜增生、炎症细胞浸润及血管生成明显减轻,外周血中 $\text{TNF-}\alpha$ 、sICAM-1 的表达水平降低,说明苦杏仁苷在一定浓度下可抑制 $\text{TNF-}\alpha$ 及 sICAM-1 的表达,有效抑制 CIA 大鼠关节肿胀,从而具有一定的治疗 RA 的生物功效^[26-27]。

研究表明,白细胞介素- 1β (interleukin- 1β , IL- 1β)、基质金属蛋白酶(matrix metalloproteinase)等细胞因子和炎症介质与椎间盘的退变有很大的关系,特别是炎症因子 IL- 1β 能够通过改变 *Bax*、*Bcl-2* 在基因和蛋白水平上的表达,启动和促进软骨终板细胞的凋亡,从而对椎间盘软骨细胞的退化有着重要的影响^[28]。苦杏仁苷在其不同浓度(1×10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} 、 $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)条件下能够拮抗 IL- 1β 上调 *Bax* mRNA 表达,下调 *Bcl-2* mRNA 的表达,特别是在浓度为 $10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,作用效果最为显著,此浓度下采用分子印迹技术(Western blot)检测 *Bax*、*Bcl-2* 蛋白的表达时,发现 *Bax* 蛋白的表达明显降低,而 *Bcl-2* 蛋白的表达明显增强(图 4)。由此推断,苦杏仁苷可拮抗 IL- 1β 诱导的椎间盘软骨终板细胞凋亡,延长软骨终板细胞的生存周期,其机理可能是通过线粒体凋亡相关通路调节 *Bax*、*Bcl-2* 的表达实现的,但其信号机制尚不清楚^[29],不过这些研究可为苦杏仁苷的抗炎机理研究提供现实依据。

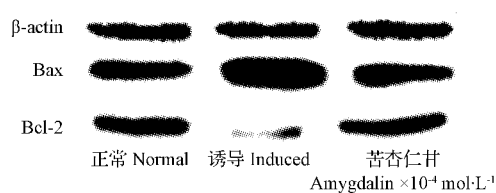


图 4 Western blot 检测 *Bax* 和 *Bcl-2* 蛋白的表达

Fig. 4 Western blot analysis of the protein levels of *Bcl-2* and *Bax*

4.3 抗肿瘤

膀胱癌是泌尿系统最常见的恶性肿瘤,用苦杏仁苷和葡萄糖苷酶共同作用于膀胱癌 EJ 细胞株,以研究苦杏仁苷对 EJ 细胞生长、凋亡及细胞周期的影响。结果表明,当苦杏仁苷($1 \sim 5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)和 β -葡萄糖苷酶($250 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$)分别单独作用于膀胱癌 EJ 细胞时,效果不明显,但当二者共同作用时,EJ 细胞的生长抑制率显著增加,且抑制率随着苦杏仁

苷浓度的增加而增加,其 IC_{50} 为 $8.64 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。由此说明,苦杏仁苷可在无细胞毒性的浓度下抑制膀胱癌 EJ 细胞的生长而促进其凋亡,最终实现抗肿瘤的生物功效^[30]。

前列腺癌是人类最普遍的非皮肤癌之一,而细胞凋亡常发生在一些病理学多细胞中,且是细胞替代、组织重建、损坏细胞移除的部分作用机制,因而对癌细胞的死亡具有积极的作用。研究发现,*Bcl-2* 家族蛋白和半胱天冬酶(caspases)是 2 种参与细胞凋亡的重要蛋白,而 *Bcl-2* 家族蛋白又分为抗细胞凋亡蛋白(*Bcl-2*)和促细胞凋亡蛋白(*Bax*),其功能已在文中前段阐述。现代药物研究中,常用 *Bcl-2* 与 *Bax* 比例来检测一些组织细胞对药物凋亡的感应。半胱天冬酶是细胞凋亡的核心因素,而通常认为 caspase-3 是细胞凋亡的主要因子,其活性是在 *Bax* 蛋白诱导细胞色素释放过程中被激活的。CHANG 等^[31]在研究苦杏仁苷诱导人类 DU145 和 LNCaP 前列腺癌细胞凋亡时,发现当苦杏仁苷的浓度在 $0.1 \sim 10.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围时,DU145 和 LNCaP 细胞(培养 24 h)的存活率随其浓度的增加而逐渐降低,同时,苦杏仁苷能分别降低和促进 DU145 及 LNCaP 前列腺癌细胞中 *Bcl-2* mRNA 和 *Bax* mRNA 的表达。用 Western blot 技术检测被苦杏仁苷处理过的上述 2 种癌细胞中 *Bcl-2* (25 kDa)和 *Bax* (26 kDa)蛋白的表达水平时,*Bcl-2* 蛋白的表达呈剂量依赖性降低,而 *Bax* 蛋白的表达呈剂量依赖性增强。且当苦杏仁苷的浓度为 $0.1 \sim 10.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,LNCaP 癌细胞中 caspase-3 活性逐渐增加,当加入 $10.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 苦杏仁苷和 $1 \mu\text{g}$ DEVD-fmk(caspase-3 的抑制剂)后,其活性就会下降。总之,苦杏仁苷对前列腺癌细胞凋亡具有一定的诱导作用,因而可为前列腺癌的治疗带来希望。

5 展望

关于苦杏仁苷的研究虽然有不少文献报道,且其含量分布、结构性质、代谢途径、分离方法等方面的研究已比较深入和全面,但在某些方面的还存在不足。

一方面,其药理功能的分子机理还需更深入和长期的探索,特别是在抗炎、抗肿瘤方面的研究,且大多研究还处于动物试验阶段,临床试验研究相对较少。因此,在其临床试验和药品开发等方面的研究还具有广阔的前景,从而可为苦杏仁苷的应用打下坚实的理论基础。

另一方面,杏仁已是我国传统的药食两用果实,

而苦杏仁苷是其重要药理成分之一,不仅是优良的药物资源,还是一种美味食品,因此,不管将其开发成药品或食品均有较为广阔的前景。但在食用过程中,苦杏仁苷具有一定的致毒性,特别是婴幼儿和年龄偏小的人群食用一定量或大剂量服用该药品后会被人体中 β -葡萄糖苷酶催化分解而生成具有强毒性的氢氰酸,该分解物能破坏细胞呼吸,严重者甚至死亡,相关安全事故的报道也时有发生。因此,若要对苦杏仁苷进行广泛开发,首先得解决苦杏仁苷对人类的这一潜在危害,其脱毒工艺特别是非破坏性脱毒方法和低毒性相关药物的研究技术将是重点研究方向,今后可从几个方面进行解决:一是基因工程技术,利用该技术抑制或去除催化形成苦杏仁苷的酶蛋白基因,从而降低杏仁的毒性;二是新型食品加工技术,如脉冲电场辅助加热技术、微波技术及辐照技术等,使苦杏仁苷因加热作用或化学变化而被分解;三是分子靶向技术,将苦杏仁苷进行适当变性以制成新型分子靶向药物,使其能与患者的致病部位特异性结合,从而降低苦杏仁苷的副作用。总之,苦杏仁苷的广泛应用尚需进行深入的研究。

参考文献

- [1] CONN E. Cyanogenic compounds[J]. Ann Review Plant Physiology Plant Molecules Biology, 1980, 31: 433-451.
- [2] 夏其乐,王涛,陆胜民,等. 苦杏仁苷的分析、提取纯化及药理作用研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(21): 403-407.
- [3] 刘策,曹清明,屠焰,等. 杏仁皮的苦杏仁苷含量测定及脱毒工艺探究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(3): 59-62.
- [4] 颜永刚,裴瑾,万德光. HPLC法测定不同产地和品种桃仁中苦杏仁苷[J]. 中草药, 2008, 39(9): 1415-1416.
- [5] 云琦,马小华,高晓黎,等. 新疆桃仁中苦杏仁苷含量测定新方法研究[J]. 中国药品标准, 2013, 14(6): 433-436.
- [6] 葛任新,李月娥,陈宗文. 不同产地苦杏仁中苦杏仁苷含量比较研究[J]. 国际医药卫生导报, 2011, 17(22): 2791-2794.
- [7] 沈廷明,吴仲玉. HPLC法测定枇杷花中苦杏仁苷[J]. 中草药, 2012, 43(12): 2438-2439.
- [8] 赵江林,刘建红,候拥锐,等. 两种灭酶方法对苦杏仁级苦巴旦杏仁中苦杏仁苷含量的影响[J]. 中国药业, 2014, 23(5): 18-19.
- [9] 张帆,李臻,哈木拉提·吾甫尔,等. 新疆地产干果中苦杏仁苷含量的快速测定[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 138-140.
- [10] 刘书新. 超声波辅助提取乌梅苦杏仁苷工艺研究[J]. 食品工业, 2013, 34(6): 62-64.
- [11] 王涛,夏其乐,陆胜民. 超声波提取杨梅蔬果核仁中苦杏仁苷工艺研究[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(3): 779-785.
- [12] 张倩,马晓丽,常军民,等. 胶束毛细管电泳法测定天山花椒果实中苦杏仁苷的含量[J]. 西北药学杂志, 2011, 26(5): 319-321.
- [13] 许宁侠,陈邦,申烨华. 响应面法优化长柄扁桃中苦杏仁苷的提取工艺[J]. 食品工业科技, 2014(4): 270-273.
- [14] KAWAHITO Y, KONDO M, MACHMUDAH S, et al. Supercritical CO_2 extraction of biological active compounds from loquat seed[J]. Separation and Purification Technology, 2008, 61: 130-135.
- [15] 李强. 志丹杏杏仁中苦杏仁苷提取、纯化及水解研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006: 45-46.
- [16] 吕建珍,邓家刚. 苦杏仁苷的药理作用研究进展[J]. 现代药物与临床, 2012, 27(5): 530-535.
- [17] 孙文基,谢世昌. 天然药物成分定量分析[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2003: 37.
- [18] 汤庆发,谢颖,陈飞龙,等. 苦杏仁苷中苦杏仁苷的存在形式及其影响因素[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(8): 107-109.
- [19] 李晓冰,石富国,菅凌燕,等. LC-MS/MS法同时测定人尿液中苦杏仁苷和芍药苷及其尿药排泄研究[J]. 药学报, 2015, 50(10): 1330-1335.
- [20] 高萌,王跃生,魏惠珍,等. 超高效液相色谱-串联四极杆飞行时间质谱和超高效液相色谱-串联三重四极杆质谱用于血浆中苦杏仁苷及其代谢产物野黑樱苷的定性和定量分析[J]. 色谱, 2014, 32(6): 592-598.
- [21] 付志玲,郑晓晖,房敏峰. 霜制对苦杏仁中苦杏仁苷在大鼠尿液中的代谢与排泄影响[J]. 中成药, 2011, 33(7): 1202-1205.
- [22] 房敏峰,付志玲,王启林,等. 炮制对苦杏仁苷在大鼠体内代谢的影响[J]. 中国中药杂志, 2010(20): 2684-2688.
- [23] GONG W R, PECCI A, ROTH S, et al. Transformation-dependent susceptibility of rat hepatic stellate cells to apoptosis induced by soluble Fas-ligand[J]. Hepatology, 1998, 28(2): 492-502.
- [24] 赵昉,骆欢欢,张奉学. 苦杏仁苷对大鼠肝星状细胞 HSC-T6 增殖和 *Bax* 基因表达的影响[J]. 新中药, 2012, 44(1): 111-113.
- [25] 卢明芳,王蓉,王晓君,等. 苦杏仁苷对老年糜烂性胃炎患者血清 SOD、MDA 和 NO 浓度的影响[J]. 检验医学与临床, 2015, 12(19): 2868-2869, 2872.
- [26] 罗德梅,单志桂,葛金莲,等. 苦杏仁苷对 II 型胶原诱导性关节炎大鼠肿瘤坏死因子- α 和细胞间黏附分子的影响[J]. 中国中医药信息杂志, 2015, 22(7): 75-77.
- [27] DENG J G, WANG H L, LIU V D, et al. Anti-atherosclerotic effects mediated by the combination of probucol and amygdalin in apolipoprotein-knockout mice fed with a high fat diet[J]. J An Vet Adv, 2012, 11(1): 20-25.
- [28] RUTGES J P, NIKKELS P G, ONER F C, et al. The presence of extra cellular matrix degrading metalloproteinases during fetal development of the intervertebral disc[J]. Eur Spine J, 2010, 19(8): 1340-1344.
- [29] 郑为超,牛凯,赵永见,等. 苦杏仁苷对 IL-1 β 诱导后大鼠椎间盘软骨终板细胞凋亡的影响[J]. 中国药理学通报, 2014, 30(12): 1734-1738.
- [30] 袁振,周洁,王启辉,等. β -葡萄糖苷酶激活苦杏仁苷诱导膀胱癌 EJ 细胞凋亡的实验研究[J]. 现代泌尿外科杂志, 2013, 18(2): 113-116.
- [31] CHANG H K, SHIN M S, YANG H Y, et al. Amygdalin induces apoptosis through regulation of *Bax* and *Bcl-2* expressions in human DU145 and LNCaP prostate cancer cells[J]. Biol Pharm Bull, 2006, 29(8): 1597-1602.

DOI:10.11937/bfyy.201706045

种子萌发的激素信号互作

周 峰^{1,2}

(1. 南京晓庄学院, 江苏 南京 211171; 2. 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 山东 滨州 256603)

摘 要:种子萌发受到许多外界和内部因素的严格调控,激素可通过整合内源信号和环境信号协调调控种子萌发。现重点概述了脱落酸(abscisic acid, ABA)和赤霉素(gibberellins, GA)的信号互作及对光照、温度的响应,ABA和乙烯之间的信号互作。指出转录因子FUS3不仅是ABA和GA信号转导途径的枢纽节点,还能通过前馈和反馈调控回路控制种子成熟过程中ABA的积累。而且FUS3在ABA和乙烯的互作中也起重要作用,它负调控乙烯生物合成和信号转导基因的表达。此外,RGL2、XERICO和ABI5也是ABA和GA信号转导途径的枢纽位点。种子响应光质的ABA和GA调控枢纽元件是PII5/PIF1。而在正反馈调控回路中,高温下种子ABA/GA比例的增高可维持较高的FUS3蛋白含量水平增强ABA的响应。

关键词:种子萌发;信号互作;脱落酸;赤霉素

中图分类号:S 604⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)06-0195-04

植物激素可通过整合内源信号和环境信号,协调调控植物整个生活史中各个阶段的生长和发育。研究表明,激素信号途径不仅可以单独的进行线性

作者简介:周峰(1978-),男,山东淄博人,博士,副教授,现主要从事植物生理生化等研究工作。E-mail:zfbcas@163.com.

基金项目:国家高技术研究发展 863 计划资助项目(2012AA021701);江苏省自然科学基金青年基金资助项目(BK2012073);江苏省生态学重点学科建设资助项目(2012);山东省黄河三角洲生态环境重点实验室开放基金资助项目(2015KFJJ04)。

收稿日期:2016-12-16

调控,还可在各个水平形成复杂的调控网络以响应多重信号分子。这种相互作用可使植物在快速变化的环境条件下保持发育的协同性(plasticity)和鲁棒性(robustness)。生物鲁棒性是指生物在受到外部扰动或内部参数摄动等不确定因素干扰时,生物系统保持其结构和功能稳定的一种特性。很多激素的冗余功能归因于激素代谢和信号途径之间的互作(cross talk)。所谓激素信号之间的互作是指当多种激素共同参与某一生理活动的调节时,激素与激素之间往往存在着协同作用或拮抗作用,这对维持其功能活动的相对稳定起着重要作用。例如激素可通

Research Progress in Analysis and Biological Function of Amygdalin

XIE Yong¹, FAN Zhiping², SHI Jia¹, LI Gangfeng¹, ZHU Miao¹

(1. School of Material and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren, Guizhou 554300; 2. Sichuan Provincial Yibin Institute Food and Drug Inspection and Testing Center, Yibin, Sichuan 644000)

Abstract: Amygdalin is one of the most important functional composition in kernel of many rose plants, and it has some special medicinal value. The advance research on content of amygdalin, extraction and purification, structure and characteristic, metabolism pathways and corresponding biological effects of amygdalin were comprehensively reviewed in this study. Finally, it presented outlooks on the research direction and application of amygdalin in the future.

Keywords: amygdalin; extraction and purification; characteristic and metabolism; anti-liver fibrosis; rheumatoid arthritis; bladder cancer