

# 一种有趣的马铃薯脱水产品——巧妞

王昭珺<sup>1,2</sup>, 曾凡逵<sup>1\*</sup>, 刘晓风<sup>2</sup>, 刘刚<sup>1</sup>

1. 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(兰州 730000);

2. 兰州理工大学生命科学与工程学院(兰州 730050)

**摘要** 巧妞是一种脱水马铃薯加工产品,由玻利维亚、秘鲁的盖丘亚族人和艾马拉族人发明,这种加工产品方法在南美洲的阿根廷、玻利维亚、智利和秘鲁依然被广泛采用。由于其具有低能耗、环保的特点,可利用巧妞的特性应用于中国马铃薯加工。对巧妞的历史、加工工艺、种类、营养成分及食用方式等进行综述。其工艺为:利用安第斯高原夜晚的低温将马铃薯冷冻,白天进行解冻脱水,这样反复循环数次,直到含水量降低到可以贮藏。此外,巧妞的食用方式很多,可与草药一起烹饪食用,还可进一步加工成马铃薯生全粉,与面粉混合扩展其应用领域。虽然巧妞是一种古老马铃薯脱水加工产品,但其历史悠久,工艺独特,且营养成分损失少,这种制作方式在很多地区广泛使用。

**关键词** 马铃薯;脱水马铃薯;巧妞

## Introduction of an Interesting Dehydrated Potato Products——Chuño

WANG Zhaojun<sup>1,2</sup>, ZENG Fankui<sup>1\*</sup>, LIU Xiaofeng<sup>2</sup>, LIU Gang<sup>1</sup>

1. Research and Development Center for Eco-materials and Eco-chemistry, Lanzhou Institute of

Chemical Physics of the Chinese Academy of Sciences (Lanzhou 730000);

2. College of Life Science and Engineering, Lanzhou University of Technology (Lanzhou 730050)

**Abstract** Chuño is a freeze-dried potato production traditionally made by Quechua and Aymara communities of Bolivia and Peru. This ancient process is still widely used in South America, including Argentina, Bolivia, Chile and Peru. With characteristics of low energy cost and environmentally friendly, the characteristics of Chuño in potato processing can be used in China. The history, processing method, species, nutrition composition and eating methods of Chuño are summarized. Chuño is obtained by exposing potatoes to the very low night temperatures of the Andean Altiplano, freezing them, and subsequently exposing them to the intense sunlight of the day, repeating several times until the water content is low enough for storage. There are many different eating ways of Chuño. It can be cooked and eaten with herbs, it also can be further processed into raw dehydrated potato flour and mixed with wheat flour to expand the application fields. Although Chuño is a very ancient way to process dehydrated potato production. It has a long history, unique craftsmanship, less loss of nutrients and a variety of ways of eating, so this method of production is still widely used in many areas.

**Keywords** potato; dehydrated potato; Chuño

马铃薯的工业化加工产品主要包括薯条、薯片、脱水马铃薯(全粉)和淀粉四大类,脱水马铃薯可能是世界上第一种马铃薯加工产品<sup>[1]</sup>。马铃薯加工的历史非常悠久,起源于秘鲁的山区,当地人利用夜晚的低温将马铃薯冷冻,白天再进行解冻,解冻过程中就会有水分从马铃薯中流出来,这样反复循环数次,直到含水量降低到可以贮藏。这种加工方式得到的马铃薯加工产品叫巧妞,部分中文音译成丘纽,西班牙语为Chuño,也有文献称之为Tunta。巧妞是一种简单而行之有效的解决马铃薯贮藏方式的产品,在南美洲的国家如秘鲁依然存在这种古老马铃薯脱水产品。近2000年后的现今,这一过程应用于现代工业化脱水马铃薯的加工生产<sup>[2]</sup>。

巧妞是一种冻干脱水的马铃薯产品,传统意义上是由盖丘亚族、玻利维亚和秘鲁的艾玛拉人制作,在

南美洲的许多国家都有这种产品,如阿根廷、玻利维亚、智利和秘鲁<sup>[3]</sup>。巧妞是利用6—7月露天相对湿度低,以及夜间冷冻和白天暴晒的交替条件制作形成的<sup>[4]</sup>。安第斯山人使用现有的加工技术——传统的冷冻干燥法,可长期保存马铃薯,并在物资稀缺期间提供食品<sup>[5]</sup>。

### 1 起源

据考古学和遗传学证据表明,马铃薯驯化培养距今有约8000年历史,的的喀喀湖位于现在的秘鲁和玻利维亚<sup>[6-7]</sup>。在前哥伦比亚时代种植马铃薯的的的喀喀湖盆地凸起的田地(图1)仍然存在,并被提议为世界遗产<sup>[8]</sup>。的的喀喀湖是人类最早种植马铃薯的地方<sup>[9]</sup>,当地人不仅驯化野生马铃薯,而且利用昼夜温差大的特点发明保存马铃薯的特殊方法。安第斯地

\* 通信作者;基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0401302-02,2018YFF0213505),国家现代农业产业技术体系(CARS-10),甘肃省马铃薯产业技术体系(GARS-03-P6)

区被认为是最重要的马铃薯作物起源和多样性中心世界<sup>[10-11]</sup>。巧妞这一特殊方法制成的产品沿用至今，是当地的特色美食之一<sup>[12]</sup>。



图1 普诺附近的的喀喀湖岸上凸起的田野

一些文献中记载，巧妞可以追溯到2 000年前，通过交替冷冻和解冻方法由南美洲西部国家的高原地区土著居民发起<sup>[13]</sup>。有关考古学家发现考古证据，以脱水土豆形式存在的观赏性陶罐，和几个世纪以后完好保藏复原的干燥马铃薯，这些证据表明巧妞的来源或许可以追溯到秘鲁北部沿海地区，因为约在公元200年前地区出土过巧妞，而且在常年干旱的沿海地区前哥伦比亚墓穴中也有所发现<sup>[14-18]</sup>。

巧妞的存在可追溯到13世纪的印加帝国的时代之前，是基于在各种考古遗址中被发现。具体的说，是在蒂瓦纳科遗址中被发现，分布于玻利维亚和秘鲁一带的高原地区古代文明发展起来的一种加工制品<sup>[19-20]</sup>。

巧妞在秘鲁、玻利维亚高原地区仍普遍存在，巧妞本身也是由玻利维亚和秘鲁的盖丘亚族人<sup>[21]</sup>（图2）和艾马拉族人所发明，盖丘亚族人和艾马拉族人都属于南美安第斯山脉地区印第安人的分支。巧妞通常是生活在靠近农业过渡区到牲畜放牧区的高原农民可用的少数食物之一，海拔在4 000~4 300 m。



图2 盖丘亚族人

## 2 制作工艺

冷冻干燥技术源自二十几世纪的法国，第二次世

界大战时用于贮存和运输血清，后来被广泛应用于食品。但是秘鲁和玻利维亚的居民早在几千年以前，就懂得利用自然环境去实践这门科技的原理。

巧妞的制作工艺通常很简单，主要包括选料、踩踏、冻结和干燥<sup>[22]</sup>。在收获季节（4—5月），马铃薯选为巧妞的过程主要是依据块茎的大小（优先选择小块茎），而不是栽培品种（尽管大多数品种都使用了，但Khoyo, Luki是优选的）和苦味（马铃薯苦味是可接受的）。马铃薯在寒冷、黑暗的条件贮存，直到6月底或7月初（冬季）开始加工。如秘鲁高原6—7月时较为寒冷，昼夜温差大，因此巧妞的生产时间是有限的。根据印加历法，6月24日是庆祝太阳北回归线的一天。6月24日的夜晚是一年中冰冻最严重的时候，在曼塔拉地区的农民仍然在这一天准备巧妞的生产<sup>[23]</sup>。

巧妞的制作工艺是温度-5℃左右时，即预计会出现冷冻时，农民将马铃薯均匀分散在平坦的地面上，暴露在充足阳光下，在夜间就会被冷冻。马铃薯的大小和品种会影响冷冻品质。在冷冻后的早晨，仔细检查马铃薯是否彻底冷冻，如果没有，当地农民会用稻草平铺覆盖在地面的马铃薯上，确保留出更多时间冷冻。太阳辐射和干燥的空气（相对湿度30%~40%）会使水分蒸发。在最初几天里，每天需要通过踩踏的方法去除马铃薯中的水分。图3<sup>[24]</sup>是安第斯山脉人赤脚踩踏马铃薯，为生产巧妞做准备。在此过程中同时去除薯皮。整个生产过程通常需要3周时间，马铃薯会完全干燥。一旦获得巧妞，剩下的皮（周皮）可用手去除，该产品可在干燥条件下长时间贮存。图4是安第斯山脉农民手剥巧妞的表皮。当地生产商Altiplano声称，巧妞可贮存长达20年之久，形态基本上没有变化，但经长时间贮存之后，巧妞会有苦味<sup>[24-25]</sup>。



图3 阿尔蒂普拉诺高原安第斯山脉的农民们在巧妞的准备工作中赤脚踩踏马铃薯





图4 安第斯山脉农民手剥巧妞表皮



图5 白巧妞和黑巧妞

### 3 种类

#### 3.1 白巧妞

白巧妞(图5)也被称为moraya或tunta,其工艺过程主要包括选料、踩踏、冷冻、清洗和干燥<sup>[26]</sup>。白巧妞的加工通常是将新收获的马铃薯平铺在平坦的地面进行冷冻,用脚踏踏,在河流或池塘中浸泡洗涤,其中浸泡洗涤的目的是通过洗涤分离出糖苷生物碱,减少块茎的苦味。

在一些农民家中想要生产巧妞,一条溪流可能被分成若干由泥坝堆砌的浅水池,这些泥坝专门为巧妞而建造。大坝允许水流不断溢出到下游的水池。浸泡时,马铃薯上面需要覆盖稻草,稻草上要压上大石头,以防阳光暴晒使其变成黑色,同时阻止流浪动物在此觅食。浸泡1~3周后,将马铃薯从河流或池塘中取出,将其放置在田地中并在阳光下晒5~10 d,晒干为止<sup>[4, 22, 27-29]</sup>。马铃薯分散展开以便在夜间均匀冷冻。冷冻导致细胞壁破裂,使块茎软化,从而使得的喀喀湖地区农民加工可行。众所周知,白巧妞的制作工艺有几个不同的区域性差异。这些区域差异主要涉及不同的顺序、频数、时间长度和处理过程。此外,加工的条件往往是变化的,高度依赖于农民对洁净水使用及产品质量控制的关注。

#### 3.2 黑巧妞

黑巧妞(图5)的处理较白巧妞简单,主要包括平铺、踩踏、冷冻和干燥。黑巧妞产品比白巧妞的地区差异小,而且比商业化的白巧妞更有可能被农民保存和消费<sup>[30]</sup>。黑巧妞仅限于家庭消费。黑巧妞的生产类似白巧妞,只是在踩踏过程中没有去除块茎皮,也没有挤压水分,更没有在踩踏后浸泡。踩踏后再经强烈的阳光照射,蒸发掉多余的水分。如此这般连续4~5 d,巨大的温差和极度的干燥会把一个饱满的马铃薯变成黑漆漆皱巴巴的巧妞。在烹饪前,黑巧妞要在水里浸泡1~2 d,去除烹饪食物中不受欢迎的块茎苦涩味。一般整块或粉状的黑巧妞,主要用于汤和炖菜<sup>[4]</sup>。

### 4 营养成分

马铃薯含有丰富的淀粉、蛋白质、维生素及无机盐等<sup>[31]</sup>。无机盐如钙、磷、铁、钾、钠、锌、锰等,是促进人体生长发育、维持器官正常功能不可缺少的元素。马铃薯也是抗衰老的食物之一。其含有丰富维生素B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>6</sub>和泛酸等维生素及大量的优质纤维素,还含有微量元素、氨基酸等营养元素<sup>[32]</sup>。

巧妞是马铃薯冻干脱水产品,工艺最大的特点是水分流失,马铃薯和巧妞有一定联系,只是化学成分稍有不同。如秘鲁食品成分表中每100 g巧妞中蛋白质含量1.9~4.0 g,铁含量3 mg,钙含量92 mg<sup>[33]</sup>。据报道,黑巧妞中的蛋白质含量高于白巧妞,并且在黑巧妞制作工艺中会损失18%~41%的蛋白质<sup>[4]</sup>。关于巧妞的文献只有很少的数据是介绍其营养成分,而且在文献中也没有详细的描述。例如,研究表明巧妞烹饪后具有比新鲜马铃薯更高的钙含量,而锌和蛋白质等其他含量均下降<sup>[34]</sup>。

黑巧妞、白巧妞和马铃薯的化学成分见表1。马铃薯在脱水过程中,水溶性(矿物质(灰)、蛋白质、抗坏酸等)可能部分损失。氧化过程可能导致抗坏血酸、脂质和其他成分的氧化。冷冻和解冻的过程破坏细胞中的液泡并释放出酚类氧化酶,这可能导致酚类抗氧化的流失<sup>[36]</sup>。同时,在分解木质素时释放出一些酚类物质。大部分的矿物质都是在生产巧妞的过程中随水流失的,灰分减少也是显而易见的。然而,Burgos等<sup>[34]</sup>研究发现黑巧妞在生产的过程中钙含量增加(1~2倍),铁部分损失,90%锌丢失。特别是生产白巧妞时发现黑巧妞的钙含量是马铃薯的2倍。在黑巧妞和白巧妞生产的过程中糖苷生物碱含量减少近50%,从而降低毒性<sup>[38]</sup>。

在生产黑巧妞产品期间测量总抗氧化能力、酚类和类黄酮含量<sup>[24]</sup>。通过2种方法测量的总抗氧化能力(TAC)FRAP(铁还原抗氧化剂)和ABTS[2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐]。TAC表明,通过FRAP方法,与其相应的马铃薯相比黑巧妞减少70%,ABTS几乎不变。在此过程中,鉴定和测

定5种酚类化合物,绿原酸是马铃薯中主要酚类化合物之一,原儿茶酸的含量工艺前后是相同的结果,没

食子酸和原儿茶素的含量前后变化不大,丁香醛有所降低。

表1 黑巧妞、白巧妞和马铃薯的化学成分比较

组分	白巧妞	黑巧妞	马铃薯
水/%,鲜重	13~18.1 <sup>[24,35]</sup>	14~20 <sup>[24,35-36]</sup>	68~84% <sup>[4,36]</sup>
能量/(kcal·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	400 <sup>[4,36]</sup>	375~400 <sup>[4,24,36]</sup>	351~400 <sup>[4,36]</sup>
蛋白质/%,干物质	1.3~3.2 <sup>[4,36]</sup>	0.6~4.5 <sup>[4,34,36-37]</sup>	7~14 <sup>[4,36]</sup>
碳水化合物/%,干物质	94~96 <sup>[4,36]</sup>	92~95 <sup>[4,36-37]</sup>	79~87 <sup>[4,36]</sup>
纤维素/%,干物质	2.4 <sup>[4,36]</sup>	2.5 <sup>[37]</sup>	3.5 <sup>[4]</sup>
脂肪/%,干物质	0.2 <sup>[36]</sup>	0.2~1.5 <sup>[4,36-37]</sup>	0.4~1.5 <sup>[36-37]</sup>
铁/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	5 <sup>[36]</sup>	0.4~7 <sup>[34-36]</sup>	1~8.5 <sup>[4,36]</sup>
钙/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	83~120 <sup>[4,36]</sup>	19~110 <sup>[4,34,36]</sup>	13~38 <sup>[34,36]</sup>
锌/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0	0.05~0.14 <sup>[34]</sup>	1.2~2.3 <sup>[34]</sup>
磷/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	120 <sup>[36]</sup>	60~240 <sup>[36]</sup>	170~190 <sup>[36]</sup>
灰分/%,干物质	0.5 <sup>[36]</sup>	2~3 <sup>[36]</sup>	2~5.8 <sup>[36]</sup>
抗氧化剂/(μmol TE·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0	150~180 <sup>[24]</sup>	100~470 <sup>[24]</sup>
糖苷生物碱/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	4 <sup>[4]</sup>	16 <sup>[4]</sup>	20~30 <sup>[4]</sup>
维生素C/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0	1~2 <sup>[4,36-37]</sup>	30~100 <sup>[35-36]</sup>
维生素B <sub>1</sub> /(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0.02 <sup>[36]</sup>	0.06~0.15 <sup>[36]</sup>	0.2~0.6 <sup>[36]</sup>
维生素B <sub>2</sub> /(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0.02 <sup>[36]</sup>	0.02~0.06 <sup>[36]</sup>	0.2~0.7 <sup>[36]</sup>
维生素B <sub>3</sub> /(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	1 <sup>[36]</sup>	0.5~4 <sup>[36]</sup>	4~9 <sup>[36]</sup>
绿原酸/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0	90 <sup>[24]</sup>	100 <sup>[24]</sup>
丁香醛/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0	<0.1 <sup>[24]</sup>	1 <sup>[24]</sup>
原儿茶酸/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0	1 <sup>[24]</sup>	2 <sup>[24]</sup>
没食子酸/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0	60 <sup>[24]</sup>	1 <sup>[24]</sup>
原儿茶素/(mg·100 g <sup>-1</sup> 干物质)	0	460 <sup>[24]</sup>	200 <sup>[24]</sup>

## 5 食用方式

巧妞的食用方式多种多样,从甜点到准备好的菜肴及巧妞面粉,是许多秘鲁菜肴的重要原料<sup>[39]</sup>。Chairo是最传统的玻利维亚汤之一,其是用巧妞、肉类和蔬菜做成。特别是在玻利维亚,巧妞不像普通的土豆。在某些食谱中,巧妞和土豆不应该交替使用。如巧妞在没有磨成粉时,Chairo是不一样的。Chairo在秘鲁南部地区很传统,如在阿雷基帕和普诺。另有一种汤,是用整块巧妞制作,名为Jakonta。巧妞可配合各种各样的酱汁食用。

巧妞主要的烹调方式是炖菜和汤,在此基础上结合大麦和最简单的草本植物。用蒸汽加热奶酪时,巧妞被认为是一种特殊美味。其混合着水果和蔗糖蜜,巧妞被制成一个名叫Mazamorra的甜点<sup>[22]</sup>。

的喀喀湖,世界上海拔最高的通航淡水湖,位于南美洲秘鲁和玻利维亚交界处,海拔3 800 m<sup>[40]</sup>。每年6月,湖边的印第安人生活的村子里,时常飘出一股浓烈诱人的香味,那是在烹制一种叫作“地锅”的美食。在地上挖一个坑,加入烧热的石头,中间放上一锅浓汤,锅边码上嫩玉米、白薯、南瓜等食物,之后盖好锅盖焖上1 h,起锅时香气四溢。这锅浓汤里有安第斯山风味独特的鸡肉、羊驼肉,不过主料却是特殊工艺制成的巧妞。

图6<sup>[41]</sup>是一种典型的巧妞的食用方式,将巧妞与安第斯奶酪、炸洋葱、番茄和辣椒搭配,即成为一盘简单而又具有创新的菜肴。巧妞还可以进一步加工成马铃薯生全粉,可以单独食用,与面粉混合以后可进一步扩展巧妞的应用范围。



图6 巧妞配上安第斯奶酪、炸洋葱、番茄和辣椒

## 6 评价分析

巧妞是一种天然马铃薯冻干脱水产品,是在南美洲安第斯山脉一带,通过当地古老的工艺制成的马铃薯特色食品。巧妞的生产工艺也是现代冷冻干燥技术的先例,如今冷冻干燥技术在食品中应用广泛。冷冻干燥技术与其他保存方法相比具有许多优点<sup>[42-43]</sup>:

1) 物料在低温低压下进行干燥,可避免药品、食品

中热敏成分分解变质,同时由于低压缺氧,又可使物料中的易氧化成分不致氧化变质,尤其适于热敏性高、极易氧化的物料,如蛋白质、微生物之类不会发生变性或失去生物活力;2)由于物料在升华脱水前先经冻结,形成稳定骨架,所以干燥后会保持原形,不会出现收缩现象,且内部呈疏松多孔的海绵结构;3)脱水彻底,干燥时能排除95%~99%水分,干燥后可在常温下长期保存,并且因质量轻而便于运输;4)复水性极好,冻干制品能迅速吸水复原,其色泽、品质与鲜品基本相同。

巧妞不同于现代冷冻干燥的制品,巧妞保存时间长,但不具有复水的功能。巧妞经冷冻-解冻-再冷冻-再解冻反复多次的工艺,马铃薯块茎组织的水分基本上被蒸干,水分缺失降低食品腐败的风险。巧妞在一定的温度下块茎组织溶液逐渐冷冻,使所有的液体全部成为固体<sup>[44]</sup>。第2天暴晒是解冻的过程,同样块茎组织表层的水分蒸发,反复多次,组织中的水分基本蒸发完全。块茎组织的水分蒸发可能是因为组织的多孔物质。多孔介质指的是由固体物质组成的骨架和由骨架分隔成大量密集成群的微小空隙构成的介质。固体骨架遍及多孔介质所占据的所有体积空间。孔隙内部的空间相互连通,其内部的介质可以是气相流体、液相流体或者气液两相流体<sup>[45-46]</sup>。巧妞水分蒸发的原理与多孔物质的关系有待进一步研究。

## 7 展望

巧妞是一种来自国外的马铃薯脱水产品,这种新型马铃薯产品在国内并不常见。在外观方面,巧妞不同于新鲜马铃薯,其质地坚硬,外观如同鹅卵石。虽然存在外观不美观这一缺点,但其便于携带,能长期贮存等优点,有望成为贮粮和行军打仗时的佳品;在营养成分方面,巧妞的营养成分部分有损失,与其他马铃薯产品相比,损失比较小;在口感风味方面,巧妞没有新鲜马铃薯的特殊风味,有一点淡淡的苦味;在食用方式方面,巧妞有其特有的烹饪搭配方式。

根据巧妞加工的传统工艺,设计符合现在规模生产化的新型工艺,发扬巧妞优势,开发巧妞特色产品,从南美洲走向世界,走向世界每个地方的餐桌。同时,可以根据巧妞产品的特殊工艺,在此基础上创新,创造新方法新产品,有助于应用于中国马铃薯产品加工,如中国新疆、西藏昼夜温差大,便可加工巧妞这种产品,推动中国马铃薯加工业发展。

### 参考文献:

[1] 曾凡远,刘刚.马铃薯加工技术及加工业发展[C].中国作物学会马铃薯专业委员会.马铃薯产业与农村区域发展.中国作物学会马铃薯专业委员会:中国作物学会,2013:182-192.

[2] MARIA DOLORES ÁLVAREZ TORRES, WENCESLAO

CANET PARREÑO. Thermal processing and quality optimization[J]. *Advances in Potato Chemistry and Technology*, 2009: 163-219.

[3] JOHNS T. The origins of human diet and medicine: Chemical ecology[M]. Arizona: University of Arizona Press, 1996.

[4] WOOLFE J A. The potato in the human diet[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1987: 144-148.

[5] 张岩, 梁明川, 胡晓蓓, 等. 不同干燥方法对马铃薯全粉干燥品质的影响[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2001, 18(2): 155-157.

[6] GARZÓN F J M. Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Sudamérica[J]. *Revista Latinoamericana De La Papa*, 2007, 14: 1-9.

[7] ACOSTA J D, MANGAN J E, MIGNOLO W, et al. Natural and moral history of the Indies[J]. *Sixteenth Century Journal*, 2002, 57(5): 244-248.

[8] ZIMMERER K S. Overlapping patchworks of mountain agriculture in Peru and Bolivia: Toward a regional-global landscape model[J]. *Human Ecology*, 1999, 27(1): 135-165.

[9] HALLOY S R P, ORTEGA R, YAGER K, et al. Traditional Andean cultivation systems and implications for sustainable land use[J]. *Acta Horticulturae*, 2005(670): 31-55.

[10] FLORES H E, WALKER T S, GUIMARÃES R L, et al. Andean root and tuber crops: Underground rainbows[J]. *Hortscience*, 2003, 38(2): 161-167.

[11] HAAN S D, NÚÑEZ J, BONIERBALE M, et al. Multilevel agrobiodiversity and conservation of Andean potatoes in central Peru[J]. *Mountain Research and Development*, 2010, 30(3): 222-231.

[12] WILLIAM R. LEONARD R. BROOKE THOMAS. Changing dietary patterns in the Peruvian Andes[J]. *Ecology of Food and Nutrition*, 1988, 21(4): 245-263.

[13] BRUSH S B, ALTIERI M A, HECHT S B. Crop development in centers of domestication: a case study of Andean potato agriculture[J]. *Research*, 1990: 161-170.

[14] FREEMAN S T. America's first cuisines Sophie D coe[J]. *American Anthropologist*, 2010, 97(3): 597-598.

[15] TOWLE M A. The ethnobotany of pre-Columbian Peru[M]. Venice: Aldine Press, 1961: 256-257.

[16] UGENT D, PETERSON L W. Archaeological remains of potato and sweet potato in Peru[J]. *Cip Circular*, 1988, 16(3): 1-10.

[17] TREADWAY R H, HEISLER E G, WHITTENBERGER R T, et al. Natural dehydration of cull potatoes by alternate freezing and thawing[J]. *American Potato Journal*, 1955, 32(8): 293-303.

[18] BRAY T L. To dine splendidly[M]. *The Archaeology and*



- Politics of Food and Feasting in Early States and Empires. Springer US, 2003: 93–142.
- [19] SALAMAN R N. The history and social influence of the potato[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1985: 463–464.
- [20] GADE D W. Urubamba verticality: Reflections on crops and diseases[M]. Spell of the Urubamba. Springer International Publishing, 2016: 83–129.
- [21] WIKIPEDIA. The free encyclopedia[EB/OL]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Quechua\\_people](https://en.wikipedia.org/wiki/Quechua_people).
- [22] HAAN S D, BURGOS G, ARCOS J, et al. Traditional processing of black and white chuño in the Peruvian Andes: Regional variants and effect on the mineral content of native potato cultivars[J]. Economic Botany, 2010, 64(3): 217–234.
- [23] WERGE ROBERT W. Potato processing in the central highlands of Peru[J]. Ecology of Food and Nutrition, 1979, 7(4): 229–234.
- [24] JONG H D. Impact of the potato on society—The potato has had a profound impact on society and vice versa[J]. Spud Smart, 2018, 5(1): 11–13.
- [25] PEÑARRIETA J M, SALLUCA T, TEJEDA L, et al. Changes in phenolic antioxidants during chuño production (traditional Andean freeze and sun-dried potato)[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(4/5): 580–587.
- [26] BRAY W. Agricultural renaissance in the high Andes[J]. Nature, 1990, 345(6274): 385.
- [27] BUSSMANN R. Traditional medicinal plant use in Northern Peru: tracking two thousand years of healing culture[J]. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 2006, 2(1): 47.
- [28] BRUSH S B, CARNEY H J, HUAMAN. The dynamics of Andean potato agriculture[J]. Economic Botany, 1981, 35(1): 70–88.
- [29] BAUER A J, MURRA J V. Formaciones economicas y politicas del mundo andino[J]. Hispanic American Historical Review, 1976, 56(3): 472.
- [30] DE H S, BURGOS G, CCANTO R, et al. Effect of production environment, genotype and process on the mineral content of native bitter potato cultivars converted into white chuño[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(10): 2098–2105.
- [31] 李彦军, 耿伟, 史超, 等. 马铃薯营养特性及产业发展前景[J]. 中国果菜, 2017, 37(8): 16–17.
- [32] 吕世安. 中国马铃薯产业发展现状与趋势[J]. 湖北民族学院学报(自科版), 2002, 20(4): 29–34.
- [33] LIMA. Tablas peruanas de composición de alimentos[M]. 7<sup>th</sup>. Perú: Minsa–Ins–Cenan, 1996: 86.
- [34] BURGOS G, HAAN S D, SALAS E, et al. Protein, iron, zinc and calcium concentrations of potatoes following traditional processing as “chuño” [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2009, 22(6): 617–619.
- [35] MYERS G L. Guías de prácticas de laboratorio clínico: Biomarcadores emergentes para la prevención primaria de la enfermedad cardiovascular y del accidente cerebrovascular Capítulos 4, 5 y 6[J]. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, 2010, 44(1): 75–100.
- [36] PEÑARRIETA J M. Chuño and Tunta: The traditional andean sun-dried potatoes[M]. Claudio Caprara. Potatoes: Production, Consumption and Health Benefits. USA: Nova Science Pub Inc, 2012.
- [37] HORKHEIMER H. Alimentación y obtención de alimentos en el Perú prehispánico[M]. 2<sup>nd</sup> edition, Perú: Instituto Nacional de Cultura, 2004.
- [38] CHRISTELLE M, MARC GHISLAIN, BERTIN P, et al. Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L) as a source of antioxidant and mineral micronutrients[J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(2): 366–378.
- [39] HAINES H R, SAMMELLS C A. Adventures in eating: Anthropological experiences in dining from around the world[J]. Journal of Anthropological Research, 2010, 67(3): 453–454.
- [40] BANDY M S. Early village society in the formative period in the southern Lake Titicaca basin[M]. Berkeley: Andean Archaeology III, 2006: 210–236.
- [41] DEVAUX A, ORDINOLA M, HORTON D. Promoting innovations in the Peruvian Altiplano The case of Tunta, an ancestral product[C]. Innovation for development: The Papa Andina experience. International potato center, Lima, Peru, 2011: 335–345.
- [42] 姚静, 张自强. 药物冻干制剂技术的设计及应用[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2007.
- [43] 潘永康, 王喜忠, 刘相东. 现代干燥技术[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [44] 李二娜. 预冷冻对马铃薯冻干过程影响的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [45] 刘伟, 范爱武, 黄晓明. 多孔介质热质理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [46] 俞昌铭. 多孔材料传热传质及其数值分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.