不同海拔环境对马铃薯营养品质特性的影响研究

扎西普赤，旦增旺姆，次仁德吉，蒋姣姣，穷　吉

（西藏日喀则市农牧业科学研究推广中心，西藏 日喀则 857000）

摘　要：马铃薯是我国 4 大主粮之一，具有粮食、蔬菜与经济作物属性，其营养品质直接决定食用价值与加工利用效益。不同海拔能够通过改变温度、昼夜温差、光照时长、紫外线辐射等环境要素，调控马铃薯植株碳氮代谢与次生代谢进程，造成不同海拔梯度下块茎营养组分的差异化积累。为明确不同海拔环境与马铃薯营养品质的耦合关系，系统梳理中低海拔至高海拔梯度下马铃薯淀粉、蛋白质、可溶性糖、功能性活性物质的品质变化规律，重点结合西藏 2 800～4 500 m 超高海拔独特高原气候特征，探究高海拔特殊环境对马铃薯品质形成的调控机制。

关键词：海拔梯度；马铃薯；营养品质；物质积累

中图分类号：S532　　**文献标识码**：A

Effects of different altitudinal environments on nutritional quality characteristics of potato

Zhaxipuchi，Danzengwangmu，Cirendeji，Jiang Jiaojiao，Qiongji

（Agricultural and Animal Husbandry Science Research and Extension Center，Shigatse Xizang 857000，China）

Abstract：Potato is one of the four staple crops in China，with grain，vegetable and economic crop values. Its nutritional quality directly determines edible value and processing benefits. Altitude changes temperature，sunshine duration and ultraviolet intensity，regulating carbon and nitrogen metabolism as well as secondary metabolism in potato plants，resulting in differentiated accumulation of tuber nutritional components along altitudinal gradients. This paper systematically summarizes the changing rules of starch，protein，soluble sugar and functional active substances in potatoes from low to high altitudes，and focuses on the regulatory effects of the unique plateau climate（2 800－4 500 m）in Xizang on potato quality formation.

Key words：altitudinal gradient；potato；nutritional quality；substance accumulation

马铃薯 *Solanum tuberosum* 能适应各种地理环境和气候，在世界大部分地方种植[1]。然而，海拔梯度变化会引起区域微气候发生系统性变化，并影响马铃薯植株光合作用、物质运转和代谢酶活性，从而导致块茎中营养成分累积存在较大差异[2]。高海拔区域是我国马铃薯特色高海拔栽培地区之一，特有的高原自然环境条件下生产的马铃薯具有不可替代的优势。因此，本文在综合前人权威研究的基础上，对不同海拔梯度下马铃薯主要营养成分总趋势进行归纳总结。

1　不同海拔梯度对马铃薯品质的整体影响

1.1　不同海拔梯度对马铃薯主要营养品质的影响

海拔梯度通过温度、光照、温差、紫外辐射等多因子协同作用，调控马铃薯碳氮代谢与次生代谢通路，使干物质、还原糖、总酚、花青素等关键品质指标呈现出规律性变化。现有研究普遍依据海拔梯度将马铃薯种植区域划分为低海拔（＜1 500 m）、中海拔[1 500～2 200 m）、常规高

收稿日期：2025－11－29

基金项目：日喀则市马铃薯品质评价研究项目（RKZ2026ZR-002）。

作者简介：扎西普赤（1993—），女，本科，研究实习员，主要从事农作物品质检测研究，E-mail：935701682@qq.com。

通信作者：旦增旺姆（1988—），女，本科，助理研究员，主要从事马铃薯脱毒病毒检测及农作物品质检测研究，E-mail：danzengwangmu1988@163.com。

海拔[2 200～2 800 m)、超高海拔[2 800～4 500 m]4 类区间。随着海拔升高，空气密度变小，气温逐渐降低，太阳辐射强度增加，紫外线照射强烈，降水量和降水日受到影响，进而影响马铃薯生长，并最终会影响到其产量和品质，导致不同海拔梯度下马铃薯产量及粗蛋白、淀粉、可溶性糖含量的差异具有统计学意义[3]。

1.2 不同海拔对淀粉及干物质积累的影响

干物质与淀粉是评判马铃薯鲜食口感、商品属性及加工适配性的核心指标，二者积累水平与海拔呈显著正相关。低海拔区域全年气温偏高、昼夜温差狭小，马铃薯夜间呼吸消耗旺盛，光合产物难以在块茎大量留存，干物质与淀粉积累量整体偏低；中海拔区域水热配比均衡，温度与温差条件更适配马铃薯生长，干物质、淀粉含量较低海拔区域明显提升；常规高海拔地带冷凉气候延长植株有效光合周期，昼夜温差有效抑制夜间有机物损耗，淀粉合成与积累效率进一步提高；以西藏河谷地带为代表的[2 800～4 500 m]超高海拔区域，上述正向效应达到峰值，干物质与淀粉积累量在各海拔区间中处于最高水平。还原糖变化趋势与干物质、淀粉完全相反，随海拔升高持续降低。低海拔高温高湿环境会激活蔗糖转化酶活性，加速蔗糖水解生成大量还原糖，马铃薯加工时极易发生美拉德反应，导致制品褐变发黑，大幅降低加工成品品质；随海拔上升，环境温度逐步降低，蔗糖水解过程受到抑制，还原糖含量持续回落；超高海拔低温环境可显著削弱蔗糖转化酶活力，块茎还原糖维持在极低水平，既解决了油炸加工褐变问题，同时延长马铃薯仓储保鲜周期。

1.3 不同海拔对功能性营养物质的影响

总酚、花青素等功能性物质作为马铃薯重要的抗氧化活性成分，在清除自由基方面以及提升营养保健价值上发挥重要作用，并主要受环境胁迫诱导进行合成[4]。海拔升高对马铃薯功能性物质积累有极显著促进作用，低海拔环境温和，低温、紫外等胁迫强度较低，植株次生代谢通路活性弱，低至 0.26 mg/g 的总酚含量，低至 0.22 mg/g 的花青素含量。中海拔胁迫程度稍有增大，功能成分逐渐增多。常规高海拔紫外辐射和昼夜温差增大，充分启动了苯丙烷途径，总酚、花青素含量显著提高。西藏超高海拔地区紫外辐射强，再加上低温、大温差多重胁迫，功能物质合成得到最大程度诱导，总酚含量达 0.62 mg/g，花青素含量达 1.16 mg/g，明显高于其他梯度。试验表明 UVB 胁迫能够有效刺激马铃薯中酚类物质及花青素生成并提高其抗氧化能力，因此西藏马铃薯不仅具有良好的食用品质，同时还具有较高的保健功效，在生产高保健食品方面具有较好的利用前景。

2 西藏高海拔区域气候特征及对马铃薯品质的特异性影响

2.1 西藏高海拔区域核心气候特征

西藏马铃薯主产区集中于海拔[2 800～4 500 m]的河谷地带、山前洪积扇及缓坡耕地，属于我国乃至世界范围内极为典型的超高海拔马铃薯种植区，其气候条件与我国西南山区、西北黄土高原及华北平原等传统马铃薯产区存在本质差异，形成了以低温冷凉、强太阳辐射、大昼夜温差、高紫外线、空气干燥、生态洁净为核心的高原气候系统。

在温度条件方面，西藏马铃薯生育期日均气温基本都为 10～18 ℃，没有长时间的高温危害，符合马铃薯喜冷凉而不耐热的特点，能规避因高温造成的早衰、光合作用减弱以及块茎停止生长现象。另外，昼夜温差大，一般为 15～25 ℃，远高于低海拔地带，白天高温有利于植株碳同化及光合产物合成，夜间低温降低了呼吸耗损，使光合作用产生的光合产物最大限度地向块茎运输并积累储存，从而形成丰富的干物质、淀粉以及蛋白质，是最适于这些成分形成的温度条件。

西藏高原空气稀薄、大气透明度高，年日照时数可达 2 500～3 200 h，光合有效辐射强度大，可显著提升马铃薯叶片光合效率，延长有效光合积累时间。与此同时，高原近地层 UVB 辐射强度较平原地区高出 30%～50%，在不抑制植株正常生长的前提下，可作为有效胁迫信号激活次生代谢通路，促进花青素、多酚、黄酮等功能性物质合成。

此外，西藏高原气候干燥、相对湿度低，不利于病原菌侵染与害虫繁殖，马铃薯病虫害发生程度显著轻于低海拔高湿地区，农药使用量极低，加之工业污染少、土壤与水源洁净，使西藏马铃薯具备天然的绿色、安全、优质生产基础，这也是高原马铃薯品质独特性的重要生态保障。

2.2 对基础营养品质的优化作用

西藏高海拔特殊气候对马铃薯基础营养品质具有显著的正向调控效应，能够系统提升块茎干物质、淀粉及粗蛋白含量，形成营养更均衡、品质更优良的块茎特征。在马铃薯生长过程中，干物质与淀粉积累依赖光合产物的高效合成与稳

定留存，而西藏高海拔地区低温冷凉、光照充足、昼夜温差大的环境条件，为物质积累提供了理想条件。该区域马铃薯生育期气温稳定在10～18 ℃，可有效避免高温造成的植株早衰与呼吸消耗过大等问题，使块茎膨大期较中、低海拔地区延长15～20 d，光合产物积累时间更充足。同时，高原地区昼夜温差可达15～25 ℃，白天强光提升光合效率，夜间低温减少物质消耗，促使更多碳水化合物向块茎转运并转化为淀粉。相关研究表明，高海拔低温可提高淀粉合成关键酶活性，促进淀粉粒发育与支链淀粉积累，使块茎结构更致密、品质更稳定。从测定数据可以看出，西藏超高海拔马铃薯干物质含量达24.58%，淀粉含量达18.74%，均显著高于其他海拔梯度，块茎充实饱满、粉质细腻，鲜食品质突出。

2.3　对加工品质的改良效果

西藏高原地区独特的地理气候条件能有效改善马铃薯的加工品质特性，主要体现在可明显降低马铃薯还原糖含量、提高马铃薯加工稳定性和耐贮性，使之成为优良的加工用马铃薯品种。还原糖是影响马铃薯油炸加工品质的主要因素之一，含量过高的马铃薯在油炸过程中易发生美拉德反应，造成产品褐变、发黑以及风味下降等问题发生。低海拔条件下高温多湿会使蔗糖转化酶活力增加，导致大量的还原糖产生，不利于加工利用。西藏高原长期处于较低温度下，可以明显降低蔗糖水解以及还原糖合成水平，块茎中还原糖含量仅为0.34%，较其他低海拔区域具有明显的下降幅度，在生理生化层面降低了其后期发生褐变的可能性，有利于提升其后续加工产品的外观质量及出成率。另外，西藏高原气候干燥，马铃薯块茎含水量低而干物质含量较高，在加工过程中成形好、耐煮不软烂，适宜全粉、淀粉、速冻薯条等工业化生产。高干物及高淀粉特性使得马铃薯加工出品率高、产品质构稳定，可以满足现代食品工业中原料的一致性需求。另外，高海拔低温低湿可降低块茎采后呼吸强度及水分损失，延缓衰老和腐烂发生，延长贮藏期和货架寿命，减少储运过程中的损失，提高整个产业链条的效益。综上所述，西藏高海拔给马铃薯带来低还原糖、高干物质含量、耐加工、耐贮藏的良好性状，具有成为优质加工原料生产基地的优势条件。

2.4　对功能性营养品质的提升效应

西藏高海拔强紫外线辐射、低温、大温差的复合环境条件对马铃薯功能性营养品质具有极强的诱导提高效果，能够明显促进其花青素、总酚、黄酮等抗氧化类物质的合成与积累。而此类抗氧化活性的次生代谢物具有清除自由基、抗氧化、抗炎症等保健功效，是提高马铃薯产品附加价值的关键所在，在高原条件下，紫外线辐射UVB较平原高30%～50%，能作为一种胁迫信号激活苯丙烷代谢通路，提升苯丙氨酸解氨酶、查尔酮合酶等关键酶活性，促进花青素及多酚类物质大量合成。实验测得西藏马铃薯中总酚达到0.62 mg/g，花青素高达1.16 mg/g，远高于其他海拔产地，功能优势突出。对彩色马铃薯来讲，高海拔环境可以提高花青素含量30%以上，抗氧化活性强，有开发功能食品及营养保健产品的潜力。同时，高海拔环境会降低多酚氧化酶活性，减少块茎采后褐变速率，维持外观商品性，延缓保鲜期。综上所述，在西藏高原既可以提高马铃薯的基础营养价值，又能大幅度增加其功能价值，从而使高原马铃薯具有独特的优势来开发营养保健型产品，并对产业转型起到重要作用。

3　结语

不同海拔是调控马铃薯营养品质形成的核心原因，在适宜种植范围内随海拔升高，马铃薯干物质、淀粉、蛋白质及功能性成分含量整体呈上升趋势，还原糖含量下降，综合品质持续优化。2 800～4 500 m超高海拔区域凭借低温冷凉、昼夜温差大、光照充足、紫外辐射强、生态洁净等独特气候条件，将海拔对马铃薯品质的正向效应最大化，形成高干物质、高淀粉、高蛋白、低还原糖、高功能性成分的优良特征。在基础营养、加工适应性与功能性品质方面，西藏马铃薯均表现出显著优势，具备发展优质鲜食、标准化加工与高附加值功能产品的巨大潜力。

参考文献：

[1] 彭慧，金银，罗兰顺，等.9个马铃薯品种(系)在贵州省赫章县不同海拔高度的种植表现 [J].中国种业，2025(12)：106-109，117.

[2] 张劲梅.云南江川冬马铃薯地膜覆盖高产栽培技术 [J].农业工程技术，2025，45(9)：53-54.

[3] 胡婷园.不同海拔及品种对马铃薯品质的影响 [D].雅安：四川农业大学，2023.

[4] 卢涛，杨希，魏成燕，等.滇东地区气候环境对马铃薯产量和品质的影响 [J].玉溪师范学院学报，2024，40(3)：57-63.