



北京体育大学
教授学术文库

低氧环境下高住低训 研究与应用

胡 扬 著

北京体育大学出版社



北京体育大学

BEIJING SPORT UNIVERSITY

教授学术文库

Professor Academic Library

低氧环境下高住低训 研究与应用

The Research and Application of Living High-training Low
in Hypoxic Environment

胡 扬 著

HuYang

北京体育大学出版社

策划编辑 李 飞 董英双
责任编辑 孙宇辉
审稿编辑 李 飞 董英双
责任校对 于 静 孙宇辉
版式设计 冯 唐
责任印制 陈 莎

图书在版编目(CIP)数据

低氧环境下高住低训研究与应用/胡扬著. - 北京:北京体育大学出版社,2013.8
ISBN 978-7-5644-1431-3

I. ①低… II. ①胡… III. ①高原训练-研究
IV. ①G808.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 209479 号

低氧环境下高住低训研究与应用 胡 扬 著

出 版 北京体育大学出版社
地 址 北京海淀区信息路 48 号
邮 编 100084
邮 购 部 北京体育大学出版社读者服务部 010-62989432
发 行 部 010-62989320
网 址 <http://cbs.bsu.edu.cn>
印 刷 北京昌联印刷有限公司
开 本 710×1000 毫米 1/16
印 张 17.25
字 数 280 千字

2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1-2000 册

定 价 50.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

北京体育大学教授学术文库 编委会

主 编：杨 桦

副 主 编：池 建 谢敏豪 刘大庆 胡 扬

编 委：（按姓氏笔画排序）

王卫星 王安利 田麦久 刘大庆

池 建 任 海 杨 桦 陆一帆

金季春 胡 扬 葛春林 谢敏豪

编写工作组：（按姓氏笔画排序）

王荣辉 孙宇辉 李 飞 刘 刚

阮云龙 朱 晗 姚 磊 徐翔鸿

董英双 蔡有志

序

北京体育大学自1953年成立以来，已经走过了整整六十个年头。

波澜壮阔一甲子，栉风沐雨六十年。回望六十年的发展历程，犹如打开一幅生动而斑斓的历史画卷，令人不禁感慨万分！

六十年来，一代又一代北体人肩负着振兴中华民族的历史使命，秉承着对国家体育和高等教育事业的热爱和忠诚，艰苦奋斗、无私奉献、追求卓越，积极践行并彰显北京体育大学在人才培养、科学研究、服务社会、文化传承方面的功能与使命，为国家培养了大批享誉国内外的优秀人才，为中国体育事业、高等教育事业和奥林匹克运动，以及经济社会的发展做出了突出贡献。特别是进入新世纪以来，学校抢抓机遇、勇于实践，进一步解放思想、开拓创新，以建设世界一流体育大学为目标，全面落实教育部“本科教学质量工程”和“研究生教育创新计划”，坚持走质量提升为核心的内涵式发展道路，实现了超常规、跨越式发展，产生了国家科技进步奖等一批标志性成果，成为我国体育科学研究的重要基地和科技创新人才培养基地，社会影响和声望得到了前所未有的提升。

习近平总书记最近在会见参加全国群众体育先进单位和先进个人表彰会、全国体育系统先进集体和先进工作者表彰会代表时提出，要广泛开展全民健身运动，促进群众体育和竞技体育全面发展。作为新中国成立后的全国首批重点院校和国家“211工程”重点建设院校，北京体育大学应积极响应党中央的号召，面向体育事业主战场和发展战略需求，洞悉学科发展规律，围绕科学前沿和现实需求，充分发挥教育、训练、科研“三结合”的办学优势，紧密结合科技第一生产力和人才第一资源，以科学研究与学科建设引领理论、技术和方法创新，以科教结合提升人才培养质量促进群众体育、竞技体育、体育产业和体育科技全面、协调发

展，推动我国由体育大国向体育强国迈进。

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》和《教育部高等学校学术委员会规程》明确指出，高等学校要充分发挥学术委员会在学科建设、学术评价和科学研究发展上的重要作用，落实“教授治学”的理念，将教授们在学术上的能力和水平应用到教育教学、科学研究和学校管理工作中。值此六十周年校庆之际，经学校学术委员会审议，决定出版《北京体育大学教授学术文库》，旨在展示学校的办学成果，以学术品牌占领国内学术制高点，扩大国际学术影响力，推进学校的学术创新及成果转化，带动师资队伍的培养和发展，成为具有中国风格、中国特色的体育科学研究重要基地和科技创新人才培养基地，并逐步形成独具特色的北体学派。

真切希望《北京体育大学教授学术文库》能成为广大师生、教练员、运动员、科研人员及体育管理人员掌握学科发展规律、了解体育科技前沿、开展科技创新的方法论和思想库，为我国体育科学的发展和繁荣增砖添瓦，为建设体育强国、实现中国梦做出应有的贡献！

北京体育大学党委书记、校长
北京体育大学学术委员会主任



出版 说明

为进一步提高学科建设水平,宣传推广科研成果,扩大社会影响,学校决定在总结 60 年办学经验的基础上出版《北京体育大学教授学术文库》。

《北京体育大学教授学术文库》是北京体育大学教授在体育人文社会学、体育教育训练学、运动人体科学、民族传统体育学等领域潜心研究、笔耕不辍的重要学术成果,蕴藏着丰富的思想财富,具有很高的学术和实践价值,反映了学校承载教育兴邦的神圣使命,彰显了学校教育、训练、科研“三结合”的办学理念与成就。

《北京体育大学教授学术文库》从 2012 年 6 月开始在全校教授中征集,2013 年 3 月~7 月经过学术委员会委员与学科专家的两轮评议、校长会议审批,最终确定第一批 10 本著作予以出版。

田麦久著《项群训练理论的创立与发展 1983-2013》,回顾了项群训练理论的构思与创立过程,阐述了项群训练理论的体系构架与应用,展望了项群训练理论向项群理论的拓展前景。

金季春著《体育与运动科学探索》,论述了体育和运动科学学科建设与发展,分析和论证了体育工程及相关学科领域的新认识。

任海著《国际奥委会演进的历史逻辑——从自治到善治》,论述了国际体

育组织治理上涉及的多种矛盾关系，如大众体育的底层与精英体育的顶层间的矛盾关系，项目联合会、国家奥委会之间的矛盾关系，行政、司法等机构的权力矛盾关系，商业组织的利益矛盾关系等，认为未来的国际体育秩序不会按照任何一方的设计构建，而只能在大大小小矛盾关系的综合作用中发展。

池建著《大型体育赛事与首都城市竞争力》，分析了大型体育赛事对北京政治、经济、文化以及体育等领域的影响方式和影响程度，提出了今后北京申办、举办大型体育赛事的思路与建议。

王卫星著《高水平运动员体能训练的新方法》，将体能训练理论与专项训练实践紧密结合，在传统训练体系与方法的基础上，针对不同项目的运动特征、训练特点和我国优秀运动员体能训练理论与实践需求，提出了解决方法和评价标准。

葛春林著《优秀排球运动员运动能力的研究》，以排球运动员竞技运动能力形成阶段和训练特点为基础，将近年来国内外排球训练理论与我国排球运动训练实践相结合，阐释了排球训练手段与方法。

王安利著《运动损伤预防的功能训练》，提出将康复功能训练融入日常运动训练中的观点，提倡通过合理的功能训练，纠正运动链上的薄弱环节和肌肉的不平衡，使人体的结构更合理，功能更完善。

刘大庆著《运动训练学研究进展与理论探蹊》，对运动训练理论的创立与发展、竞技体育发展战略、运动训练的科学安排、竞技能力等进行了论述。

胡扬著《低氧环境下高住低训研究与应用》，通过研究团队的大量实验数据阐明了低氧环境下高住低训提高运动员体能的有效性、适应规律、机理等，

提出了一些训练监控及疲劳消除的新指标、新方法。

陆一帆著《游泳训练理论创新与实践》，阐释了游泳运动的基本生物学特征，分析了游泳运动员个性化训练特征和身体特征，强调了运动员科学选材的重要性。

今后，学校将继续按照“突出重点、打造精品”的思路，资助出版教授们的基础性、前瞻性和战略性学术著作，使学术文库建设常态化，使之成为学校科研成果展示、交流与转化的平台。

期望《北京体育大学教授学术文库》的出版，能为学校 60 周年庆典增添华彩，也让广大读者从中领略和感知北京体育大学浓郁的学术氛围和前瞻性的科研成果。当然，学术文库中的一些观点和方法难免存在不足之处，还有待于今后进一步完善。科技处、出版社等部门及编写工作组全体成员全力以赴，确保了出版工作的顺利完成。我们希冀学术文库的出版能激发更多的北体人戮力同心，推动学校学术的进一步繁荣和发展！

摘要

高住低训 (living high—training low, HiLo) 是美国学者 Levine 教授于 1991 年提出来的一种改进型高原训练方法, 即让运动员居住在高原 (living high), 训练在平原或海拔较低的地方 (training low)。从理论上讲, 用这种训练方法可以缓解传统高原训练中的一些不足, 如肌肉因长期缺氧造成的萎缩, $\dot{V}O_{2\max}$ 下降造成的训练强度降低, 以及过度训练的易发生等等, 并且实践也证明这是一种较好的高原训练模式。

然而, 利用自然环境进行 HiLo 不仅适合的地理环境难寻, 也无法根据个体的低氧适应能力选择训练的海拔高度。人工低氧环境 (简称低氧环境) 为运动员根据个体的低氧适应能力在模拟高原环境中进行 HiLo 提供了可能。北京体育大学在国家体育总局的支持下, 从 2002 年起建立了低氧训练实验室, 先后承担了国家自然科学基金“运动员间歇性低氧训练个体适应能力预测指标的研究”及“高住低训中红细胞免疫功能的变化及其分子机理的研究”、科技部“提高耐力性项目运动员高住低训应用效果的研究”、国家体育总局“高住低训提高我国优秀长跑运动员运动能力的研究”、教育部回国人员启动基金“间隙性低氧暴露提高我国优秀耐力运动员有氧能力的研究”等课题, 从低氧环境下运动员 HiLo 的有效性、适应规律、提高体能的机理、机能恢复、

训练监控等方面进行了系统研究，提出了“高住高练低训（living high - exercise high - training low, HiHiLo）”的低氧训练新模式，并应用于我国运动员备战奥运会及其他赛事，取得了满意效果。科研团队“利用人工低氧环境进行运动员高住低训的研究与应用”获得了中国体育科学学会 2010 年科学技术一等奖。本书是北京体育大学低氧训练研究团队的成果总结，为各位同仁提供参考，并请大家批评指导。

Abstract

Living high-training low (HiLo) improved from the traditional altitude training, which was firstly described by Dr. Benjamin Levine, an American scholar in 1991. HiLo consists of living in high altitude and training in sea level or lower altitude. In theory, HiLo is able to help avoid some disadvantages of traditional altitude training, such as hypoxia induced muscle atrophy, exercise intensity decline and over training, etc. HiLo has been accepted as an effective altitude training method in practice.

It is difficult, however, to find the natural place for HiLo, and to carry out the personalized HiLo by using natural environment because of the individual adaptive capacity to hypoxia. The artificial hypoxic environment provides the possibility of individualized HiLo. Beijing Sport University established the Hypoxia Training Laboratory (HTL) in 2002, under the support of General Administration of Sport of China (GAS). Up to now, HTL has finished the projects from Natural Science Foundation of China "Prediction Indices of Individual Adaptation to Intermittent Hypoxic Training in Athletes", "Red Blood Cell Immune Function Changes and the Molecular Mechanisms during HiLo"; the project from China Ministry of Science and Technology "Improving HiLo Application Effects for Endurance Athletes"; the project from GAS "Effects of HiLo on the Performance

of Elite Chinese Long Distance Runners” ; the project from China Ministry of Education “Effects of Intermittent Hypoxia on Aerobic Capacity in Chinese Elite Endurance Athletes” , and systematically investigated the efficacy, adaptation principles, mechanisms, recovery and training monitoring of HiLo. Based on the studies, HTL put forward a new training modality, living high-exercise high-training low (HiHiLo) , and used it for Chinese elite athletes to prepare for the Olympic Games and other events, and got good results. HTL research team got the First Prize of Science and Technology Award from China Sport Science Society in 2010. The book was the summary of our research work. Please point out the mistakes and commends.

目录

第一章 低氧环境下高住低训的发展	1
第一节 高原训练之利弊	2
第二节 高住低训的提出	4
第三节 低氧环境下的高住低训	6
第四节 高住低训的新发展	11
第二章 低氧环境下高住低训的有效性	14
第一节 国家女子长跑队应用案例	15
一、国家女子长跑队赛前应用案例	15
二、国家女子长跑队高原训练后应用案例	19
第二节 优秀男子中跑运动员应用案例	23
第三节 国家青年女子跆拳道队应用案例	27
一、模拟海拔 2500m 的高住低训	27
二、模拟海拔 2800m 的高住低训	31

第四节	江苏省男子现代五项队应用案例	34
第五节	国家男子橄榄球队应用案例.....	37
第六节	总结与思考	42
	一、高住低训提高血象指标的效果受多种因素制约	43
	二、高住低训提高 $\dot{V}O_{2max}$ 效果的不一致性	45
	三、高住低训可以提高运动员的运动能力储备	46
第三章	低氧环境下高住低训的适应规律.....	47
第一节	血象指标的变化规律	48
第二节	脑血流的变化规律	53
第三节	微循环的变化规律	57
第四节	免疫功能的变化规律	65
	一、高住低训对白细胞计数的影响	65
	二、急性低氧运动对白细胞凋亡的影响	68
第五节	铁代谢的变化规律	70
	一、高住低训对铁代谢的影响	71
	二、高住低训对网织红细胞血红蛋白的影响	75
第六节	总结与思考	80
	一、高住低训对血象指标的影响有其自身规律	80
	二、高住低训实施过程中是否补铁需谨慎	81
第四章	低氧环境下高住低训提高体能的机理	84
第一节	血液运氧能力	85

一、高住低训对血象指标的影响	85
二、高住低训对网织红细胞的影响	88
第二节 红细胞载氧能力	89
第三节 红细胞释放氧能力	97
第四节 血液酸碱缓冲能力	99
第五节 血液流变性	107
第六节 心功能	110
一、急性低氧运动对心功能的影响	111
二、高住低训对心功能的影响	114
三、高住低训对心肌功能的影响	127
第七节 血管功能	129
第八节 骨骼肌利用氧能力	134
第九节 总结与思考	136
一、训练安排很重要	137
二、低氧运动即可提高心功能	140
三、抗氧化剂补充可考虑	146
第五章 低氧环境下高住低训时的机能恢复	148
第一节 运动后低氧暴露对脑电图的影响	149
第二节 运动员主观疲劳状况	155
第三节 红细胞免疫功能低下	157
一、急性低氧对红细胞免疫功能的影响	157

二、高住低训前后低氧运动对红细胞免疫功能的影响	159
三、高住低训对 RBC - CD ₃₅ 的影响	161
四、高住低训对 RBC - CD ₅₈ 、CD ₅₉ 和 T 淋巴细胞 CD ₂ 表达的影响 ...	165
第四节 运动后低氧暴露对血液流变学及红细胞形态的影响	167
第五节 运动后低氧暴露对体内自由基代谢的影响	173
第六节 总结与思考	174
一、富氧吸入与运动疲劳消除	174
二、电解质饮料与运动疲劳消除	178
三、灵芝与红细胞免疫功能	184
四、低氧训练模式与红细胞免疫功能	190
第六章 低氧环境下高住低训监控指标	194
第一节 低氧训练强度监控指标	195
一、血氧饱和度	195
二、心 率	200
三、血乳酸	204
第二节 低氧训练效果预测指标	207
一、血氧饱和度	207
二、网织红细胞	209
第三节 总结与思考	215
一、低氧环境下 $\dot{V}O_{2max}$ 下降是改变运动强度评价方法与标准的原因	215