

袁际学 徐芳 著

基于生物学理论的

高原训练生理生化机理研究

JIYU SHENGWUXUE LILUN DE
GAOYUAN XUNLIAN
SHENGLI SHENGHUA JILI YANJIU



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

基于生物学理论的高原训练 生理生化机理研究

袁际学 徐 芳 著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

基于生物学理论的高原训练生理生化机理研究 / 袁
际学, 徐芳著. —成都: 西南交通大学出版社, 2010.5
ISBN 978-7-5643-0647-2

I. ①基… II. ①袁… ②徐… III. ①高原训练—生
理生化特性—研究 IV. ①G808.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 065654 号

基于生物学理论的高原训练生理生化机理研究

袁际学 徐芳 著

责任编辑	张宝华
特邀编辑	陈慧清
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	140 mm×203 mm
印 张	6.5
字 数	169 千字
版 次	2010 年 5 月第 1 版
印 次	2010 年 5 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5643-0647-2
定 价	18.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

随着竞技体育的发展及运动技术水平的提高,运动竞赛变得愈来愈激烈,高原训练也逐渐成为世界各国体育教练员的一种重要的训练手段,而且成为科研工作者广泛研究的对象。

纵观竞技体育发展史,20世纪50年代中叶人们就开始了高原训练的研究,而且,伴随着1968年墨西哥奥运会的开幕,人们认识到高原环境对运动竞赛产生着巨大的影响,高原训练问题也受到了世界各国体育界的密切关注。经过50多年的努力,高原训练的理论和实践研究取得了非常大的进步,积累了许多宝贵的实践经验,获取了较多的科研数据,同时也发现了高原训练的一些基本规律及现实存在的问题,即上下高原训练的时机、高原训练负荷的安排、高原训练方法和医务监督、下高原比赛前的调整期安排、可开展高原训练的项目等。与此同时,上述这些重点难点问题与生理生化也产生了十分重要的联系。当然,对同一个问题,可以用不同的生理生化指标来反映和体现,而对同一个生理生化指标,可以用不同的问题进行反映。因此,对于利用高原训练生理生化指标研究高原训练问题,指标选取的正确与否直接关系到高原训练研究的科学性和有效性。因此,本书在对高原训练生理生化进行综述研究之后,在传统的定性和定量指标选取的基础上,提出了利用部分血清酶和血液有形成分指标对高原环境下短跑运动员不同负荷状态后的生理生化变化规律进行实证研究,以期高原训练中的负荷控制和医务监督提供一定的参考。

本书结合生物学等其他学科知识,归纳整理了高原训练中部分生理生化指标的理论与实践,并选取了部分指标进行实证研究,从而为高原训练生理生化机理研究奠定了基础,同时也为高原训

练在竞技体育的实践运用中能够发挥更大的作用提供了理论基础，为广大体育教练员、科研人员等体育工作者的高原训练研究提供一定的参考。由于本人水平有限，研究中不乏存在缺陷和不足，敬请谅解！

作者对西南交通大学交通运输学院蒋朝哲博士，云南师范大学刘坚教授、康连教授等给予的指导以及刘水庆、李刚、杨杰、武培珍的帮助致以衷心的感谢，同时，还要感谢西南交通大学博士创新基金给予的资助以及西南交通大学出版社的热心支持和帮助。

袁际学

2010年1月于昆明

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 问题的提出	1
1.1.1 高原训练研究现状	1
1.1.2 高原训练生理生化研究中的指标	4
第 2 章 高原训练的概述	5
2.1 高原训练的界定	5
2.2 进行高原训练的特点及必要性	6
2.2.1 高原训练的特点	6
2.2.2 进行高原训练的必要性	7
2.3 高原训练的分类	8
2.3.1 以参加比赛的时间划分	8
2.3.2 以高原训练的海拔高度划分	9
2.3.3 以运动员居住地及比赛地点高度划分	10
2.4 高原训练的理论基础	10
2.5 高原训练的方法	11
第 3 章 高原训练的生理生化指标研究	16
3.1 循环系统的生理生化指标研究	16
3.1.1 循环系统概述	16
3.1.2 循环系统的生理生化指标研究现状	17
3.2 运动系统的生理生化指标研究	42
3.2.1 骨与骨连接	43
3.2.2 骨骼肌的生理生化指标研究	43

3.3 排泄系统的生理生化指标研究	50
3.3.1 尿蛋白 (PRO)	50
3.3.2 尿潜血 (BLD)	51
3.3.3 尿胆原 (URO)	52
3.3.4 尿酮体	53
3.4 免疫系统的生理生化指标研究	53
3.5 内分泌系统的生理生化指标研究	55
3.5.1 皮质醇	55
3.5.2 甲状腺激素	56
3.5.3 睾 酮	56
3.6 神经系统的生理生化指标研究	57
3.6.1 高原对大脑能量代谢的影响	58
3.6.2 超氧化歧化物 (SOD)	58
3.6.3 高原训练对脑功能的影响	58
3.7 呼吸系统的生理生化指标研究	59
3.7.1 肺通气量与肺活量	59
3.7.2 最大摄氧量	60
3.7.3 缺氧通气反应	61
3.7.4 血 气	62
3.8 物质代谢与能量代谢的生理生化指标研究	63
3.8.1 物质代谢	63
3.8.2 能量代谢	64
第 4 章 田径运动高原训练的实践研究	74
4.1 中长跑、马拉松	75
4.1.1 中长跑、马拉松的项目特点	75
4.1.2 高原训练对中长跑、马拉松运动员生理机能的影响	75
4.1.3 生理生化指标的应用	82
4.1.4 中长跑、马拉松高原训练的实践	84

4.2 竞走运动高原训练的实践研究	86
4.2.1 竞走运动的项目特点	86
4.2.2 高原训练对竞走运动员生理机能的影响	87
4.2.3 生理生化指标的运用	89
4.2.4 竞走运动高原训练的实践	90
4.3 短跑运动员的高原训练	92
4.3.1 高原训练对短跑运动员生理生化的影响	93
4.3.2 短跑运动员高原训练实践	93
第5章 球类项目高原训练的实践研究	94
5.1 足 球	94
5.1.1 足球运动的特点	94
5.1.2 高原训练对足球运动员生理机能的影响	95
5.1.3 生理生化指标的应用	96
5.1.4 足球运动员高原训练实践探索	97
5.2 其他球类	98
第6章 其他竞技项目高原训练的实践研究	100
6.1 摔跤、柔道	100
6.1.1 摔跤、柔道的专项特点	100
6.1.2 高原训练对摔跤、柔道运动员生理机能的影响	100
6.1.3 生理生化指标的应用	102
6.1.4 摔跤、柔道项目高原训练的实践	103
6.2 跆拳道	103
6.2.1 跆拳道项目的专项特点	103
6.2.2 高原训练对跆拳道运动员生理机能的影响	104
6.2.3 生理生化指标的应用	104
6.2.4 跆拳道项目高原训练的实践	105
6.3 皮划艇	106

6.3.1	皮划艇项目的特点	106
6.3.2	高原训练对皮划艇运动员生理机能的影响	106
6.3.3	生理生化指标的应用	107
6.3.4	皮划艇项目在高原训练的实践	109
6.4	游 泳	110
6.4.1	游泳项目的专项特点	110
6.4.2	高原训练对游泳运动员生理机能的影响	110
6.4.3	生理生化指标的应用	110
6.4.4	游泳高原训练的实践研究	113
6.5	自 行 车	113
6.5.1	自行车的专项特点	113
6.5.2	高原训练对自行车运动员生理机能的影响	114
6.5.3	主要指标的应用	115
6.5.4	自行车高原训练的实践	116
6.6	速 滑	117
6.6.1	速滑运动的专项特点	117
6.6.2	高原训练对速滑运动员生理机能的影响	117
6.6.3	主要指标的应用	118
6.6.4	速滑运动高原训练的实践	118
第 7 章	高原训练中生理生化指标的实证研究	123
7.1	有关实证研究问题的提出	123
7.1.1	选题依据	123
7.1.2	选题意义	124
7.1.3	文献综述	124
7.2	研究对象与研究方法	140
7.2.1	研究对象	140
7.2.2	研究方法	141
7.3	实验结果	143

7.4 结论分析	148
7.4.1 心率的分析讨论	148
7.4.2 血清肌酸激酶的分析讨论	157
7.4.3 血清乳酸脱氢酶的分析讨论	166
7.4.4 血清天门冬氨酸转氨酶的分析讨论	174
7.4.5 血液有形成分的分析讨论	180
7.4.6 心率、血清酶活性和血液有形成分等指标在 运动训练中的运用现状	187
7.5 实证研究的结论及建议	188

第 1 章

绪 论

1.1 问题的提出

1.1.1 高原训练研究现状

观察国内外高原训练 50 多年的发展史,高原训练从起步到逐步被认可经历了一段曲折的发展过程。在这段过程中,很多学者、教练和运动员付出了巨大的努力,作出了许多突出的贡献:冯连世对高原训练的历史进行了系统的研究,把高原训练的发展过程划分为三个阶段:第一阶段是高原训练发展的基础阶段(20 世纪 50 年代至 60 年代末)。该阶段人们思考高原训练的理论依据、初步试验高原训练的方法、分析高原训练的效果及高原环境因素之间的关系以及生理机能变化和比赛成绩之间的关系,并且高原训练逐渐从被动适应向主动改变转化,形成了高原训练发展的基础阶段。第二阶段是发展和完善阶段(20 世纪 70 年代至 80 年代中期)。该阶段人们普遍重视高原训练,获得了系列高原训练的经验和教训,引起众多的学者、专家和教练探索和思考高原训练的海拔高度选择、训练负荷控制、持续时间以及高原训练的生物学适

应、训练中的营养、恢复等问题，总结了高原训练中存在的问题和部分规律。当然，此阶段高原训练也出现了较多的失败案例，因此，这一时期人们对高原训练产生了极大的争议。第三阶段是迅速发展阶段（20 世纪 80 年代末至今）。该阶段人们进一步重视和完善了高原训练的实践经验和基础理论，高原训练得到了科学化发展和提高，以及不断创新的训练方法，譬如，模拟高原低氧环境的训练方法。与此同时，高原训练的研究和交流日益频繁，通过查阅国内外相关文献资料，可以发现研究论文和著作的数量在增加，水平在大幅度提高。

通过查阅国内外有关高原训练文献，认真分析和总结众多研究结论，高原训练研究的热点主要集中于以下几个方面：① 高原训练能否加大训练和提高比赛成绩。这是实施高原训练方法以来一直备受争论的焦点问题。② 高原训练的最适高度。由于高原训练的运动项目不同、训练目的不同、运动员个体差异等多因素的影响，对于高原训练最适高度的认识还存在很大的分歧，没有一个固定的标准。从实践来看，可以发现高原训练发展的第一阶段的选择范围幅度较大（1 000~4 000 m），到第二阶段海拔高度的选择有所保留（1 500~2 000 m），至第三阶段海拔高度的选择有升高的趋势（2 000~2 700 m）。到目前为止，高原训练海拔高度的选择一般为 1 500~2 500 m。然而，因为，高原运动员居住的海拔高度不一，所以选择最佳海拔高度训练也不一样，有待更多的研究和实践。③ 高原训练的负荷控制。这是决定高原训练成败的关键因素。负荷太低，刺激不足，难以起到作用；负荷太高，刺激过强，不利于适应和恢复。④ 高原训练的持续时间。传统观点认为高原训练的持续时间是 2~3 周，变化不定，最近有学者认为，高原训练最适宜的持续时间为 4~6 周。当然，高原训练的持续时间主要还是由高原训练的目的、个体差异等多种因素而定。⑤ 下高原到平原参赛的最佳时间。它是影响比赛成绩和高原训练效果的另一重要因素，根据氧债高峰—机能高峰—竞技高峰理论，

多数学者普遍认为长跑、马拉松等长距离耐力项目的下高原到平原参赛的最佳时间为4~5天,中长距离项目为10~14天,短距离项目20~26天,这样有利于下高原到平原后强化速度训练。

伴随高原训练研究的逐渐增多,国内高原训练研究也有了一定的发展。雷慧对我国高原训练进行了详细的综述,统计了国内高原训练在不同时期所发表的文章,根据发表文章的数量把国内的高原训练分为萌芽期、复苏期和发展期。具体来说,萌芽期为20世纪60年代前期,发表相关高原训练论文共计7篇,主要是与生理生化相关和理论性的学术论文。复苏期为20世纪70年代中期至80年代初,发表相关高原训练论文共计38篇。在前期基础上,增加了训练和医务监督方面的论文。发展期为20世纪80年代中期至今,发表相关高原训练的学术论文共计444篇,研究内容进一步扩展到营养与药物等方面。

从认识规律上看,对事物的认识总是从简单到复杂、从表面现象到事物本质的过程,对高原训练的认识也是这样。由于高原训练的发展不过几十年的历史,人们对它的认识较为肤浅,而不同的人对高原训练的理论研究和实践在认识上也有差别,因此,关于高原训练还将存在很多、很大的分歧,这是认识任何事物的过程中都不可避免的,也是非常必要的。但是,随着对事物本质认识的加深,人们的观点必将趋向一致。尽管国内外学者在高原训练上已经取得了很大的成就,然而纵观高原训练的研究,其还有很多的不足,这些不足将是以后高原训练研究的发展趋势:第一,由于高原训练研究的特殊情况,一些学者在研究高原训练时没有设置对照组(设置对照组将是以后高原训练研究的发展趋势)。因为没有严格的对照研究,对高原训练的好坏根本无法判断,研究缺乏科学性。第二,忽视了高原训练时人体及其运动的复杂性。我们不能把高原训练时运动员所表现的优劣仅从单个因素来考虑,人体及其运动状态是一个复杂的系统,在研究过程中应该拓展思路,认识到高原训练是受很多因素影响的,譬如海拔高度、

进出时机、训练手段、负荷性质、恢复手段、组织方式等。第三,模拟高原环境低氧训练的不足。实践中,众多学者不断地探索自然高原环境训练和模拟高原环境低氧训练的结合,以期取长补短,提高运动竞赛水平和成绩。第四,对于高原训练的研究缺乏科学合理的指标筛选。在2009年中国—多巴国际高原训练与健康论坛上,国内外部分专家、学者认为研究高原训练指标的科学筛选是目前高原训练中的一个关键问题。

1.1.2 高原训练生理生化研究中的指标

高原训练生理生化研究方法中,实验法是其中的重要方法之一。但是实验指标如何选取,在传统的生理生化指标选取方法上,常常采用定性选取指标的办法。所谓定性选取指标法是指利用以往获得的理论和经验基础,依据一定的逻辑推理过程,最终确定某些指标作为研究某个问题的评判尺度。该研究方法在一定程度上能够起到较好的效果,譬如,能够节约时间,在整体上具有一定的控制能力。不足之处在于缺乏准确性和科学研究的有效程度,具有较强的主观性。相对于定性方法选取高原训练的生理生化指标来说,实践中,也可以采用定量选取指标法。例如,体育统计学中可以利用聚类分析和因子分析等方法,获得各个因子的相关度和权重,并取相关度和权重高者应用于某些问题的研究上,甚至还可以结合其他学科方法进行定量选取指标。这些都有待今后进一步研究。

因此,鉴于高原训练研究中的一些不足和可能的发展趋势,本书对目前高原训练研究中的部分生理生化指标进行了整理和归纳。结合定量和定性方法,选取其中部分指标进行实证研究,探索其中部分生理生化变化规律,有利于高原训练生理生化机理研究。

第2章

高原训练的概述

2.1 高原训练的界定

作为一种训练方法,高原训练已经有近半个多世纪的历史了,相关研究认为高原训练是作为提高运动员竞技能力的一种训练手段。高原训练的应用始于20世纪50年代。1968年第19届奥林匹克运动会在海拔高度为2300 m左右的高原城市墨西哥城举行,在此届奥运会上非洲高原的运动员因为自身所处的生存环境就在高原,他们的训练也在高原上进行,生理和身体已经适应了高原环境,所以他们在比赛中取得了非常好的运动成绩,并受到其他国家运动队的高度关注。此后,高原成了世界各国体育界中长跑、马拉松、竞走等耐力项目训练的重要场所之一,并且逐渐引起世界各国体育教练员、专家、学者等的高度关注。

认识和了解高原训练,应该谈一谈高原及高原环境,因为它们是高原训练的基础。专家和学者们一般把海拔高度在1000 m以上,面积广大,地形开阔,周边以明显的陡坡为界,比较完整的大面积隆起地区称为高原。高原与平原的主要区别是海拔较高,它以完整的大面积隆起区别于山地。高原素有大地舞台之称,

它是在长期连续的大面积的地壳抬升运动中形成的,高原以其独特的地形地貌形成了独特的环境,我们在这里把它称为高原环境。高原环境的特点是低压、低氧、寒冷、日照时间长、昼夜温差大等,其中对机体影响最大的是氧分压较低造成的低氧因素。

关于高原训练的概念,很多学者进行过诠释。我们比较赞同的是:高原训练是有目的、有计划地将运动员组织到海拔高度在1 000 m 以上的大面积隆起地区进行定期专项运动训练的方法。其主要功能是人体在高原低气压的缺氧环境下训练,利用高原缺氧和运动负荷的双重刺激,通过高原训练刺激肾脏的一些细胞分泌促红细胞生成素(EPO),提升造血系统的能力,促使血液中红细胞数目增加、血红蛋白总量增加,发展有氧代谢能力或有氧耐力,增强机体缺氧状态下的工作能力,提高缺氧代谢能力,改善骨骼肌红蛋白的浓度和质量,提高肌肉工作耐力以及机体抵御疲劳的工作能力,发展适合高原比赛环境中的竞技能力,使运动员产生强烈的应激反应,以调动体内的机能潜力,从而产生一系列有利于提高运动能力的抗缺氧生理反应。高原训练法是指利用高原地带空气内氧含量较少的自然环境,旨在使运动员产生生理生化等方面的代偿反应,使运动员适应低氧环境,主要发展训练者耐力所采用的方法。现在高原训练得到了各国体育界的高度重视,成为当前竞技体育高水平运动员提高竞技能力的重要途径之一。

2.2 进行高原训练的特点及必要性

2.2.1 高原训练的特点

高原训练之所以是高原训练,是有自己的特点的。任何事物的特点都是相对于别的事物来说的,因此要认识高原训练的特点,也是相对于平原训练来说的。经过系统的综述研究,高原训练有

以下特点：高原训练的海拔高度一般在 1 800~3 000 m；高原训练通常安排在赛前的一个阶段，为训练周期的最后一个高峰；高原训练是本训练周期的一个重要环节，训练内容必须承上启下；高原训练开始和结束时间不是随意安排的，而是要根据比赛的时间、项目、地点等因素来决定的；与平原训练相比，高原训练的训练过程是有具体时间限制的，一般为 14~40 天；与平原运动员训练的方法一样，高原训练的方法一般也有重复、持续、变换、循环等四种训练方法，但是各种训练方法在某些细节上（如负荷大小、各种训练方法应用的顺序和比例等）与平原训练有一定的差异性；高原训练的运动负荷一般适合强度适中、量度变换组合的负荷安排，当然在现代高原训练实践中也有专家、学者提出高原训练的负荷安排“平原化”，从而适应日益提高的竞技体育比赛的竞争水平。高原训练的特殊环境会对运动员的身体产生双重刺激，因此时间短，强度相对偏大。

2.2.2 进行高原训练的必要性

目前，对于高原训练是否具有预定的训练效果还没有定论，但大部分专家认为高原训练还是有很大的必要性。专家提供的研究表明，科学化的高原训练的确是有益于提高运动员成绩的，高原训练确实能在短时间内迅速提高运动员的竞技水平和能力，使运动员在大赛前达到最佳状态，为大赛取得最佳成绩奠定基础。例如，中国女子中长跑以及游泳、足球、滑冰项目在高原训练中都曾获得成功，取得过优异的运动成绩。当然，一些专家对这一看法也提出了质疑，中国足球队在昆明海埂训练基地训练了数十年，至今的水平还是老样子，世界排名一直徘徊不前，并且 2008 年中国国家男子足球队在昆明训练后进行的几场比赛中也并没有占到多少便宜，因此这不得不让我们重新审视高原训练效果对不同