

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.202423.0545

马铃薯不同器官中龙葵素含量的分布特征

张天赐¹, 葛翔力², 傅致君², 喻荣², 陈彦云^{1,3}(1. 宁夏高新技术创业服务中心 银川 750000; 2. 北方民族大学生物科学与工程学院 银川 750021;
3. 宁夏大学生命科学学院 银川 750021)

摘要: 采用水浴浸提法提取 3 个马铃薯品种生长发育时期不同器官中的龙葵素, 利用高效液相色谱法 (high performance liquid chromatography, HPLC) 测定马铃薯生长发育阶段茎、块茎、花和叶片中龙葵素含量, 研究孕蕾期、开花期、收获期马铃薯各器官中龙葵素含量动态变化及分配规律, 为马铃薯饲用、食用安全和龙葵素提取及其形成的生理机制研究提供参考依据。结果表明, 品种间龙葵素总含量高低顺序为: 冀张薯 8 号 > 青薯 9 号 > 大西洋; 生长发育时期龙葵素总含量顺序为: 开花期 > 收获期 > 孕蕾期。3 个品种在孕蕾期龙葵素总含量均表现为茎显著高于叶; 在开花期冀张薯 8 号和青薯 9 号的幼嫩块茎的龙葵素含量均显著高于其他器官, 而大西洋品种的叶中龙葵素含量显著高于其他器官。在孕蕾期, 冀张薯 8 号、青薯 9 号和大西洋的叶、茎中龙葵素分配比例分别为 35:65、39:61、44:56; 在开花期叶、茎、块茎、花中龙葵素分配比例分别为 27:18:34:21、29:21:34:16、27:23:26:24; 在收获期叶、茎、块茎龙葵素分配比例分别为 21:52:27、33:42:25、31:44:25。茎在马铃薯龙葵素积累分配过程中有重要作用。

关键词: 龙葵素; 马铃薯器官; 分配比例; 水浴浸提法; 高效液相色谱法

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)02-094-06

Distribution characteristics of solanine content in different organs of potato

ZHANG Tianci¹, GE Xiangli², FU Zhijun², YU Rong², CHEN Yanyun^{1,3}

(1. Ningxia High-tech Entrepreneurial Service Center, Yinchuan 750000, Ningxia, China; 2. College of Biological Science and Engineering, North University for Nationality, Yinchuan 750021, Ningxia, China; 3. School of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: We extracted the solanine of three varieties at various organs in different growth stages by water extraction method. The content of solanine in stems, tubers, flowers and leaves of potatoes during their growth and development were determined by high performance liquid chromatography. The dynamic change and distribution of solanine content in different organs of potato during budding, flowering and harvesting stages were discussed, in a study to provide a reference basis for feed safety, food safety, solanine extraction and a physiological mechanism of solanine formation. The results showed that the order of all varieties of solanine content in different sampling times was Jizhangshu No. 8 > Qingshu No. 9 > Atlantic. Three varieties in the bud stage showed organ-solanine content was significantly higher than that of stem and leaf. Solanine content of Jizhangshu No. 8 and Qingshu No. 9 young tubers were significantly higher than those in other organs in the flowering period. The Atlantic solanine content in leaves was significantly higher than other organs. In the budding stage leaves, stems solanine allocation ratio of Jizhangshu No. 8, Qingshu No. 9 and the Atlantic was 35:65, 39:61, 44:56; in the flowering period, solanine allocation ratio in leaves, stems, flowers, tubers was 27:18:34:21, 29:21:34:16, 27:23:26:24; in harvest period, solanine allocation ratio in leaves, stems, tubers was 21:52:27, 33:42:25, 31:44:25. The stem played an important role in the accumulation and distribution of solanine.

Key words: Solanine; Potato organs; Distribution ratio; Water bath extraction method; High performance liquid chromatography

随着我国日新月异的发展, 马铃薯产业在我国农业和农村经济发展中的作用越来越重要, 对保障国家粮食安全具有重要意义。随着马铃薯主粮化

战略的启动实施, 马铃薯品质也成为人们关注的焦点, 而马铃薯中龙葵素含量的高低与品质的优劣紧密相关。龙葵素(solanine)又名茄碱, 广泛存在于马

收稿日期: 2023-08-21; 修回日期: 2023-11-17

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2022BBF02002)

作者简介: 张天赐, 男, 副研究员, 研究方向为农业信息与农业科技等。E-mail: 879443086@qq.com

通信作者: 陈彦云, 男, 研究员, 研究方向为马铃薯资源利用及开发。E-mail: rxy_2008@126.com

铃薯、茄子和西红柿等茄科植物中,是一种既有利又有弊的甾族糖苷生物碱。开展马铃薯不同器官龙葵素含量变化及其分配规律研究,了解马铃薯龙葵素分布特征,对马铃薯龙葵素在医药、植物保护和食用安全方面的合理开发利用有重要意义。据文献报道,龙葵素具有溶血性和腐蚀性,对呼吸中枢和运动中枢具有麻痹作用^[1],对 S₁₈₀ 小鼠及 H₂₂ 小鼠肿瘤细胞膜 Na⁺、K⁺-ATPase 及 Ca²⁺、Mg²⁺-ATPase 活性均有明显抑制作用,且其抑制作用呈量效正相关^[2]。它还能够影响肿瘤细胞膜的流动性和肿瘤细胞膜上的蛋白水平,具有清热、消炎、活血、消肿、解毒、抗虫害、抗菌、抗病毒、强心、降低胆固醇及血脂等功效和作用^[3-4],龙葵素可能是将来潜在抗肿瘤治疗的有效药剂^[5-6]。在农业生产上利用其毒性来抑制和毒害小孢霉属、早疫病菌、晚疫病菌、镰刀菌属及其细菌等,同时对阻止病原菌侵入植物伤口有重要作用^[4],且龙葵素提取物能够防治咀嚼式和刺吸式口器害虫,对果蔬的鳞翅目害虫防治效果较好^[7]。但过量食用龙葵素会产生生殖、神经毒性^[8],家畜因食用马铃薯茎叶中毒出现孕胎畸形或死亡^[9]。马铃薯贮藏不当,致使表皮变绿或发芽产生龙葵素,导致食用者出现头痛、腹痛、呕吐、腹泻、瞳孔扩大、心跳先快后慢、精神错乱、昏迷等症^[10]。正是基于龙葵素的许多药用价值,因此龙葵素的研究备受关注,目前大多数研究聚焦在其引起的急性中毒诊治、提取、检测等方面^[11-14]。对马铃薯品种之间龙葵素含量比较^[15]、抗病虫害^[16]、抗真菌^[17]、提高贮藏品质^[18]、不同发育阶段龙葵素含量变化^[19-20]、块茎中龙葵素分布^[21]及龙葵素代谢调控的相关基因^[22-24]等方面已有少量报道。关于马铃薯不同生育阶段、不同器官龙葵素的动态变化及其分配规律尚未见文献报道。笔者通过研究马铃薯孕蕾期、开花期和收获期不同器官龙葵素含量变化及其分配规律,掌握马铃薯 3 个发育时期中龙葵素分布特征,为马铃薯饲用和食用安全及形成生理机制的研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料:大西洋(Atlantic)、冀张薯 8 号(Jizhangshu No. 8)和青薯 9 号(Qingshu No. 9)原种由宁夏马铃薯工程技术研究中心提供,其中,大西洋为早熟品种,冀张薯 8 号为中晚熟品种,青薯 9 号为晚熟品种。孕蕾期、开花期、收获期从宁夏海原

县树台乡大嘴村马铃薯种植基地取样。标品龙葵素(≥99%)购于 sigma 公司。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 采用单因素随机区组设计,每次取样部位随生长发育阶段不同而有所变化。孕蕾期取马铃薯的叶、茎 2 个部位,3 次重复,3 个品种共 18 组样品;开花期取叶、茎、花和块茎 4 个部位,3 次重复,3 个品种共计 36 组样品;成熟期时取叶、茎和块茎 3 个部位,3 次重复,3 个品种共 27 组样品。3 个品种取样时间:冀张薯 8 号 3 个时期的取样时间分别为 2022 年 7 月 5 日、8 月 5 日、10 月 5 日;大西洋各时期取样时间分别比冀张薯 8 号提前 10 d;青薯 9 号各时期比冀张薯 8 号晚取 10 d。

1.2.2 样本的选择 样品要求完整新鲜、无腐烂干枯现象。

1.2.3 取样 取样时,要将马铃薯各器官清洗干净,用滤纸吸干水分,注意均匀取样,每份样品取 10 g。

1.2.4 龙葵素提取 称取同一器官马铃薯组织 10 g,研磨捣碎→加入体积分数 70%的乙醇 77 mL,乙酸 23 mL,电磁搅拌 15 min→80 °C 水浴浸提 5 h→过滤→将滤液蒸至浸膏状→体积分数 5%的硫酸 10 mL 溶解浸膏状物质→过滤→用体积分数 25%的氨水将滤液的 pH 调到 10~11→4 °C 下 12 000 r·min⁻¹ 离心 15 min→用 1%的氨水洗涤沉淀,并静止 20 min,去除上清液留取白色沉淀→45 °C 烘干^[21]。

1.2.5 标准曲线的绘制 精确称取龙葵素标样 15 mg,用体积分数 1%的硫酸溶解龙葵素并转至 1.5 mL 的离心管中,用体积分数 1%的稀硫酸定容,以此作为母液,分别配制 5、3、2.5、2.4、2 mg·mL⁻¹ 的龙葵素标准样品。以龙葵素的质量浓度为横坐标,吸收峰面积为纵坐标绘制标准曲线(图 1)^[15]。

将提取的样品用体积分数为 1%的硫酸溶解,转至容量瓶,并用体积分数为 1%的硫酸定容到 5 mL。

用安捷伦 1200 液相色谱仪测定龙葵素含量。检测器:紫外检测器(PDA)。测定色谱条件:色谱柱为 C18 不锈钢柱,柱温 25 °C,检测波长 213 nm,流动相为乙腈和磷酸二氢钾,磷酸二氢钾的浓度为 0.02 mol·L⁻¹,V_{乙腈}:V_{磷酸二氢钾}=7:3,流速 1.00 mL·min⁻¹,每次进样量为 10 μL。每个样品 3 次重复^[20]。

马铃薯样品中龙葵素含量的计算公式: $X=\rho \times V \times 50/M$;

X—样品中龙葵素含量(w),单位:mg·10 g⁻¹;
ρ—测得结果相应的标准质量浓度,单位:mg·mL⁻¹;V—

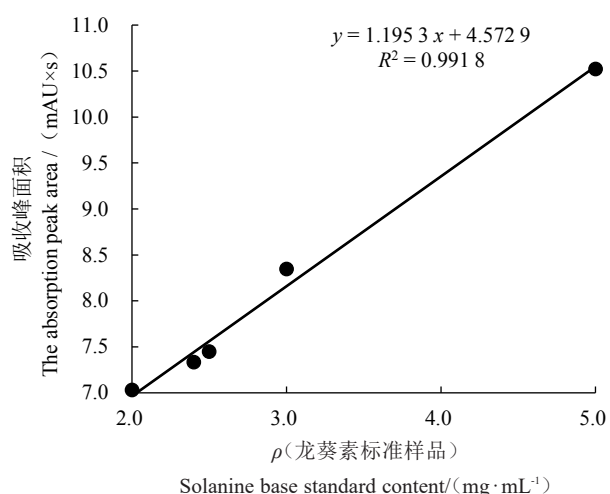


图1 龙葵素标准曲线
Fig. 1 Solanine standard curve

样品提取之后定容的总体积,单位:mL;M一样品量,单位:g。

1.3 数据分析

用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理并计算标准误差(±SD)。用 SPSS 17.0 统计软件进行方差分析、用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同马铃薯品种龙葵素总含量比较

由表1可知,冀张薯8号、青薯9号、大西洋各品种马铃薯龙葵素总含量存在一定差异。孕蕾期冀张薯8号的龙葵素总含量显著高于青薯9号和大西洋,后二者之间无显著差异;开花期各品种龙葵素总含量变化规律与孕蕾期规律相似;收获期3个品种间龙葵素总含量存在显著差异,以冀张薯8

表1 马铃薯品种中龙葵素总含量比较

Table 1 Comparison of the varieties of potato

品种 Varieties	in solanine contents (mg·100 g ⁻¹)		
	孕蕾期 Budding period	开花期 Flowering period	收获期 Harvesting period
冀张薯8号 Jizhangshu No. 8	8.80±0.27 a	11.88±0.24 a	9.64±0.42 a
青薯9号 Qingshu No. 9	5.01±0.44 b	10.50±0.64 b	8.01±0.28 b
大西洋 Atlantic	4.23±0.52 b	10.34±0.58 b	6.10±0.39 c

注:各品种龙葵素总含量为各器官龙葵素含量之和;同列数字后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

Note: The total content of solanthin in each varieties was the sum of the content of solanthin in all organs. Different small letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level. The same below.

号中龙葵素总含量最高。各品种龙葵素总含量高低为冀张薯8号>青薯9号>大西洋。从表1还可知,冀张薯8号、青薯9号和大西洋在不同的生长发育阶段植株中龙葵素总含量变化规律相同:开花期>收获期>孕蕾期。

2.2 同一品种不同时期马铃薯不同器官龙葵素含量的比较

由表2可知,冀张薯8号在3个不同发育阶段各器官中龙葵素含量各不相同。其中,在孕蕾期茎中龙葵素含量显著高于叶中;开花期块茎中龙葵素含量显著高于叶中,叶中龙葵素含量显著高于茎和花中,而茎与花中龙葵素含量无显著差异;收获期茎中龙葵素含量显著高于叶和块茎中,而后二者之间龙葵素含量无显著差异。由此得出,冀张薯8号不同器官中龙葵素含量在孕蕾期:茎>叶,在开花期:块茎>叶>花>茎,在收获期:茎>块茎>叶。

表2 马铃薯不同器官各时期龙葵素含量比较

Table 2 Comparison of the average content of solanine in potato organs in different growing periods (mg·100 g⁻¹)

品种 Varieties	器官 Organ	孕蕾期 Budding period	开花期 Flowering period	收获期 Harvesting period
冀张薯8号 Jizhangshu No. 8	叶 Leaf	2.276±0.149 b	3.497±0.129 b	1.906±0.069 b
	茎 Stem	6.525±0.361 a	2.135±0.070 c	5.645±0.284 a
	花 Flower		2.207±0.248 c	
	块茎 Tuber		4.039±0.106 a	2.089±0.289 b
青薯9号 Qingshu No. 9	叶 Leaf	1.830±0.045 b	2.340±0.075 b	2.788±0.271 a
	茎 Stem	3.177±0.448 a	2.529±0.431 b	2.899±0.153 a
	花 Flower		2.428±0.485 b	
	块茎 Tuber		3.207±0.251 a	2.321±0.006 b
大西洋 Atlantic	叶 Leaf	1.679±0.045 b	3.167±3.280 a	2.259±0.200 a
	茎 Stem	2.556±0.543 a	2.608±0.097 b	2.101±0.024 a
	花 Flower		2.458±0.205 bc	
	块茎 Tuber		2.103±0.146 c	1.744±0.217 b

青薯9号在3个不同发育阶段中各器官龙葵素含量是不同的。其中,在孕蕾期茎中龙葵素含量显著高于叶中;开花期块茎中龙葵素含量显著高于叶、茎和花中,而后三者之间龙葵素含量无显著差异;收获期茎与叶中龙葵素含量均显著高于块茎中,而茎和叶之间龙葵素含量无显著差异。由此得出,青薯9号不同器官中龙葵素含量在孕蕾期:茎>叶,在开花期:块茎>茎>花>叶,在收获期:茎>叶>块茎。

大西洋在孕蕾期、开花期和收获期内各器官龙葵素含量存在差异,其中,孕蕾期茎中龙葵素含量显著高于叶中;开花期叶中龙葵素含量显著高于茎、花和块茎中,茎中龙葵素含量显著高于块茎中,而花中的龙葵素含量介于茎和块茎之间;收获期茎与叶中龙葵素含量显著高于块茎,而茎与叶之间的龙葵素含量无显著差异。由此得出,大西洋不同器官龙葵素含量在孕蕾期:茎>叶,在开花期:叶>茎>花>块茎,在收获期:叶>茎>块茎。

2.3 不同马铃薯品种器官中龙葵素含量的分配情况

由图2可知,冀张薯8号各器官龙葵素含量比例,孕蕾期为叶:茎=35:65,茎的分配比率高达65%;开花期为叶:茎:块茎:花=27:18:34:21;收获期为叶:茎:块茎=21:52:27。随生育期推进,冀张薯8号开花期与孕蕾期相比,茎中龙葵素分配比例大幅下降了47个百分点,块茎中的含量迅速增加,其分配比例高达34%。叶中的龙葵素分配比例下降了8个百分点。收获期与开花期相比,茎中龙葵素分配比例增加了34个百分点,而块茎中的龙葵素分配比例下降了7个百分点,叶中的龙葵素分配比例减少了6个百分点。

由图3可知,青薯9号各器官龙葵素含量比例,孕蕾期为叶:茎=39:61;开花期为叶:茎:块茎:花=29:21:34:16;收获期为叶:茎:块茎=33:42:25。随生育期推进,青薯9号开花期与孕蕾期相比,茎中龙葵素分配比例下降了40个百分点,块茎中分配比例高达34%,同时还增加了花中的龙葵素分配比例,其值为16%,叶中的龙葵素分配比例下降了10个百分点。收获期与开花期相比,茎中龙葵素分配比例增加了21个百分点,块茎中的龙葵素分配比例下降了9个百分点,叶中的龙葵素分配比例增加了4个百分点。

由图4可知,大西洋各器官龙葵素含量比例,孕蕾期为叶:茎=44:56;开花期为叶:茎:块茎:花=

27:23:26:24;收获期为叶:茎:块茎=31:44:25。随生育期推进,大西洋开花期与孕蕾期相比,茎中龙葵素分配比例下降了33个百分点,块茎中的分配比例达到26%,花中龙葵素分配比例为24%,叶中龙葵素分配比例下降了17个百分点。收获期与开花期相比,茎中龙葵素分配比例增加了21个百分点,块茎中的龙葵素分配比例下降了1个百分点,叶中的龙葵素分配比例增加了4个百分点。

3 讨论与结论

笔者在提取阶段所使用的方法改进于张薇等^[25]的浸提法。该方法优点是简单易行,可大量操作,缺点是利用溶剂溶解效率较低。由于本次试验样品量较多,所以选择浸提法来提取马铃薯中的龙葵素。由于原方法水浴时间过长,所以在试验过程中利用龙葵素的热稳定性,将水浴温度提升至80℃,时间缩短为5h,比张薇的时间缩短11h。

利用液相色谱法检测马铃薯中龙葵素含量的关键在于样品处理和色谱条件,而色谱条件关键在于色谱柱。试验过程中采用的是C₁₈柱^[15,26-27],这是基于连接到糖苷配基上不同的糖形成整个分子极性的不同,从而使样品与溶剂分离,便于进行观测。曾凡逵等^[26]检测马铃薯龙葵素时,选择的流速与本试验相同,检测波长和流动相与本试验不同,其出峰时间为10min以后,本试验的出峰时间为3.6min左右。出峰时间的不同与标品的批次、纯度及龙葵素的种类等因素不同有关。

黄红苹等^[15]对131个马铃薯品种的块茎进行了龙葵素含量测定,其含量均不同。本试验中测定的3个品种的马铃薯块茎中龙葵素含量也表现出相同的规律。赵丹青等^[20]研究了马铃薯块茎增长期、淀粉积累期和成熟收获期的3个生长时期,认为龙葵素含量逐渐降低,且覆膜马铃薯中龙葵素含量普遍高于露地马铃薯。而笔者研究了孕蕾期、开花期和成熟收获期,认为龙葵素含量开花期>收获期>孕蕾期。段光明等^[19]报道了马铃薯不同生育时期各器官糖苷生物碱的含量,而缺少收获期马铃薯茎和叶中龙葵素含量的变化,其中在开花期,花中龙葵素含量高达125.7mg·g⁻¹,远远超过其他器官,与本试验结果不同。孕蕾期到开花期,叶、茎中的龙葵素含量均减少,其表现规律相同。本研究结果恰好与这些研究报道^[19-20]有互补之处。

笔者主要研究了马铃薯有性繁殖的关键生长发育阶段同一器官龙葵素分配比例的变化,比如:

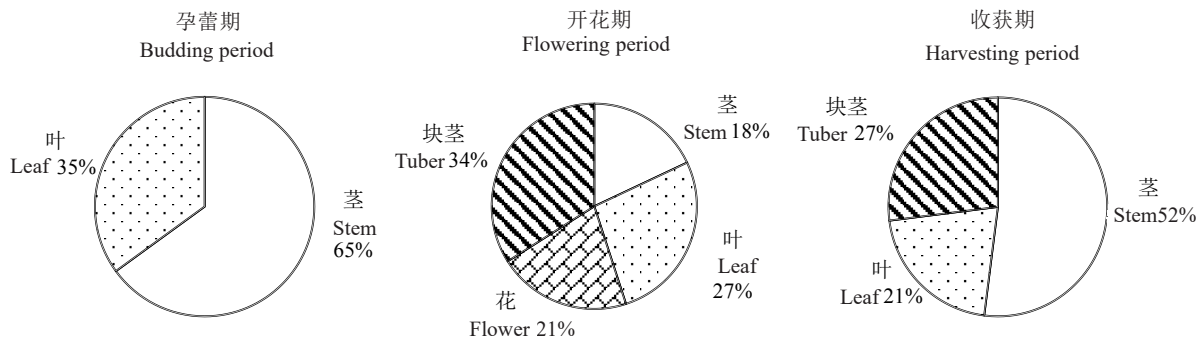


图2 冀张薯8号各器官龙葵素含量比例

Fig. 2 Solanine content ratio in Jizhangshu No. 8 organs

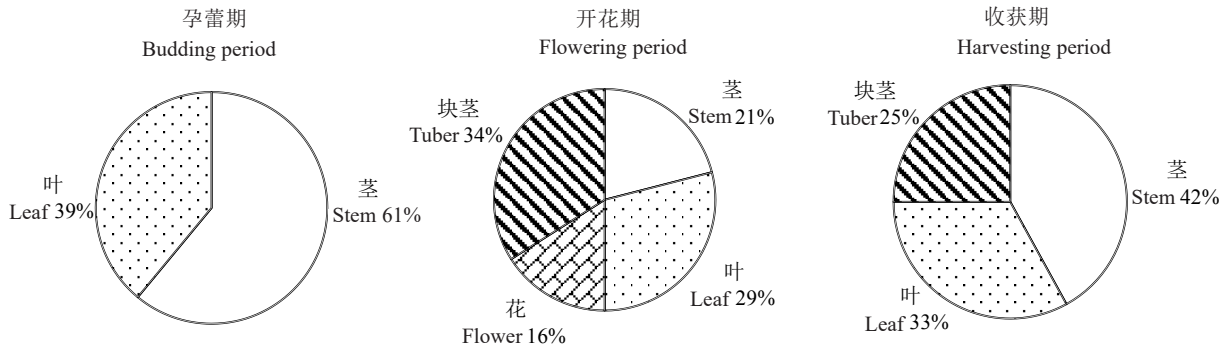


图3 青薯9号各器官龙葵素含量比例

Fig. 3 Solanine content ratio in Qingshu No. 9 organs

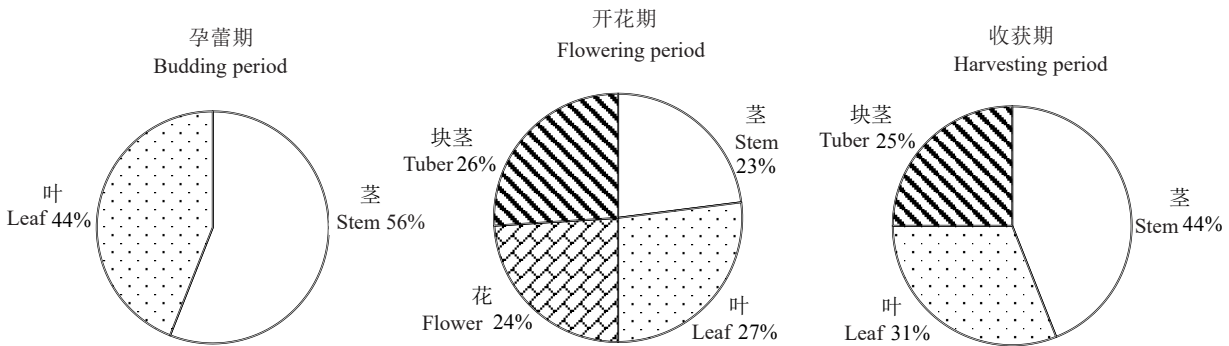


图4 大西洋各器官龙葵素含量比例

Fig. 4 Solanine content ratio in Atlantic organs

块茎和茎中的龙葵素比例变化,幼嫩块茎比收获期成熟的块茎中龙葵素分配比例提高了1~9个百分点。块茎在地下生长时,龙葵素含量高,成熟收获后龙葵素含量降低,实际上是生物自我保护机制的体现。更值得关注的是茎在龙葵素形成过程中起到了重要的生理作用。在营养生长阶段即将结束、生殖阶段刚刚开始时,茎中的龙葵素含量几乎占了总含量的56%~65%。其原因可能是茎作为转运通道将叶中合成的龙葵素接收过来,加之可能自身合成的龙葵素,所以其含量较高,这样可以在马铃薯新器官形成时迅速将龙葵素转运出去。进入有性

繁殖盛期,由于新器官的形成,茎中的龙葵素含量比例下降了33~47个百分点,其中部分龙葵素可能转移至块茎和花中。而收获期,花已消亡,茎中的龙葵素含量比例又大幅上升了21~34个百分点。由此可见,马铃薯茎既可能是龙葵素合成、运输的重要器官,又可是贮藏龙葵素的重要器官。其生理功能和作用机制还有待于进一步深入研究。

彭真^[22]对二倍体栽培种马铃薯RH各组织的龙葵素含量定量分析结果显示,龙葵素含量的高低顺序依次为雌蕊、嫩叶、雄蕊、老叶、薯皮、匍匐茎、根、茎和薯肉。而本试验中同一品种马铃薯整个植株

的龙葵素总含量也表现为开花期最高,其次为收获期,含量最低的是孕蕾期。开花期是马铃薯生长的最旺盛阶段,枝繁叶茂,植株高大,有4个器官,即叶、花、茎、块茎;孕蕾期,个别植株花蕾刚开始形成,大多数植株有2个器官,即叶和茎;收获期植株具有3个器官,即叶、茎和块茎。因此,由于植株的发育阶段不同,器官多少不同,可能导致形成龙葵素总量不同,器官多的发育阶段,植株龙葵素总含量高。说明龙葵素在植物的各个器官中均可贮藏,但是否在各个器官中均可合成,还有待于进一步研究。

马铃薯和茄子虽同为茄科植物,但马铃薯在休眠贮藏期块茎龙葵素含量低于发芽的马铃薯,生物碱可促进块茎萌发,而茄子生物碱可抑制种子萌发^[28],其生理机制却表现不同。马铃薯以营养器官块茎作为他们的繁殖体,茄子以生殖器官作为他们的繁殖体,器官类型完全不同,这可能是导致其生理机制不同的主要原因。但马铃薯种子的龙葵素含量及其分布特点如何,还有待于进一步研究。

3个马铃薯品种在孕蕾期、开花期、收获期各器官龙葵素分配规律不同:茎中龙葵素含量分配由高(56%~65%)到低(18%~23%)再到高(42%~52%);叶中龙葵素含量分配由高(35%~44%)到低(27%~29%)再升高(21%~33%)或冀张薯8号略降低(21%);块茎中龙葵素含量由高(26%~34%)到略低(25%~27%);花中龙葵素含量由无到产生(16%~24%),到器官消失。茎的龙葵素含量分配比例变化最大,在龙葵素分配中起到重要作用。

参考文献

- [1] 季宇彬,吴盼,郎郎.龙葵碱的毒理学研究进展[J].中草药,2009,40(增刊1):29-31.
- [2] 季宇彬,高世勇,王宏亮,等.龙葵总碱对肿瘤细胞膜钠泵及钙泵活性影响的研究[J].世界科学技术-中医药现代化,2006,8(4):40-43.
- [3] 吴秋霞,陈芳,肖冬梅,等.马铃薯切片贴敷治疗静脉输液渗漏的观察护理[J].按摩与康复医学,2010,1(3):83-84.
- [4] 巩江,倪士峰,邱莉惠,等.龙葵素的药理·毒理及药用研究[J].安徽农业科学,2009,37(9):4108-4109.
- [5] SUN H W, LV C Q, YANG Y Y, et al. Solanine induces mitochondria-mediated apoptosis in human pancreatic cancer cells[J]. Biomed Research International, 2014, 2014: 805926.
- [6] 韩宪富,黄委委,刘俊鹏,等.马铃薯代谢物龙葵素药用价值的研究现状[J].中国药理学通报,2022,38(10):1462-1465.
- [7] 冯焯,花萌.马铃薯龙葵素研究进展[J].农业与技术,2022,42(20):25-28.
- [8] 周国亮,宋翼升,辛艳飞,等.龙葵素的生殖毒性研究进展[J].中国临床药理学与治疗学,2013,18(11):1291-1296.
- [9] 江成海.马铃薯中毒的预防[J].农村科技,2004(1):19.
- [10] 徐敏慧,刘珂伟,张晓慧,等.马铃薯中龙葵素的研究进展[J].保鲜与加工,2017,17(1):112-116.
- [11] 李天星,蔡婷婷,薛秋平.龙葵素中毒误诊误治分析[J].临床误诊误治,2019,32(9):8-10.
- [12] 李宁,李鼎鹏,丁聚贤,等.龙葵素膏外敷对膝关节滑膜炎模型兔血清SOD、MDA及滑膜形态的影响[J].甘肃中医药大学学报,2021,38(1):16-20.
- [13] 王炼,程佳莹,陈达炜,等.加速溶剂萃取-亲水作用色谱-串联质谱法检测马铃薯中 α -茄碱[J].中国食品卫生杂志,2020,32(6):636-640.
- [14] 余永霞,蒋雅楠,刘清亮,等.龙葵素检测技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2020,11(12):3930-3936.
- [15] 黄红苹,郭华春,王琼,等.云南马铃薯品种(系)块茎中的龙葵素含量测定[J].中国农业科学,2011,44(7):1512-1518.
- [16] CUI T, BAI J, ZHANG J, et al. Transcriptional expression of seven key genes involved in steroidal glycoalkaloid biosynthesis in potato microtubers[J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2014, 42(2): 118-126.
- [17] 多甜甜,何静,陈伟,等.马铃薯糖苷生物碱的抑菌活性及其对菌体细胞膜透性的影响[J].甘肃农业大学学报,2017,52(5):50-54.
- [18] 孟卫芹.马铃薯采后绿变控制及品质保持技术研究[D].山东泰安:山东农业大学,2012.
- [19] 段光明,刘加,李霞.马铃薯糖苷生物碱的生物学作用及开发利用[J].资源开发与市场,1995,11(2):61-65.
- [20] 赵丹青,张锋锋,吴燕,等.宁夏不同地区不同品种马铃薯中龙葵素在不同生长期的积累含量测定[J].中国野生植物资源,2017,36(6):29-31.
- [21] 陈冠.贮藏马铃薯龙葵素的分布与含量[J].食品科学,1984(9):8-15.
- [22] 彭真.二倍体马铃薯薯肉龙葵素的驯化与遗传研究[D].昆明:云南师范大学,2019:12-14.
- [23] 王宇.龙葵素促进马铃薯块茎萌芽的功能研究[D].四川雅安:四川农业大学,2020:7-9.
- [24] 魏振林,马艳青,代亚维,等.马铃薯龙葵素合成关键SSR2双重基因编辑载体的构建[J].分子植物育种,2022,20(18):6024-6029.
- [25] 张薇,熊兴耀,李霞.马铃薯中龙葵素的提取方法[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2006,32(6):665-667.
- [26] 曾凡逵,周添红,康宪学,等.HPLC法测定马铃薯块茎中糖苷生物碱的含量[J].中国马铃薯,2015,29(5):263-268.
- [27] 肖文军,李勤,熊兴耀,等.高效液相色谱法分析马铃薯中 α -茄碱[J].分析化学,2011,39(9):1459-1460.
- [28] 李志文.茄子体内糖苷生物碱的含量分布特征及其化学生态学功能研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2009.