

西藏芜菁及其加工制品增强人体低氧耐受性的实验研究

张英¹, 唐伟敏¹, 尼玛², 李交杰³, 尼玛顿珠², 龚凌霄¹, 陈晓健³, 刘晔峰¹, 边巴², 吴晓琴¹

(1.浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 馥莉食品研究院, 浙江省农产品加工技术研究重点实验室, 浙江省食品加工技术与装备工程研究中心, 浙江 杭州 310058; 2.西藏宏发盛桃食品开发有限公司, 西藏 拉萨 850000; 3.空军杭州航空医学鉴定训练中心, 浙江 杭州 310007)

摘要:以西藏芜菁的块茎及其加工制品(芜菁脆片和芜菁饮料)为实验材料, 选市售的抗缺氧药物红景天胶囊为阳性对照物, 同时设淀粉胶囊作为安慰剂, 进行了为期21 d的人体试食试验。实验期间受试者每周定时进行低氧耐受性测试, 记录受试者在低氧环境中的不耐受主诉、血氧饱和度及心率, 同时检测血清超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)酶活性及丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量等指标。结果表明: 芜菁及其加工制品能有效缓解人体的低氧反应症状; 各实验组(安慰剂除外)实验后的心率均小于实验前。在增强人体抗氧化能力方面, 阳性对照组和芜菁脆片组的受试者连续服用7 d和14 d后血清SOD酶活性较实验前得到显著升高($P < 0.05$); 第21天时, 与安慰剂组相比, 各实验组的人体血清CAT酶活性均有显著升高($P < 0.05$), 而MDA含量则显著降低($P < 0.05$)。综上所述, 芜菁及其加工制品均具有一定的抗缺氧作用, 尤其是芜菁脆片很好地保留了芜菁鲜品中的有效成分, 其生物学功效可与红景天媲美, 是一种具有良好开发前景的抵御高原反应的即食休闲食品。

关键词: 西藏芜菁; 功能食品; 低氧耐受性; 人体试食试验

Effects of Tibetan Turnip and Its Processed Products on Human Tolerance to Hypoxia

ZHANG Ying¹, TANG Wei-min¹, NI Ma², LI Jiao-jie³, NI Ma-Dun zhu², GONG Ling-xiao¹, CHEN Xiao-jian³,
LIU Ye-feng¹, BIAN Ba², WU Xiao-qin¹

(1. Zhejiang Key Laboratory for Agro-Food Processing, Zhejiang R & D Center for Food Technology and Equipment, Fuli Institute of Food Science, School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;
2. Tibet Hongfa Shengtao Food Development Co.Ltd., Lhasa 850000, China;
3. Hangzhou Center of Aeromedical Assessment and Training, Air Force, Hangzhou 310007, China)

Abstract: A 21-day human feeding trial was conducted using fresh and processed turnip products (turnip crisp and beverage) as experimental objects, commercially available antihypoxic *Rhodiola* capsules as positive control and starch capsules as placebo. All subjects received hypoxia reaction tests. During the tests, uncomfortable responses, SpO₂ and heart rates were recorded. Meanwhile, blood routine indexes, serum SOD and CAT activities and MDA content of all subjects were also determined. Results revealed that fresh turnip as well as its processed products could effectively alleviate hypoxia reaction symptoms. Except for the placebo group, the mean heart rates of the subjects on the 21st day in all experimental groups were smaller when compared with those before the test. As for the antioxidant capacity analysis, serum SOD activities in the positive control and turnip crisp group elevated significantly after 7-day treatments when compared with that before the test ($P < 0.05$). The same result for the turnip crisp group after administration for 14 days was observed ($P < 0.05$). The CAT activity of all experimental groups also exhibited a significant increase on the 21st day when compared with the placebo group, while MDA contents in all experimental groups declined significantly ($P < 0.05$). In conclusion, turnip and its processed products have the same bioactive activity as *Rhodiola*. The turnip crisp retains most of the bioactive components present in fresh turnip. Thus it can be developed as a snack food with the potential resistance to altitude sickness.

Key words: Tibetan turnip; functional food; anti-hypoxia capacity; human feeding trial

中图分类号: TS201.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)03-0178-05

doi:10.7506/spkx.1002-6630-201403036

收稿日期: 2013-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371754)

作者简介: 张英(1961—), 女, 教授, 博士, 研究方向为天然产物与功能性食品。E-mail: yzhang@zju.edu.cn

西藏芜菁 (*Brassica rapa* L.) 属于两年生十字花科芸薹属芸薹种芜菁亚种, 是一种传统的药、食、饲三用植物^[1]。《甘露本草明镜》《四部医典》《新编藏医学》等藏医学典籍记载, 芜菁具有清热解毒、滋补、增强免疫力、抗突变、抗辐射、抗疲劳、延缓衰老和抗缺氧等功效^[2]。我国西藏地区平均海拔高达3 500 m, 具有空气稀薄、含氧量少、气压低、昼夜温差大等高原气候特点, 初到藏区的人, 常有头痛、胸痛、心跳加快、气喘、呼吸困难等高原反应, 芜菁是藏民及其爱畜牦牛进入高海拔地区的必备食材, 也是当前藏区的一些旅游景点内藏民们以鲜品形式销售的一种抗缺氧食物。研究报道, 芜菁中含有黄酮^[3-5]、三萜^[6]、多糖^[7-8]、皂苷^[9]、生物碱^[10]等多种生理活性成分。具有降血脂、降血糖及抗菌等功效^[11]。Xie Yue等^[12]对西藏芜菁进行分离提取获得含不同分子质量的多糖混合物, 在动物实验中初步验证了其耐缺氧功效^[13]。作者前期的研究工作亦表明, 西藏芜菁冻干粉能明显延长小鼠的常压耐缺氧时间^[14]。

本实验以西藏芜菁为研究对象, 采用冷冻干燥方法制得芜菁脆片, 并用芜菁水提物与竹叶黄酮复配获得芜菁饮料。通过人体试食试验, 考察3种不同芜菁试样(鲜品、脆片和饮料)对受试者低氧耐受性的改善作用, 以期西藏芜菁作为抗高原反应的旅游休闲食品的开发提供实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

芜菁原料由宏发建筑工程有限公司芜菁种植实验基地(西藏拉萨市曲水县)提供, 竹叶黄酮粉(BLF-d24, 总黄酮含量24.8%)由杭州尤美特科技有限公司提供。3种不同芜菁试样的制作流程如图1所示, 芜菁块茎、芜菁脆片和芜菁饮料的外观如图2所示。

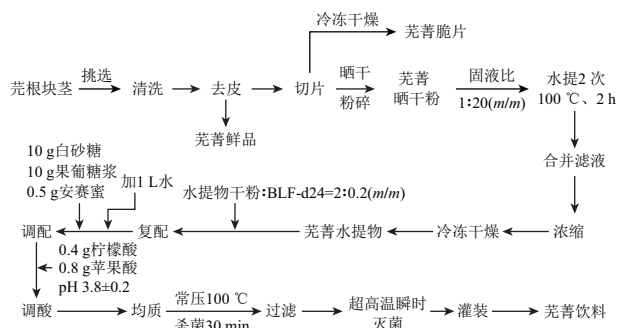
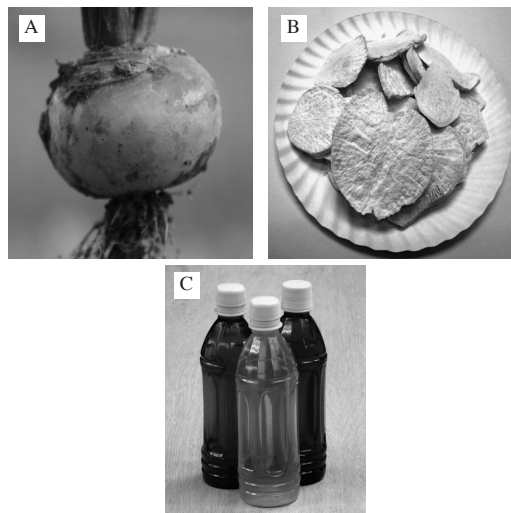


图1 芜菁及其加工制品的制备流程

Fig.1 Process flowcharts for preparing turnip products

诺迪康胶囊(国药准字Z10980020号, 生产批号110308, 规格280 mg/粒) 西藏诺迪康药业股份有限

公司; 自制淀粉胶囊作为安慰剂(每粒含马铃薯淀粉280 mg); 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)测定试剂盒、过氧化氢酶(catalase, CAT)测定试剂盒、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量测定试剂盒 南京建成生物技术有限公司; 其他化学试剂均为分析纯。



A.刚采收的芜菁块茎; B.经低温干燥而得的芜菁脆片; C.加竹叶黄酮配制的芜菁饮料。

图2 块茎芜菁及其加工制品的形态

Fig.2 Pictures of Tibetan turnip and processed products

1.2 仪器与设备

ALPHA 1-4 LSC冷冻干燥机 德国Christ公司; FA1004分析天平 上海精科天平厂; 722E可见分光光度计 上海光谱有限公司; DY-84型低氧混合仪、M8000型多功能监护仪、YM-6505加压供氧面罩、TK-A飞行保护头盔 空军航空医学研究所研制。

1.3 方法

1.3.1 实验分组

人体试食试验经浙江大学生物系统工程与食品科学学院的伦理委员会批准。在选取受试者时告知本次实验可能存在的危险, 并签署知情书。选取年龄在20~30岁之间的健康男性学生50人为受试者, 根据实验前低氧反应测试中的低氧耐受时间随机分为5组, 分别为安慰剂组、阳性药物组、芜菁脆片组、芜菁鲜品组和芜菁饮料组。

1.3.2 试食试验

在连续21 d的试食试验中, 安慰剂组与阳性药物组的受试者每天定时定量服用胶囊, 日服用剂量均为840 mg (280 mg/粒×3粒), 根据前期西藏芜菁干粉在动物实验结果^[15]确定芜菁饮料服用量, 芜菁脆片服用量根据芜菁鲜品干基质量换算而得, 最终确定芜菁鲜品组、芜菁脆片组和芜菁饮料组受试者服用量具体为鲜品(100 g)、脆片(17 g)和饮料(350 mL)。受试者

在整个试食试验过程中按要求填写《身体表征记录表》(表1)。实验过程中,有5人(安慰剂组1人、脆片组2人、鲜品组2人)因脸形与呼吸面罩的贴合效果不佳而被取消资格,另有6人(芜菁饮料组、阳性药物组和安慰剂组各2人)在实验期间有醉酒行为,将以上11人的实验数据剔除后,最终纳入分析的有效数据为安慰剂组(7人)、阳性药物组(8人)、芜菁鲜品组(8人)、芜菁饮料组(8人)和芜菁脆片组(8人)。

表1 受试者身体表征记录表
Table 1 Records of body conditions

项目	情况记录			其他
食欲	增强	减弱	没什么变化	
通便	次数增加	次数减少	次数不变	
产气	次数增加	次数减少	次数不变	
尿	次数增加	次数减少	次数不变	
睡眠	嗜睡	兴奋	没什么变化	
精神	更加旺盛	有点萎靡	没什么变化	
腹胀感	胃胀	胃很舒服	没什么感觉	

1.3.3 低氧反应测试

分别于实验第0、7、14、21天进行模拟7500 m海拔高度下的低氧反应测试,低氧反应测试在杭州航空医学鉴定训练中心完成,具体操作方法参考文献[16-17]。整个测试过程中,受试者吸入经DY-84型低氧混合仪混合的模拟7500 m海拔高度(氧含量为7.1%)的氮氧混合气体,同时进行倒写数字作业。期间由床边监护仪监测左手无名指甲襞循环部位的经皮血氧饱和度(peripheral oxygen saturation, SpO₂)及心率,并观察受试者的反应症状。实验开始后受试者带上呼吸面罩(实验前已开启气体,流量15 L/min),随即按下秒表计时,每隔10 s记录SpO₂和心率。测试期间受试者按要求倒写数字直至出现明显差错或低氧反应症状(头晕、头胀、恶心、出冷汗等)时停止实验,若无不耐受主诉,当受试者SpO₂值下降至60%时,迅速摘下面罩,立即终止实验。因机体SpO₂处于66%~60%时会突然失去意识,故将SpO₂ 60%设为下限值。将SpO₂从起始值降至60%所用的时间定义为低氧耐受时间。

1.3.4 血样采集和血生化指标测定

在连续试食0、7、14、21 d后进行低氧反应测试,随后抽取受试者清晨空腹时肘部静脉血5 mL,分离血清于离心管中,统一编号,−20 ℃冰箱中保存待测。血常规和血生化指标由浙江大学附属校医院完成。血清中SOD、CAT酶活性以及MDA含量等多项抗氧化指标、血常规及血生化指标按照试剂盒说明书进行测定。

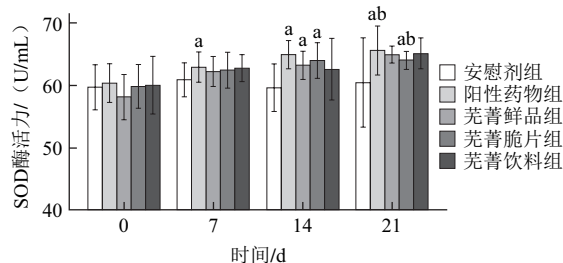
1.4 数据处理

用SPSS 20.0统计软件对数据进行T检验和显著性检验, $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 不同芜菁试样对人体血清抗氧化活性的影响

2.1.1 血清SOD、CAT酶活性分析



a.与本组的起始值比较,有显著性差异($P < 0.05$); b.与同期安慰剂组比较,有显著性差异($P < 0.05$)。下同。

图3 各组受试者血清中SOD酶活性的差异

Fig.3 Serum SOD activity in the subjects from each group

由图3可见,实验前各组受试者血清SOD酶活性之间没有明显差异($P > 0.05$)。实验第7天时,仅阳性药物组受试者血清SOD酶活性与实验前的差异达到显著水平($P < 0.05$)。第14天时,除饮料组、安慰剂组外,其余各组受试者血清SOD酶活性较实验前均达到显著差异($P < 0.05$)。第21天时,阳性药物组与芜菁脆片组的SOD酶活性均较实验前达到显著水平($P < 0.05$),与同期安慰剂组的差异亦达到显著水平($P < 0.05$)。

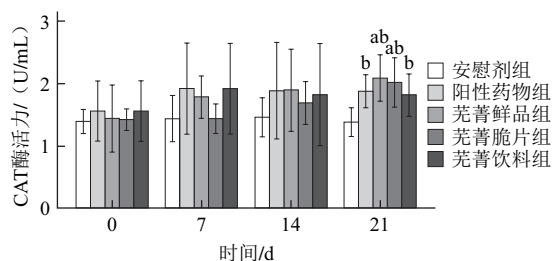


图4 各组受试者血清中CAT酶活性的差异

Fig.4 Serum CAT activity in the subjects from each group

由图4可见,各组受试者血清CAT酶活性与SOD酶活性具有相似的变化趋势。在第0、7、14天时,各组实验者血清的CAT酶活性均无明显差异($P > 0.05$)。第21天时,各实验组的CAT酶活性与安慰剂组间的差异均达到显著水平($P < 0.05$),其中芜菁鲜品组和脆片组的CAT酶活性较实验前的差异亦达到显著水平($P < 0.05$)。

2.1.2 MDA含量分析

由图5可见,连续实验21 d后,除安慰剂组外,其余各组受试者血清中MDA含量均得到显著降低($P < 0.05$)。7 d后,各组实验者血清中MDA含量较实验前虽略有下降,但均无明显差异($P > 0.05$)。第14天时,仅饮料组的MDA含量较实验前的差异达到显著水平

($P<0.05$)。第21天时,各实验组的MDA含量与安慰剂组相比均有显著差异($P<0.05$),其中脆片组与饮料组的MDA含量较实验前亦达到显著水平($P<0.05$)。

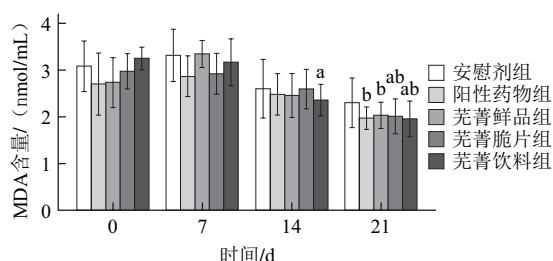


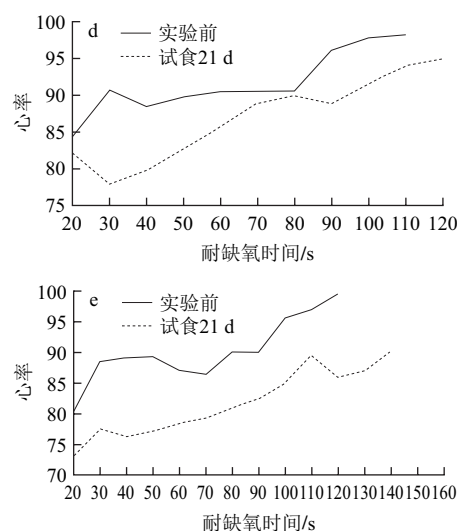
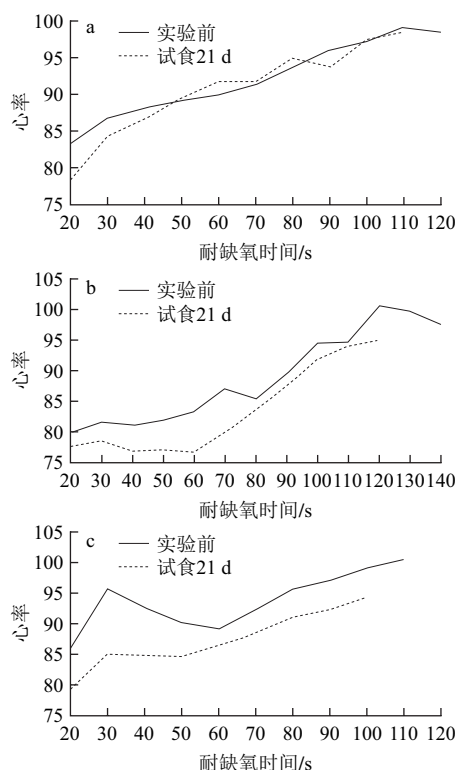
图5 各组受试者血清中MDA含量的差异

Fig.5 Serum MDA content in the subjects from each group

2.2 不同芜菁试样对受试者心率的影响

低氧反应测试过程中,受试者的 SpO_2 随着缺氧时间的增加而逐渐降低,同时心率逐渐升高,这是人体在低氧胁迫下产生的正常代偿反应。即当 SpO_2 下降时,机体通过增加心率和呼吸频率自行调节血液的携氧量、心率增加幅度越小,表明人体潜在抗缺氧能力越强^[18]。

各组受试者实验前后在低氧测试过程中心率变化的平均值如图6所示。总体而言,在低氧测试过程中,随着缺氧时间的延长,心率逐渐增加。比较连续试食21 d前后各组受试者心率的变化趋势,安慰剂组实验前后的心率增加变化趋势变化不大,而其他实验组则表现出食用试样21 d后,心率均整体降低,这表明红景天胶囊、芜菁鲜品及其加工制品均具有抑制心率增加过快的作用。



a. 安慰剂组; b. 阳性药物组; c. 芜菁鲜品组; d. 芜菁脆片组; e. 芜菁饮料组。

图6 各组受试者实验前与实验21 d的心率变化(平均值)

Fig.6 Changes in heart rates of all subjects before the test and on the 21st day of the test

2.3 受试者的低氧耐受时间变化及不耐受主诉分析

表2 各组低氧耐受时间的比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Hypoxia tolerance time in the subjects from each group ($\bar{x} \pm s$)

组别	受试者低氧耐受时间/s								平均低氧耐受时间/s
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	
安慰剂组	0 d	120	300	190	200	210	150	120	184.00±62.94
	7 d	300	180	210	190	180	170	160	198.57±47.41
	14 d	200	300	150	190	150	140	180	187.14±54.68
	21 d	180	280	180	140	150	120	140	170.00±53.23
阳性药物组	0 d	140	170	240	150	190	100	300	182.50±62.28
	7 d	140	150	300	130	120	110	150	160.00±60.47
	14 d	120	160	250	180	120	150	300	178.75±64.02
	21 d	120	150	200	120	150	300	150	171.25±58.66
芜菁鲜品组	0 d	230	230	200	270	110	120	170	181.25±60.58
	7 d	140	180	200	190	160	150	180	173.75±21.34
	14 d	160	200	180	190	150	160	180	172.50±17.53
	21 d	140	130	120	200	190	150	180	170.00±43.22
芜菁脆片组	0 d	150	110	240	120	300	120	180	167.50±69.02
	7 d	120	120	120	140	300	270	130	176.25±73.86
	14 d	140	120	260	130	300	120	130	168.75±70.19
	21 d	160	120	150	170	300	120	190	166.25±59.99
芜菁饮料组	0 d	300	240	160	120	150	120	150	173.75±63.23
	7 d	300	240	100	110	170	220	140	172.50±74.21
	14 d	300	100	170	150	220	140	130	163.75±67.39
	21 d	160	300	130	180	170	140	160	173.75±53.44

本研究采用了常规用于飞行员在高空作业时体能测试的评价方法。然而此次实验未能获得理想结果。从表2可知,各组受试者的低氧耐受时间均未表现出统计学意义上的显著性差异($P>0.05$),这可能与样本量偏小、模拟要素过于单一(仅涉及相应海拔高度的空气组成,而未考虑其他气候因素)有关。此外,受试者均为青年学生,生

活作息无规律也可能是导致本次实验中低氧耐受时间差异不明显的原因之一。对受试者在低氧反应测试过程中出现的不适症状及其主诉进行记录并统计见表3。

表3 试食试验过程中各组受试者的不耐受主诉及自觉状态
Table 3 Uncomfortable responses and conscious state of the subjects from each group during the feeding test

组别	n	不耐受主诉及低氧自觉症状
安慰剂组	7	有5人出现气急、胸闷、头晕、心慌等不同症状，精力萎靡，一直出现在整个实验过程中。
阳性药物组	8	4人出现胸闷、头晕、心慌等症状，其余4人的身体状况比较稳定，实验后有所改善，睡眠质量有提高，体力更旺盛。
芜菁鲜品组	8	2人分别有出冷汗、头晕的症状，实验后，食欲增强、通便次数增加、精力更加旺盛，最终仅1人仍出现不适症状。
芜菁脆片组	8	5人出现头晕、心慌、呼吸困难等症状，实验过程中有所改善，第3周时，仅3人出现较轻微的头痛、头胀等症状。
芜菁饮料组	8	7人出现不同程度的头晕、胸闷与心慌，食用饮料后，仍有3人的症状未能得到缓解，其他人食欲增强且精力更加旺盛。

由表3可知，安慰剂组中，大多数受试者出现的不良症状在实验后均未得到改善，而实验组均得到不同程度的缓解。其中，阳性药物红景天表现出的抗缺氧效果最为明显，受试者实验前的不适症状在实验后均得到改善，且精力更加旺盛。服用芜菁鲜品及其加工制品（脆片、饮料）的受试者出现不良症状得到缓解的效果显著优于安慰剂组。这表明西藏芜菁鲜品及其加工制品表现出的抗缺氧功能接近于红景天药物。

3 讨论

急性高原病（acute mountain sickness, AMS）是指人体位于海拔3 000 m以上高度时（超过机体代偿）时出现的一系列缺氧反应，严重时可引起生理改变并产生病理症状^[19]。研究证明，AMS的发病机制与机体组织细胞的脂质过氧化程度有着密切关系^[20]。在氧分压较低的高原环境下，人体内的氧化与抗氧化平衡容易被打破，导致MDA含量上升，进而导致人体细胞受损^[21]。因此通过提高机体的抗氧化能力，包括增强体内抗氧化酶系的活性以及降低体内脂质过氧化水平，减轻氧自由基对机体的损害，可使高原缺氧情况下氧自由基的产生与清除维持平衡状态，对AMS的发生起到积极的预防作用^[22]。红景天、西藏芜菁均来自我国高寒缺氧的青藏高原地区，高寒缺氧的恶劣环境使得植物次生代谢产物得到积累^[23]，因而西藏芜菁含有丰富的滋补增氧的抗氧化成分^[24]。西藏芜菁鲜品、脆片预防急性高原病的功效在本实验得到了验证，除能有效提高人体血清中的SOD、CAT酶活性外，还降低了血清中MDA的含量。虽然各组间的低氧耐受时间不存在显著差异，但各实验组在实验21 d后心率降低，而安慰剂组的心率变化不大，同时各实验组对不耐受主诉的缓解作用均强于安慰剂组。西藏芜菁具有生长快、产量高、抗逆性强等特点，是一种藏

区特有的宝贵资源。本研究旨在对比研究西藏芜菁及其不同加工制品在人体中的生物学功效，以期找到较好的产品形态，既能充分保留芜菁特有的生物活性成分，又便于携带和商业流通。本研究表明芜菁脆片、鲜品具有与阳性对照药物相媲美的生物学功效。受试者服用红景天胶囊14 d后可明显提高机体的SOD酶活性，而服用芜菁鲜品仅需7 d，表明芜菁鲜品具有起效快的特点。本研究所用的芜菁饮料试样，是以芜菁晒干粉为原料，提取获得有效成分，再与竹叶黄酮配伍而成，日晒和提取过程，均会在一定程度上导致有效成分损失，故芜菁饮料在人体实验中表现出的生物学效应弱于芜菁脆片和阳性对照。但由于芜菁鲜品的生产具有季节性，且不耐储藏，上市时间集中，保质期短，不易携带和流通。采用特殊的低温干燥技术，将芜菁鲜品加工成果蔬脆片是一种尚佳的选择。

参考文献：

- [1] 孙继, 叶利勇, 陶月良. 芜菁种质资源形态性状的多样性分析[J]. 浙江农业科学, 2007(3): 248-251.
- [2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草·藏药卷[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 345-350.
- [3] NINOMIYA M, EFDI M, INUZUKA T, et al. Chalcone glycosides from aerial parts of *Brassica rapa* L. 'hidabeni', turnip[J]. Phytochemistry Letters, 2010, 3(2): 96-99.
- [4] 买买提·吐尔逊, 丁晓丽. 反相高效液相色谱法测定维药芜菁中槲皮素的含量[J]. 药物分析杂志, 2011, 31(7): 1420-1422.
- [5] 毛居代, 帕热德姑丽·托合提, 布海力木·伊米提. 芜菁种子中总黄酮提取工艺研究[J]. 种子, 2011, 30(1): 39-41.
- [6] 李巧娟, 肖春霞, 张洪亮. 维药恰玛古的研究现状[J]. 新疆中医药, 2010, 28(6): 81-83.
- [7] 皮宁宁, 蒋思萍, 陈志鹏, 等. 芜根提取物对高血脂症大鼠调节作用的初步研究[J]. 四川动物, 2010, 29(3): 472-475.
- [8] 吕明, 黄山, 江春艳. 微波法提取西藏芜根多糖的工艺研究[J]. 中国林副特产, 2011(1): 19-21.
- [9] 刘浩, 蒋思萍, 杨玲玲, 等. 芜根粗总皂苷对糖尿病小鼠的降血糖作用[J]. 西北农林科技大学学报, 2011, 24(4): 1525-1529.
- [10] 梁永红, 阿提合尼木, 海力茜·陶尔大洪, 等. 分光光度法测定芜菁中总黄酮含量[J]. 中国实用医药, 2012, 7(10): 36-38.
- [11] 杨红. 彝族高寒山区芜菁抑菌作用及黄酮含量的初步研究[J]. 西南农业学报, 2012, 40(6): 23-27.
- [12] XIE Yue, JIANG Siping, SU Donghai, et al. Composition analysis and anti-hypoxia activity of polysaccharide from *Brassica rapa* L.[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 47(4): 528-533.
- [13] 谢玥, 马超, 蒋思萍, 等. 西藏芜根提取物对小鼠抗缺氧作用的初步研究[J]. 四川动物, 2009, 28(6): 853-856.
- [14] 刘晔峰, 龚凌霄, 刘连亮, 等. 西藏芜菁营养成分测定及提高缺氧耐受性的动物实验研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 412-416.
- [15] 刘晔峰. 以西藏芜菁为主成分的抗缺氧功能食品研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 24-29.
- [16] 李交杰, 范钦江, 曾素勤. 模拟7500m高空缺氧训练时的血氧饱和度测定[J]. 航空军医, 1999(3): 102.
- [17] 李交杰, 张刚林, 黄炜, 等. 急性低氧训练前、后机体血氧饱和度变化与低氧适应间的关系[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2007, 29(12): 833-835.
- [18] SAITO S, TANOB K, YAMADA M, et al. Relationship between arterial oxygen saturation and heart rate variability at high altitudes[J]. American Journal of Emergency Medicine, 2005, 23: 8-12.
- [19] 李文华, 刘忠, 袁亚东. 高原分子医学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2011: 87-90.
- [20] 牟信兵, 李素芝. 高原病学[M]. 拉萨: 西藏人民出版社, 2001: 82-83.
- [21] SHEN Guanghao, XIE Kangning, YAN Yili, et al. The role of oxygen-increased respirator in humans ascending to high altitude[J]. Bio Medical Engineering On Line, 2012, Aug 16;11:49. doi: 10.1186/1475-925X-11-49.
- [22] 崔建华. 高原医学基础与临床[M]. 北京: 人民军医出版社, 2012: 36-54.
- [23] ZHOU B, LI Y H, XU Z R, et al. Ultraviolet A-specific induction of anthocyanin biosynthesis in the swollen hypocotyls of turnip (*Brassica rapa*)[J]. Journal of experimental botany, 2007, 58(7): 1771-1781.
- [24] FERNANDES F, VALENTAO P, SOUSA C, et al. Chemical and antioxidative assessment of dietary [J]. Food Chemistry, 2007, 105: 1003-1010.