

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2015)04-0233-11

综 述

马铃薯营养综述

曾凡逵, 许 丹, 刘 刚*

(中国科学院兰州化学物理研究所, 环境材料与生态化学研究发展中心, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 马铃薯块茎大约含有 20% 干物质, 干物质主要由淀粉组成, 还含有少量的蛋白质、膳食纤维、维生素、矿物质等。马铃薯储存能量的形式几乎完全是淀粉, 因为烹饪过的马铃薯淀粉糊化以后几乎能够完全被消化吸收, 被认为是高血糖指数食品, 但是糊化后返生的马铃薯淀粉含有抗性淀粉, 抗性淀粉可以被当成膳食纤维。马铃薯蛋白必需氨基酸含量高, 营养价值高, 富含赖氨酸, 这一点刚好能弥补大米、小麦等主粮的缺陷。然而, 马铃薯可溶性蛋白营养价值的一个限制因素是含硫氨基酸含量低, 包括蛋氨酸和半胱氨酸。尤其是半胱氨酸含量低, 这一点会对马铃薯面条、馒头的开发造成不利影响。对马铃薯块茎的营养进行了全面综述: 阐述马铃薯淀粉的理化性质及消化过程中对血糖的影响, 马铃薯蛋白的营养价值及对加工性能的影响, 同时也对马铃薯膳食纤维、维生素、矿物质和植物营养素的研究进展进行综述。

关键词: 马铃薯; 营养价值; 淀粉; 血糖指数; 蛋白质; 植物营养素

Potato Nutrition: A Critical Review

ZENG Fankui, XU Dan, LIU Gang*

(Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Environmental Materials and Eco Chemical Research and Development Center, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Potato tuber contains about 20% of dry matter, which is mainly composed of starch, and it also contains a small amount of other matters, such as protein, dietary fiber, vitamins, and minerals. The form of the energy storage in potato tuber is almost entirely starch. Potato is considered to be high-glycemic index food, as after cooking, potato starch is gelatinized, and almost completely absorbed by digestion. But retrograded potato starch contains resistant starch, and the resistant starch can be classified as a form of dietary fiber. With high content of essential amino acids, the nutritional value of potato protein is good. Potato protein is rich in lysine, and this just can make up for the defect of staple food, such as rice and wheat. However, one of the limiting factors of potato-soluble proteins as nutritional value is their low content of sulphur-containing amino acids, methionine, and cysteine. Especially, as the cysteine content is low, it will adversely affect the development of potato noodles and steamed bread. A comprehensive review of potato tuber nutrition was conducted: review on the physico-chemical properties of potato starch and the effect on blood glucose during digestion, potato protein nutritional value and the effect on the properties of processing, and the research progress in potato dietary fiber, vitamins, minerals and phytonutrients were also summarized.

Key Words: potato; nutritional value; starch; glycemic index; protein; plant nutrient

收稿日期: 2015-06-11

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-15); 国家自然科学基金青年基金项目(31301532); 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(科发人字[2013]165号)。

作者简介: 曾凡逵(1980-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事马铃薯加工研究。

*通信作者(Corresponding author): 刘刚, 研究员, 主要从事马铃薯加工研究, E-mail: gangliu@licp.cas.cn。

2015年,农业部宣布中国启动马铃薯主食化战略,未来将马铃薯加工成馒头、面条和米粉等主食,预计到2020年50%以上的马铃薯将作为主粮进行消费。推进马铃薯主食化可缓解资源环境压力,并有效实现农业的可持续发展。

马铃薯块茎含有丰富的淀粉,和大米、小麦一样非常适合作为主食。马铃薯蛋白质必需氨基酸含量高,营养价值好。马铃薯还含有多种生物活性物质,主要是一些小分子物质和次级代谢产物,其中许多化合物在饮食中具有非常重要的营养价值,对人类健康有积极的作用。另外,马铃薯也是膳食纤维、维生素、矿物质和植物营养素的重要来源。推动马铃薯主食化,开发和马铃薯相关的主食产品,需要对马铃薯的营养价值有一个比较全面的了解。

1 马铃薯淀粉的理化性质及其营养价值

1.1 马铃薯淀粉理化性质

马铃薯块茎的详细化学组成见曾凡逵和周添红^[1]以前发表过的论文。马铃薯干物质含量大约为20%,主要为淀粉,图1为真空冷冻干燥马铃薯的扫描电镜图片。马铃薯和木薯、玉米、高粱、小麦、大米、黑麦、燕麦、大麦等一样,是生产商品淀粉的重要原料。

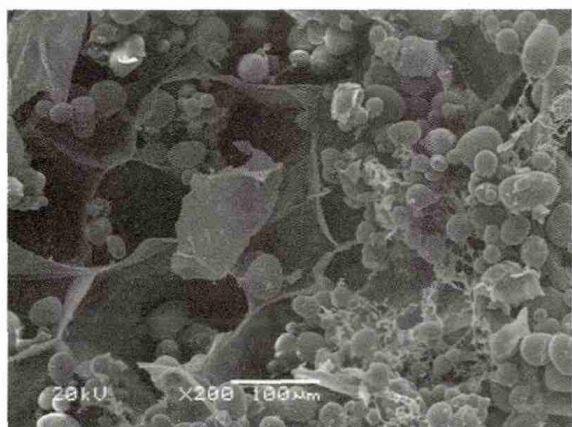


图1 真空冷冻干燥马铃薯SEM图片

Figure 1 Scanning electron microscope (SEM) of vacuum freeze dried potato

马铃薯淀粉的颗粒结构和直链/支链淀粉含量与谷物淀粉不同,从而理化性质也不一样^[2-4]。天然淀粉颗粒有三种主要的X-射线衍射图谱:A-型大部分是谷类淀粉;B-型包括马铃薯淀粉^[5](图2)、其他

块根和块茎类淀粉、高直链玉米淀粉和回生的淀粉;C-型是光粒种青豌豆和其他豆类淀粉。

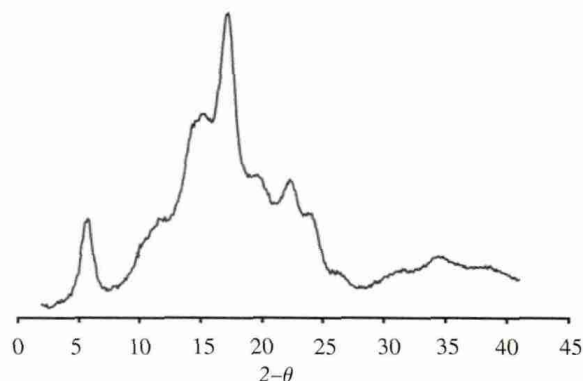


图2 马铃薯淀粉的广角X-衍射图谱

Figure 2 Wide angle X-ray diffraction profile of potato starch

马铃薯淀粉相对于谷物淀粉糊化温度较低,图3为差示扫描量热仪测定的马铃薯淀粉糊化温度^[5]。淀粉糊化温度跟磷含量有关,马铃薯淀粉通常含有0.01%~0.60%的磷,尽管磷含量很低,对淀粉的物理化学性质却有显著的影响。磷含量对马铃薯淀粉的吸水膨胀性、淀粉糊稳定性以及抗淀粉酶水解能力都有影响。马铃薯淀粉含有大量的磷酸酯,以共价键和淀粉结合。马铃薯淀粉中葡萄糖C2、C3和C6羟基的磷酸单酯含量分别为1%、38%和61%,磷酸基团主要存在于长链中(B链的平均聚合度为41)。

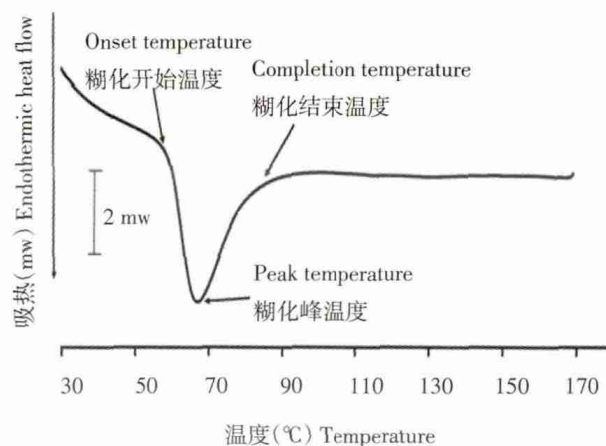


图3 DSC法测定固形物含量为30%的马铃薯原淀粉的糊化温度

Figure 3 Gelatinization of native potato starch at 30% solid content by DSC

1.2 马铃薯淀粉的营养价值

马铃薯块茎是地下茎,膨大演变成为一个越冬能量储存器官。在马铃薯内部,能量储存形式几乎完全为淀粉,新鲜烹饪的马铃薯,其淀粉几乎完全被人类消化,所以被称之为“可利用的碳水化合物(Available carbohydrate)”,因此马铃薯是一种易吸收的碳水化合物能量来源。

近些年,伴随着肥胖现象加重,与流行病相关的一系列代谢综合征和2型糖尿病已成为全球危机,而马铃薯易消化这一特点已成为一把双刃剑^[6],再加之在营养学中血糖指数(Glycemic index, GI)是对有关血糖食物效果的衡量标准,而几项研究也得出结论马铃薯通常具有引起高GI的特点,致使马铃薯受到争议^[7]。

马铃薯的GI测定结果让其在食物中处于不利地位,与面包一起被列为高GI食品,甚至有不少西方营养学家建议降低马铃薯的消费量,用低GI的食物来代替,如面食和粗粮。其实,食用马铃薯引起肥胖的原因不仅仅是由于马铃薯淀粉,与马铃薯的加工方式关系很大。马铃薯几乎不含油脂,而油脂和食物的口感关系非常大,法式炸薯条、油炸薯片都属马铃薯加工产品,脂肪含量大大增加,尤其是油炸薯片。

2 影响马铃薯淀粉GI的因素

目前,国外很多实验室对马铃薯以及单纯马铃薯淀粉的GI进行了测定,测定方法包括体内法和体外法。体内法检测结果偏差比较大,体外法重现性好,偏差也小。影响马铃薯GI测定结果的因素很多。

2.1 内在因素

2.1.1 淀粉结构

研究表明,在含有玉米淀粉的饼干和水稻中,直链淀粉的血糖反应小于支链淀粉。直链淀粉/支链淀粉的比例,还有支链淀粉侧链的长短、分支程度都可能影响马铃薯的消化,尤其是当马铃薯淀粉在烹饪过程中糊化过程是可逆的^[8]。淀粉链长度和消化率之间的关系并非想象当中那么简单,近期的一些研究结果表明,具有高度分支的支链淀粉比具有较长内部链的支链淀粉消化速度要慢,但是链长增加又会降低消化速度^[9]。

2.1.2 淀粉颗粒结构

天然马铃薯淀粉颗粒高度有序和紧密排列的

结构赋予了他们对淀粉酶的高度抗性。生马铃薯淀粉实质上是抗酶活性的,但只要糊化后就能迅速被消化。在天然马铃薯淀粉未糊化的状态下,对血糖含量几乎没有影响^[10],然而只要糊化以后就具有很高的GI值。抗性淀粉也被归为膳食纤维的一种形式,未糊化的马铃薯淀粉可用于增加产品中膳食纤维的含量。

2.1.3 淀粉粒磷酸盐

马铃薯淀粉的理化性质及营养特性不同于一些谷物淀粉,是因为其磷酸盐含量高。淀粉颗粒中的磷酸盐含量被认为可促进颗粒大小,增加其糊化的易感性,这一点对马铃薯淀粉流变学性质非常重要^[11]。有研究表明,糊化赋予了消化的易感性,磷酸盐在淀粉糊化过程中,对增加马铃薯淀粉的血糖效力发挥了作用。

2.1.4 组织结构

组织结构对马铃薯淀粉血糖的影响还未进行深入研究。Henry等^[12]发现粉状马铃薯比蜡状马铃薯具有更高的GI值,可能是因为粉末中涉及组织分解。烘烤的马铃薯其质地一般为粉状,所以在吞咽时可能与马铃薯泥的形式较为相似,然而煮熟和罐装的马铃薯都在湿润的烹饪条件下保持了相对较好的组织完整性,所以消化过程中分解起来比较困难。

2.1.5 其他内在因素

据报道,农艺因素影响马铃薯淀粉的流变学特性^[1],但是这些作用是否对血糖影响有相关性还没有进行研究;成熟度对马铃薯血糖影响的作用,如果有的话,可能是通过改变淀粉结构引起的,马铃薯成熟度、淀粉结构和血糖影响之间的关系需要进一步研究;贮藏对马铃薯血糖效力的影响尚未详细研究,但在马铃薯的贮藏中,众所周知,冷冻诱发的甜化现象非常棘手,但其是否对血糖影响有相关性仍然是不确定的,进一步研究这方面非常有意义;有研究发现,品种和栽培条件对马铃薯淀粉的GI有影响,研究品种和栽培条件对马铃薯淀粉GI的影响,对开发降低血糖影响新品种具有很重要的作用。

2.2 外在因素

2.2.1 烹调方式

用不同的方式烹调马铃薯会产生不同的GI值,可以采用不同的体外测定方法对各种不同烹

调方式加工马铃薯的GI值进行测定。有研究结果表明, 油炸马铃薯的GI值较低, 也许是因为脂肪降低了淀粉类食物的血糖反应。

2.2.2 烹调后冷却

从营养学角度来看, 马铃薯烹调后的冷却可导致血糖效力大幅度降低。马铃薯在煮熟后的冷却处理不仅可降低其血糖效力, 且抗性淀粉(Resistant starch, RS)含量的增加将会引发膳食纤维含量的增加, 因为RS被归类为膳食纤维的一个组成部分。

2.2.3 食物组合

即使马铃薯具有很高的GI值, 但马铃薯通常只是作为食物的一部分, 与其他食物一起被消耗, 其GI会受到其他食物影响。因此, 马铃薯淀粉的血糖效应可能远低于人们所预期的即马铃薯有很高的GI值。不同食物对降低碳水化合物食品血糖效力的作用已被多次证明, 并且有研究结果表明其他食物对降低马铃薯淀粉血糖效力效果是明显的。有研究结果表明, 在淀粉类食物中添加有机酸可有效抑制血糖反应。有一项研究将醋加入到煮熟的马铃薯后, 对其餐后血糖进行测定^[13], 结果显示, 马铃薯的GI值降低了31%。似乎可以得出这样的结论, 即使马铃薯具有很高的GI值, 但他不太可能威胁到健康, 马铃薯在混合饮食中是一种健康平衡的营养物质。

综上所述, 马铃薯在人们的饮食中并非是一种不健康的成分, 尽管普遍不确切的推断认为马铃薯具有高的GI值, 因而有了马铃薯为高血糖指数食品的说法。如果马铃薯被认为不适合现代人群, 认为错误不是马铃薯本身, 而是人们的马铃薯加工方式、饮食习惯和生活方式。相信在饮食搭配合理, 同时加强身体锻炼的人群中, 马铃薯作为一种有利于健康的中密度碳水化合物能量来源起到重要作用, 且在平衡膳食的情况下马铃薯是一种非常好的食物。

3 马铃薯蛋白质及其营养价值

3.1 马铃薯蛋白质组成

新鲜马铃薯块茎蛋白质含量为1.7%~2.1%, 马铃薯块茎当中蛋白质种类非常多, 图4为马铃薯蛋白质的双向电泳图^[14,15]。马铃薯蛋白可分为Patatin蛋白、蛋白酶抑制剂和其他蛋白(高分子量蛋白)三大类^[16]。目前关于Patatin蛋白和蛋白酶抑制剂的研究

报道很多, 高分子量蛋白研究报道相对较少。

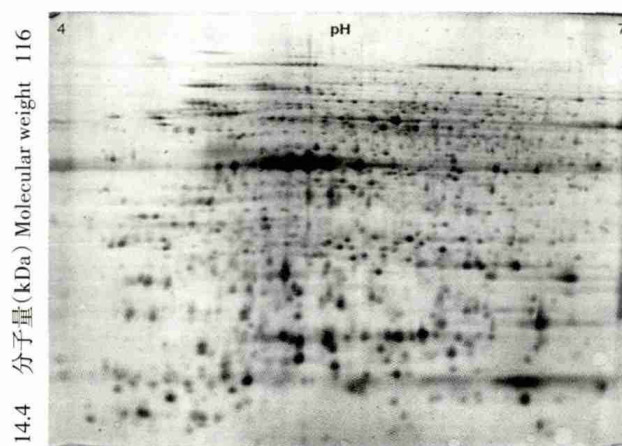


图4 基于等电点和分子量分离马铃薯块茎蛋白质的双向电泳图谱

Figure 4 Two-dimensional electrophoresis separates potato tuber proteins based on their isoelectric points and molecular weights

3.1.1 Patatin 蛋白

Patatin 蛋白是一类分子量介于40~45 kDa的蛋白。Patatin 蛋白大约占马铃薯块茎总可溶性蛋白的40%。Patatin 蛋白的组成明显受到栽培品种的影响, Lehesranta 等^[17]从‘Desirée’马铃薯块茎中分离出了9种Patatin 蛋白, Bauw 等^[18]从‘Kuras’品种中分离出了17种Patatin 蛋白。Patatin 蛋白是马铃薯块茎中贮存的主要蛋白, 具有抗氧化活性。马铃薯Patatin 蛋白作为酰基水解酶具有广泛的底物特异性, 也具有1,3-葡聚糖的活性。Patatin 蛋白在防御害虫和真菌病原体方面发挥了重要作用, 可能是具有酯酶和 β -1,3-葡聚糖酶活性的缘故。

3.1.2 蛋白酶抑制剂

蛋白酶抑制剂约占马铃薯块茎总可溶性蛋白的50%^[19]。对于具有天然活性的马铃薯蛋白而言, Patatin 蛋白适合用于食品工业, 而蛋白酶抑制剂更适合用于制药行业。马铃薯块茎中含有几种蛋白酶抑制剂, 能抑制胰蛋白酶、糜蛋白酶和其他蛋白酶的活性, 因此可降低摄入的蛋白的消化性和生物价。然而, 蛋白酶抑制剂的活性通常由于蒸煮和其他热加工而丧失, 只有当摄入生的或不恰当烹饪方式的马铃薯时才会发生严重的抗营养反应。

马铃薯蛋白酶抑制剂种类繁多, 到目前为止, 编码马铃薯蛋白酶抑制剂的核苷酸序列已经公布了

100多种。根据组成蛋白的不同,马铃薯蛋白酶抑制剂可分为羧肽酶抑制剂、丝氨酸蛋白酶抑制剂、半胱氨酸蛋白酶抑制剂与天冬氨酸蛋白酶抑制剂等。过去长期把蛋白酶抑制剂当作抗营养因子进行研究^[20],近年来发现其具有抗癌和调节饮食的作用,在食品和制药工业中具有广阔的应用前景。

马铃薯蛋白酶抑制剂具有重要潜在的应用价值,例如用于减肥、预防和治疗血栓性疾病和癌症等。马铃薯蛋白酶抑制剂可提高血浆中胆囊收缩素的含量,胆囊收缩素能延缓胃的排空,控制人体血糖浓度,通过产生饱腹感减少食物的摄入而达到减肥的目的^[21];马铃薯蛋白酶抑制剂还可预防太阳光紫外线对人体皮肤的伤害,因此可用于新型护肤品的研制^[22];粪便中的蛋白酶含量过高会引起肛周炎,而马铃薯蛋白酶抑制剂可有效抑制人体粪便中蛋白酶的活性,因此可通过外敷马铃薯蛋白酶抑制剂来预防和治疗蛋白酶引起的肛周炎^[23]。此外,马铃薯羧肽酶抑制剂具有抗血栓活性^[24]与抗肿瘤作用^[25];Kim等^[26]报道了Kunitz型丝氨酸蛋白酶抑制剂具有抗白色念珠菌、金黄色葡萄球菌、李斯特菌和大肠杆菌等人类和植物病原微生物的活性,因此可用于开发新型抗感染剂或农药;李广存等^[27]报道了马铃薯Kunitz型丝氨酸蛋白酶抑制剂具有抗马铃薯青枯病的作用。

工业化生产马铃薯蛋白主要是考虑对马铃薯淀粉加工过程中产生的淀粉分离汁水中的蛋白质进行回收,国外已经商业化生产,相关产品商品名称叫马铃薯浓缩蛋白(Potato concentrated protein, PCP)。国内中国

科学院兰州化学物理研究所刘刚课题组经过多年的研究,建立了马铃薯浓缩蛋白生产线,并且已经在多个淀粉厂进行推广应用。马铃薯浓缩蛋白是马铃薯块茎当中各种蛋白组分的混合物,且蛋白质在蒸汽蒸煮过程中已经发生变性,为了回收具有生物活性的食品级(药品级)马铃薯蛋白,Zeng等^[28]采用扩张床吸附技术以XAD7HP树脂为吸附填料结合膜分离技术(超滤)进行了试验,发现回收的产品以蛋白酶抑制剂为主,且胰蛋白酶抑制活力很高,实验已经达到中试规模。

3.2 马铃薯蛋白营养价值

由于跟其他食物相比,新鲜马铃薯块茎蛋白质含量低,因此通常不被当成重要的食物蛋白资源。但由于马铃薯蛋白质营养价值高,人均消费量大,对人体的蛋白营养需求还是做出了非常突出的贡献。蛋白质的日推荐摄入量(Recommended dietary allowance, RDA)为0.8 g/kg体重/天,成年人蛋白质的可接受宏量营养素分布范围(Acceptable macronutrient distribution range, AMDR)占能量总需求的10%~35%,人类最好的蛋白资源为动物产品,如鸡蛋、牛奶和各种肉类。由于人均马铃薯消费量大,马铃薯当中高品质的蛋白为国际标准关于儿童和成人氮元素的RDA提供了很高的比例:100 g煮熟的马铃薯能满足8%~13% FAO/WHO关于儿童氮元素的RDA和6%~7%成年人的氮元素RDA。在英国,估计马铃薯贡献了人们4.3%的蛋白质摄入量,其他食物鸡蛋、鱼和奶酪分别为4.6%、4.8%和5.8%。

马铃薯蛋白的营养价值高是因为其必需氨基酸

表1 马铃薯块茎蛋白的氨基酸组成
Table 1 Amino acid composition of potato tuber protein

氨基酸 Amino acid	含量(%) Content	氨基酸 Amino acid	含量(%) Content
丙氨酸 Alanine	4.62~5.32	赖氨酸 Lysine	6.70~10.10
精氨酸 Arginine	4.74~5.70	蛋氨酸 Methionine	1.20~2.15
天冬氨酸 Aspartic acid	11.90~13.90	苯丙氨酸 Phenylalanine	4.80~6.53
半胱氨酸 Cysteine	0.20~1.25	脯氨酸 Proline	4.70~4.83
谷氨酸 Glutamic acid	10.20~11.80	丝氨酸 Serine	4.90~5.92
甘氨酸 Glycine	4.30~6.05	苏氨酸 Threonine	4.60~6.50
组氨酸 Histidine	2.10~2.50	色氨酸 Tryptophan	0.30~1.85
异亮氨酸 Isoleucine	3.73~5.80	酪氨酸 Tyrosine	4.50~5.68
亮氨酸 Leucine	9.70~10.30	缬氨酸 Valine	4.88~7.40

含量高, 如赖氨酸、苏氨酸和色氨酸^[29](表1)。赖氨酸含量高使得马铃薯作为主食非常具有吸引力, 谷物蛋白如作为主食的大米和小麦缺乏赖氨酸, 因此用马铃薯作为主粮正好能弥补米饭、面条和馒头等的缺陷。然而, 马铃薯蛋白也并非十全十美, 其中之一是马铃薯可溶性蛋白的营养价值受到含硫氨基酸的限制, 马铃薯蛋白中蛋氨酸和半胱氨酸含量都很低。Patatin蛋白只含2.0%的蛋氨酸残基和少量的半胱氨酸残基, 远远低于动物生长需求, 世界卫生组织(World Health Organization, WHO)推荐的标准为含硫氨基酸需占蛋白质总量的3.5%。

马铃薯蛋白半胱氨酸含量低对其加工成面条、馒头的加工性能造成了严重的不利影响, 小麦的主要贮藏蛋白是面筋, 面筋是蛋白质的复杂混合物, 主要含有麦醇溶蛋白和麦谷蛋白。面筋蛋白的半胱氨酸含量高, 半胱氨酸含有巯基(-SH), 巯基在揉面过程中发生-SH/S-S反应生成

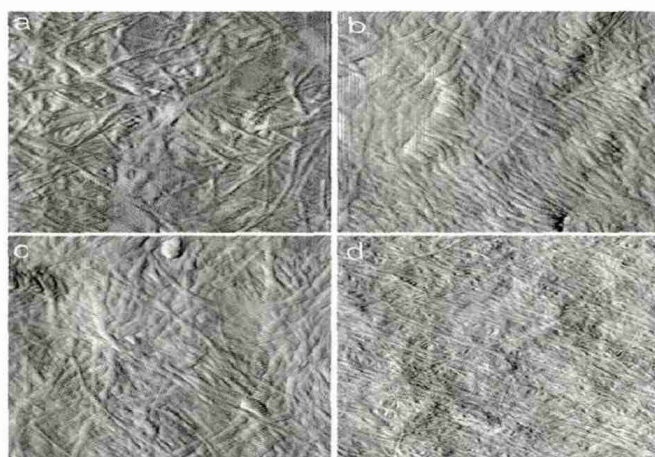
二硫键(S-S)从而形成网络结构。有研究结果表明, 马铃薯蛋白含硫氨基酸含量低的缺陷可以通过分子育种技术来解决^[30]。

4 膳食纤维

膳食纤维(Dietary fiber, DF)是指一般不易被消化的食物营养素, 主要来自于植物的细胞壁, 包含纤维素、木质素、半纤维素和果胶。过去人们认为食品原料的品质取决于蛋白质、脂肪和碳水化合物含量, 根本没有把不能被人类消化吸收的膳食纤维当回事, 甚至1970年以前的营养学中也没有膳食纤维这个词。

关于马铃薯当中的膳食纤维, 人们最先想到的是淀粉加工产生的薯渣^[31,32]。Kirby等^[33]通过原子力显微镜对分离到的潮湿马铃薯细胞壁进行分析, 发现纤维素微纤丝呈相互编织的网络结构(图5)。

薯渣的生物质主要为淀粉、果胶和纤维素,



(a)天然马铃薯细胞壁; (b)CDTA/Na₂CO₃萃取后; (c)1 mol/L KOH 萃取后; (d)4 mol/L KOH 萃取后。

(a) Native potato cell wall fragment; (b) Cell wall after extraction with CDTA/Na₂CO₃; (c) Cell wall after extraction with 1 mol/L KOH; and (d) Cell wall after extraction with 4 mol/L KOH.

图5 潮湿的分离出来的马铃薯细胞壁原子力显微照片

Figure 5 Atomic force microscopy (AFM) of moist, isolated potato cell walls

除淀粉以外其余两种物质主要来源于马铃薯块茎的细胞壁, 均属于细胞壁多糖。Harris^[34]在《Advances in Potato Chemistry and Technology》一书的第3章专门对马铃薯细胞壁多糖进行了阐述, 马铃薯细胞壁多糖的百分比组成为: 纤维素(Cellulose)30%, 果胶多糖(Pectic polysaccharides)56%, 木葡聚糖(Xyloglucans)11%, 异甘露聚糖(Heteromannans)

3%, 异木聚糖(Heteroxylans) < 3%。目前除了异甘露聚糖和异木聚糖, 马铃薯细胞壁中的其他多糖的分子结构都已经阐述清楚。

纤维素能够吸水, 可以防止形成溃疡和平衡血液中葡萄糖的含量; 木质素在肠道内作为阳离子交换体, 能够与胆酸结合, 可以降低血清中胆固醇的含量, 防止大肠癌的发生; 半纤维素能够与有害的

重金属阳离子结合, 还能防止体重过度增加。果胶能降低胆固醇含量, 防止胆道结石。当食物中缺乏膳食纤维时, 通常容易出现冠心病、消化道溃疡和肥胖。谷物、马铃薯、蔬菜、苹果和梨当中膳食纤维含量都比较高。

5 马铃薯中的其他营养素

马铃薯是多种维生素和矿物质非常好的来源, 如维生素C、叶酸、维生素B₆、钾等。马铃薯块茎中还含有一些小分子复合物, 其中很多为植物营养素。这些包括多酚, 黄酮, 花青素, 类胡萝卜素, 生物碱等。

5.1 维生素

5.1.1 维生素C

马铃薯是人体维生素的重要来源这已众所周知。维生素C在植物的活性氧解毒中起主要作用, 马铃薯是人类饮食中维生素C最主要的来源。据报道, 马铃薯叶子和叶绿体中含有5~25 mmol的L-抗坏血酸。维生素C缺乏症最有名的是坏血病, 在严重的情况下会出现牙齿脱落, 肝斑, 出血等典型特征。

许多研究表明, 维生素C水平在马铃薯冷藏期间会迅速降低, 损失可接近60%^[35]。有学者提出除了通过育种来增加马铃薯块茎维生素C的含量, 应将更多的精力集中于马铃薯的后期贮藏。这对于把大部分马铃薯收获后置于冷库的国家而言, 将非常有意义。

5.1.2 叶酸

叶酸(维生素B₉)是参与一碳单位转移反应的重要辅助因子。在哺乳动物和植物细胞中, 涉及一碳单位转移反应发生的两个关键性途径是DNA合成和“甲基化循环”^[36]。叶酸是在人类饮食中必需的微量营养素。植物和微生物能合成叶酸, 而人类缺乏这种能力, 需要膳食营养供给。植物中的叶酸是饮食中的主要来源。Hatzis等^[37]在希腊人口中检测血清叶酸状况与食品消耗之间的关系, 研究表明增加马铃薯的消耗量与降低血清叶酸风险相关。

5.1.3 维生素B₆

维生素B₆是许多酶的辅助因子, 也是叶酸代谢的辅助因子, 特别是在蛋白质代谢中发挥了重要作用。维生素B₆还具有抗癌活性^[38], 也是很强的抗氧化剂^[39], 参与免疫系统和神经系统中血红蛋白的

合成, 脂质和糖代谢。维生素B₆缺乏可能导致的后果包括贫血, 免疫功能受损, 抑郁和皮炎等^[40]。

马铃薯是维生素B₆的重要来源^[41]。最近的许多研究已经报道了植物中维生素B₆的合成途径, 包括关键基因PDX1和PDX2的确认^[42]。这些信息有助于采用新的方法来进一步提高马铃薯中维生素B₆的含量。

5.2 类胡萝卜素

类胡萝卜素是在质体中经由类异戊二烯合成的^[43], 他有一个重要作用是应对光电和氧化应激。类胡萝卜素具有多种促进健康的特性, 包括具有维生素A的活性, 可降低多种疾病的风险^[44]。紫黄质和叶黄素是马铃薯块茎中含量最丰富的类胡萝卜素。马铃薯对于眼部的健康特别重要, 还可降低与年龄相关的黄斑变性风险^[45,46]。橙色肉质的马铃薯是由于含有玉米黄质, 叶黄素的浓度与马铃薯肉质黄色的强度密切相关, 白色肉质的马铃薯通常含有比黄色或橙色品种马铃薯少的类胡萝卜素。

5.3 黄酮醇类, 花青素, 地骨皮胺, 绿原酸

马铃薯中含有黄酮醇类如芦丁(图6), 但马铃薯还没有被认为是膳食中黄酮醇的重要来源, 目前对于黄酮醇类在不同品种马铃薯中的含量报道很少。新鲜马铃薯块茎中黄酮醇的含量高达14 mg/100g, 表明完全可以作为一个很有价值的黄酮醇类的膳食来源。槲皮素和相关黄酮醇具有多重健康促进作用, 包括降低心脏疾病的风险, 降低某些呼吸系统疾病的风险, 如哮喘, 支气管炎和肺气肿, 以及降低某些癌症的风险, 包括前列腺癌和肺癌。

马铃薯, 尤其是有色薯肉品种, 含有大量花青素, 花青素可以作为抗氧化剂并有其他保健作用, 如抗癌。A基因编码二氢黄酮醇4-还原酶,

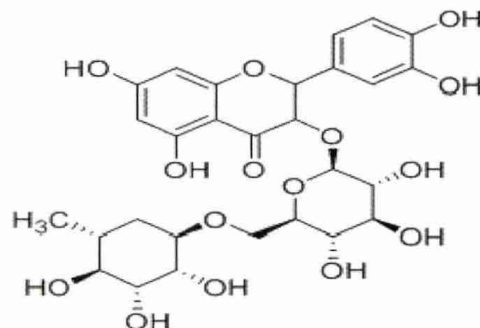


图6 芦丁的结构

Figure 6 Structure of rutin

病、四肢极度发麻疼痛、行走困难等。马铃薯块茎中磷的含量按干基计算为 $1.3\sim 6\text{ mg/g}$ ^[60,61], 人体磷的每日需求量为 $800\sim 1\,000\text{ mg}$ 。

5.4.3 铁

铁缺乏严重影响着人类, 被世界卫生组织称为世界上最普遍的健康问题。由于严重缺铁, 每年有6万多妇女死于怀孕和分娩, 且将近有5亿的育龄妇女身患贫血症。膳食铁的要求取决于许多因素, 例如年龄、性别以及饮食搭配。马铃薯是铁元素的理想来源。据报道一些安第斯山脉的马铃薯中铁的含量比一些谷物类要高^[62]。马铃薯中的铁元素是完全具有生物利用度的, 因为他具有非常低水平的植酸, 这一点与谷物类不同。

5.4.4 钙

马铃薯是钙的主要来源已有广泛的报道。两项研究结果报道马铃薯中钙的含量高达 $130\text{ mg}/100\text{g}$ (干基)和 455 mg/kg (湿基)^[60,61]。钙对骨骼和牙齿的结构, 血液凝固和神经传递十分重要。钙缺乏与骨骼畸形和血压异常息息相关。

6 结束语

马铃薯是继谷物大米、小麦和玉米之后, 世界上的第四大种植作物, 并且是唯一以块茎为食物的主要粮食作物。一些食品科学家认为马铃薯和全脂牛奶即可满足人体所有营养需求, 一些农业科学家认为由于全球人口数量快速增长, 如果未来发生食物危机, 唯一能拯救人类的就是马铃薯。

马铃薯块茎干物质主要由淀粉组成, 生的马铃薯原淀粉为抗性淀粉, 但经过烹饪糊化后几乎能够完全被消化吸收, 因此马铃薯被列为高血糖指数食品。马铃薯淀粉的血糖指数与烹饪方式关系非常大, 烹饪后冷却的马铃薯血糖指数降低, 因为返生的淀粉为抗性淀粉, 可以当成膳食纤维。马铃薯蛋白必需氨基酸含量高, 营养价值好, 而且富含赖氨酸可以弥补大米、小麦主食的不足, 但马铃薯蛋白含硫氨基酸含量低, 而且半胱氨酸含量低给将马铃薯开发成面条、馒头等适合中国人主食的加工性能造成了不利影响, 但这一缺陷可以通过分子育种来进行解决。

马铃薯也是膳食纤维、维生素、矿物质和植物营养素的重要来源, 马铃薯富含胡萝卜素、叶酸、维生素B₆、绿原酸、花青素等, 大米、小麦

中缺乏这些营养元素, 传统主食模式需要通过水果蔬菜来补充, 原本被当成蔬菜的马铃薯主食化以后可以直接提供; 马铃薯钾元素含量高, 摄取马铃薯当中的钾元素部分替代饮食摄取食盐中的钠元素, 对人体健康具有十分重要的营养学意义。

[参 考 文 献]

- [1] 曾凡逵, 周添红. 马铃薯能生食吗? [J]. 中国马铃薯, 2013, 27(6): 374-378.
- [2] 曾凡逵, 赵鑫, 周添红, 等. 双波长比色法测定马铃薯直链/支链淀粉含量[J]. 现代食品科技, 2012, 28(1): 119-122.
- [3] 曾凡逵, 赵鑫, 周添红, 等. 马铃薯直链/支链淀粉的分离[J]. 现代食品科技, 2011, 27(12): 1466-1468, 1489.
- [4] Zeng F K, Liu H, Liu G. Physicochemical properties of starch extracted from *Colocasia esculenta* (L) Schott (Bun-long taro) grown in Hunan, China [J]. Starch/Stärke, 2014, 66(1-2): 142-148.
- [5] Liu Q, Donner E, Tarn R, et al. Advanced analytical techniques to evaluate the quality of potato and potato starch [M]//Singh J, Kaur L. Advances in potato chemistry and technology. Oxford: Elsevier Inc, 2009: 220-248.
- [6] Seidell J C. Obesity, insulin resistance and diabetes – a worldwide epidemic [J]. British Journal of Nutrition, 2000, 83(Suppl 1): S5-S8.
- [7] Brand M J, Foster-Powell K, Colagiuri S. The GI factor [M]. Australia: Australia Pty Limited, Hodder and Stoughton, 1996.
- [8] Jane J, Chen Y Y, Lee L F, et al. Effects of amylopectin branch chain length and amylase content on the gelatinization and pasting properties of starch [J]. Cereal Chemistry, 1999, 76(5): 629-637.
- [9] Hamaker B R, Zhang G, Ao Z. Starch digestion properties through structure and form, 58th Australian Cereal Chemistry Conference, 31 August-4 September [C]. Surfers Paradise, Australia. 2008.
- [10] Raben A, Tagliabue A, Christensen N J, et al. Resistant starch: the effect on postprandial glycemia, hormonal response, and satiety [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1994, 60(4): 544-551.
- [11] Bergthaller W. Developments in potato starches [M]//Eliasson A C. Starch in food. Cambridge: CRC Press, Woodhead Publishing Ltd, 2004.
- [12] Henry C J, Lightowler H J, Kendall F L, et al. The impact of the addition of toppings/fillings on the glycaemic response to commonly consumed carbohydrate foods [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2006, 60(6): 763-769.
- [13] Leeman A M, Barstrom L M, Bjorck I M E. *In vitro* availability of

- starch in heat treated potatoes as related to genotype, weight and storage time [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2005, 85(5): 751–756.
- [14] Lehesranta S J, Davies H V, Shepherd L V, *et al.* Proteomic analysis of the potato tuber life cycle [J]. *Proteomics*, 2006, 6(22): 6042–6052.
- [15] Lehesranta S J, Koistinen K M, Massat N, *et al.* Effects of agricultural production systems and their components on protein profiles of potato tubers [J]. *Proteomics*, 2007, 7(4): 597–604.
- [16] Pots A M, Gruppen H, van Diepenbeek R, *et al.* The effect of storage of whole potatoes of three cultivars on the patatin and protease inhibitor content; a study using capillary electrophoresis and MALDI-TOF mass spectrometry [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1999, 79(12): 1557–1564.
- [17] Lehesranta S J, Davies H V, Shepherd L V T, *et al.* Comparison of tuber proteomes of potato varieties, landraces, and genetically modified lines [J]. *Plant Physiology*, 2005, 138(3): 1690–1699.
- [18] Bauw G, Nielsen H V, Emmersen J, *et al.* Patatins, Kunitz protease inhibitors and other major proteins in tuber of potato cv. Kuras [J]. *Febs Journal*, 2006, 273(15): 3569–3584.
- [19] Pouvreau L, Gruppen H, Piersma S R, *et al.* Relative abundance and inhibitory distribution of protease inhibitors in potato juice from cv. Elkana [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(6): 2864–2874.
- [20] Kennedy A R. Chemopreventive agents: Protease inhibitors [J]. *Pharmacology and Therapeutics*, 1998, 78(3): 167–209.
- [21] Hu J, Edmondson B, Radosevich J. Potato proteinase inhibitor II exhibits activity in elevating fasting plasma cholecystokinin concentrations: United States, 20060204567 [P]. 2006–02–04.
- [22] Huang C, Ma W Y, Ryan C A, *et al.* Proteinase inhibitor I and II from potatoes specifically block UV-induced activator protein-1 activation through a pathway that is independent of extracellular signal-regulated kinases, c-Jun N-terminal kinases, and P38 kinase [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1997, 94(22): 11957–11962.
- [23] Ruseler-van Embden J G, van Lieshout L M, Smits S A, *et al.* Potato tuber proteins efficiently inhibit human faecal proteolytic activity: implications for treatment of perianal dermatitis [J]. *European Journal of Clinical Investigation*, 2004, 34(4): 303–311.
- [24] Wang X, Smith P L, Hsu M-Y, *et al.* Murine model of ferric chloride-induced vena cava thrombosis: evidence for effect of potato carboxypeptidase inhibitor [J]. *Journal of Thrombosis and Haemostasis*, 2006, 4(2): 403–410.
- [25] Blanco-Aparicio C, Molina M A, Fernández-Salas E, *et al.* Potato carboxypeptidase inhibitor, a T-knot protein, is an epidermal growth factor antagonist that inhibits tumor cell growth [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1998, 273(20): 12370–12377.
- [26] Kim M H, Park S C, Kim J Y, *et al.* Purification and characterization of a heat-stable serine protease inhibitor from the tubers of new potato variety “Golden Valley” [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2006, 346(3): 681–686.
- [27] 李广存, 金黎平, 谢开云, 等. 马铃薯 Kunitz 型蛋白酶抑制剂基因片段的分离及表达分析 [J]. *园艺学报*, 2007, 34(2): 403–406.
- [28] Zeng F K, Liu H, Ma P J, *et al.* Recovery of native protein from potato root water by expanded bed adsorption with amberlite xad7hp [J]. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2013, 18(5): 981–988.
- [29] Storey M. The harvested crop [M]//Vreugdenhil D. *Potato biology and biotechnology – advances and perspectives*. Amsterdam: Elsevier, 2007: 441–470.
- [30] Goo Y M, Kim T W, Lee M K, *et al.* Accumulation of PrLeg, a perilla legumin protein in potato tuber results in enhanced level of sulphur-containing amino acids [J]. *Comptes Rendus Biologies*, 2013, 336(9): 433–439.
- [31] 曾凡逵, 周添红, 刘刚. 马铃薯淀粉加工副产物—薯渣的综合利用 [J]. *农业工程技术: 农产品加工业*, 2014(12): 27–31.
- [32] 曾凡逵, 周添红, 刘刚. 马铃薯淀粉加工副产物资源化利用研究进展 [J]. *农业工程技术: 农产品加工业*, 2013(11): 33–37.
- [33] Kirby A R, Ng A, Waldron K W, *et al.* AFM investigations of cellulose fibers in Bintje potato (*Solanum tuberosum* L) cell wall fragments [J]. *Food Biophysics*, 2006, 1(3): 163–167.
- [34] Harris P J. Cell-wall polysaccharides of potatoes [M]//Singh J, Kaur L. *Advances in potato chemistry and technology*. Amsterdam: Elsevier, 2009: 63–81.
- [35] Keijbets M J H, Ebbendorp-Seller G. Loss of vitamin C (L-ascorbic acid) during long-term cold storage of Dutch table potatoes [J]. *Potato Research*, 1990, 33(1): 125–130.
- [36] Scott J M. Folate and vitamin B₁₂ [J]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 1999, 58(2): 441–448.
- [37] Hatzis C M, Bertias G K, Linardakis M, *et al.* Dietary and other lifestyle correlates of serum folate concentrations in a healthy adult population in Crete, Greece: a cross-sectional study [J]. *Nutrition Journal*, 2006, 5(1): 5.
- [38] Theodoratou E, Farrington S M, Tenesa A, *et al.* Dietary vitamin

- B₆ intake and the risk of colorectal cancer [J]. *Cancer Epidemiology Biomarkers Prevention*, 2008, 17(1): 171–182.
- [39] Denslow S A, Walls A A, Daub M E. Regulation of biosynthetic genes and antioxidant properties of vitamin B₆ vitamers during plant defense responses [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2005, 66(6): 244–255.
- [40] Spinneker A, Sola R, Lemmen V, *et al.* Vitamin B₆ status, deficiency and its consequences – an overview [J]. *Nutricion Hospitalaria*, 2007, 22(1): 7–24.
- [41] Kant A K, Block G. Dietary vitamin B₆ intake and food sources in the US population: NHANES II (1976–1980) [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1990, 52(4): 707–716.
- [42] Tambasco-Studart M, Titiz O, Raschle T, *et al.* Vitamin B₆ biosynthesis in higher plants [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, 102(38): 13687–13692.
- [43] Dellapenna D, Pogson B J. Vitamin synthesis in plants: tocopherols and carotenoids [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2006, 57: 711–738.
- [44] Fraser P D, Bramley P M. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids [J]. *Progress in Lipid Research*, 2004, 43(3): 228–265.
- [45] Chucair A J, Rotstein N P, Sangiovanni J P, *et al.* Lutein and zeaxanthin protect photoreceptors from apoptosis induced by oxidative stress: relation with docosahexaenoic acid [J]. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 2007, 48(11): 5168–5177.
- [46] Tan J S, Wang J J, Flood V, *et al.* Dietary antioxidants and the long-term incidence of age-related macular degeneration: the Blue Mountains Eye Study [J]. *Ophthalmology*, 2008, 115(2): 334–341.
- [47] Lewis C E, Walker J R L, Lancaster J E, *et al.* Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. I: Coloured cultivars of *Solanum tuberosum* L [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1998, 77(1): 45–57.
- [48] Jansen G, Flamme W. Coloured potatoes (*Solanum tuberosum* L) – Anthocyanin content and tuber quality [J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2006, 53(7): 1321–1331.
- [49] Parr A J, Mellon F A, Colquhoun I J, *et al.* Dihydrocaffeoyl polyamines (kukoamine and allies) in potato (*Solanum tuberosum*) tubers detected during metabolite profiling [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(13): 5461–5466.
- [50] Tanemura Y, Yoshino M. Regulatory role of polyamine in the acid phosphatase from potato tubers [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2006, 44(1): 43–48.
- [51] Stenzel O, Teuber M, Dräger B. Putrescine N-methyltransferase in *Solanum tuberosum* L, a calystegine-forming plant [J]. *Planta*, 2006, 223(2): 200–212.
- [52] Matsuda F, Morino K, Ano R, *et al.* Metabolic flux analysis of the phenylpropanoid pathway in elicitor-treated potato tuber tissue [J]. *Plant and Cell Physiology*, 2005, 46(3): 454–466.
- [53] Kaur-Sawhney R, Shih L M, Galston A W. Relation of polyamine biosynthesis to the initiation of sprouting in potato tubers [J]. *Plant Physiology*, 1982, 69(2): 411–415.
- [54] Malmberg A G, Theander O. Determination of chlorogenic acid in potato tubers [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1985, 33(3): 549–551.
- [55] Bassoli B K, Cassolla P, Borba-Murad G R, *et al.* Chlorogenic acid reduces the plasma glucose peak in the oral glucose tolerance test: effects on hepatic glucose release and glycaemia [J]. *Cell Biochemistry and Function*, 2007, 26(3): 320–328.
- [56] Cantos E, Tudela J A, Gil M I, *et al.* Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(10): 3015–3023.
- [57] True R H, Hogan J M, Augustin J, *et al.* Mineral composition of freshly harvested potatoes [J]. *American Potato Journal*, 1979, 56(7): 339–350.
- [58] Larsson S C, Virtanen M J, Mars M, *et al.* Magnesium, calcium, potassium, and sodium intakes and risk of stroke in male smokers [J]. *Archives of Internal Medicine*, 2008, 168(5): 459–465.
- [59] Swain J F, McCarron P B, Hamilton E F, *et al.* Characteristics of the diet patterns tested in the optimal macronutrient intake trial to prevent heart disease (OmniHeart): options for a heart-healthy diet [J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 2008, 108(2): 257–265.
- [60] Lisinka G, Leszczynski W. *Potato science and technology* [M]. Amsterdam: Elsevier, 1989: 41–42.
- [61] Randhawa K S, Sandhu K S, Kaur G, *et al.* Studies of the evaluation of different genotypes of potato (*Solanum tuberosum* L) for yield and mineral contents [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1984, 34(4): 239–242.
- [62] Scurrah M, Amorós W, Burgos G, *et al.* Back to the future: Millennium traits in native varieties [C]. In: VI International Solanaceae Conference: Genomics Meet Biodiversity, 2007.