



# 国内低氧训练研究现状的可视化分析

李志刚<sup>1</sup>, 林文弢<sup>2\*</sup>

**摘要:** 为了深入分析国内低氧训练研究的现状,运用 CiteSpace III 和 CNKI 的可视化功能对近 20 年来发表在国内体育核心期刊上有关低氧训练的文献进行计量学统计和可视化分析。结果表明,总体研究趋势以 2008 年为顶点呈正态分布,国内形成了凸显的科研力量。研究的热点主题包括低氧训练方式的多样化,低氧训练的监控,提高运动员的有氧和无氧能力,对机体的免疫力、认知功能的影响,在控重减肥中的应用,低氧训练干预下的氧化应激和细胞凋亡情况,低氧训练服用与基因多态性的关系,低氧训练对机体作用的分子机理的探讨等方面。新的低氧训练方式的应用、低氧训练的健康促进功能、低氧训练的分子机理的探讨和学科交叉成为今后的研究趋势。

**关键词:** 低氧训练;知识图谱;可视化;训练方式;研究热点;发展趋势

中图分类号:G804.5 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2018)01-0056-10

DOI:10.12064/ssr.20180107

## Visualization Analysis of the Current Situation of Hypoxia Training in China

LI Zhigang<sup>1</sup>, LIN Wentao<sup>2</sup>

(1.Baise university, Baise 533000, China; 2.Guangzhou Sport University, Guangzhou 510500, China)

**Abstract:** In order to analyze the current situation of the domestic hypoxia training research, the visualization function of CiteSpace III and CNKI is used for the visualization analysis of the literature on hypoxia training, which has been published in the domestic core sports journals in the past 20 years. The result shows that the overall research trend, with 2008 as the vertex, presents normal distribution, and the prominent research force has been formed in China. The hot topics of the study include diversified hypoxia training methods, monitoring of hypoxia training, improvement of aerobic and anaerobic capacity of athletes, immunity of body, influence of cognitive function, application of hypoxia training to weight loss, situation of oxidative stress and cell apoptosis under hypoxic training, relationship between hypoxia training and gene polymorphism, molecular mechanism of hypoxia training on body, etc. Application of new hypoxia training methods, the function of health promotion of hypoxia training, molecular mechanism of hypoxia training and interdisciplinary research are bound to become the future research trend.

**Key Words:** hypoxia training; knowledge map; visualization; training method; research hot spot; development trend

广义的低氧训练包括自然高原训练和人工低氧训练。高原训练迄今主要应用于提高耐力运动员的运动成绩,高海拔低氧分压提高机体对氧气的摄取、运输和利用效率。而氧气分离器、低氧舱等设备的出

现极大地丰富了低氧训练的方式<sup>[1]</sup>。近年来,低氧训练在促进非运动员人群的身体健康方面的研究逐步增多,如用于改善代谢综合征患者的胰岛素抵抗水平。然而,低氧训练的使用一直存在争议<sup>[2]</sup>,一般认

收稿日期:2018-01-05

第一作者简介:李志刚,男,讲师,博士。主要研究方向:运动生物化学。E-mail:a515933587@163.com。

\* 通讯作者:林文弢,男,二级教授。主要研究方向:运动生物化学。E-mail:gtwlin@163.com。

作者单位:1.百色学院,广西百色 533000;2.广州体育学院,广东广州 510500。

为,低氧训练较常氧训练更能提高运动成绩,改善身体机能;而相反的观点主张,低氧训练只是暂时提高机体的载氧能力,这种能力会很快消失,低氧训练并不能有效提高运动员的身体机能。除此之外,低氧训练对机体造成的低氧损伤不容忽视。因此,利用知识图谱对低氧训练研究的核心论文进行知识图谱的可视化分析,总结梳理我国近20年来低氧训练的相关研究,从宏观、整体上把握该领域研究的脉络、现状和研究热点,有利于低氧训练的持续、稳定发展,为该领域进一步研究提供理论参考。

## 1 研究方法

### 1.1 文献资料法

以“低氧训练”“低氧运动”和“高原训练”主题词检索 CNKI 数据库,文献来源为体育类中文核心期刊和《中国运动医学杂志》共 17 本期刊,检索时间为 1996 年 1 月 1 日至今,将文献导入 Endnote,剔除征稿启事和专家介绍性文章后,共 613 篇文献。

### 1.2 可视化分析法

通过 CNKI 引文分析和 CiteSpaceIII 进行计量学和可视化分析,对研究的脉络、热点和前沿进行归纳。

## 2 研究结果及分析

### 2.1 发文年份分布

发文量的历时性变化在一定程度上反映了该研究主题的动态演进过程和受重视程度<sup>[3]</sup>。以高原训练为主题的文献知网收录的最早时间为 1973 年,但 20 世纪七八十年代的研究以译著外文期刊为主,到 1990 年以后,借助我国得天独厚的高原条件,自主开展的研究逐渐丰富、深入。由图 1 可知,最近 20 年的发文量呈现“中间高,两头低”的正态分布形态,1996 年到 2002 年,以低氧训练为主题研究的发文量呈逐年上升的趋势,得益于我国经济社会发展、体育科研力量的不断增强;2003 年至 2007 年出现爆发式增长,主要是因为 2008 年北京奥运会的举办、奥运攻关课题的实施、提高运动员竞技水平的迫切需求;2008 年至今,低氧训练相关论文的数量逐年降低,尤其是 2012 年伦敦奥运会后下降明显,可能是由于国内体育意识的转变,关注重心由竞技体育向大众体育的转换,训练手段研究受关注程度下降所致。

### 2.2 文献作者分析

在核心期刊上发表文章的数量,是衡量作者学

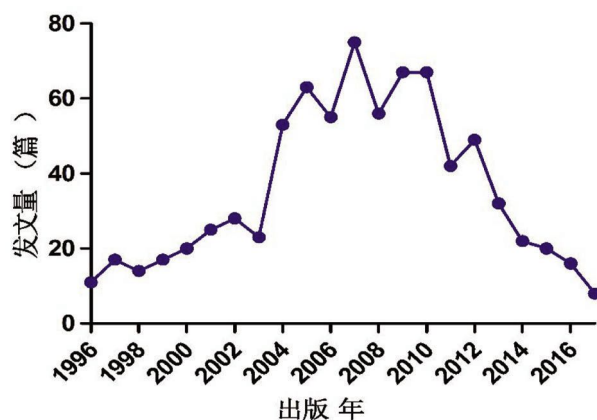


图 1 我国低氧训练发文数量年度分布

Figure 1 Annually Distribution of the Quantity of the Literature on Hypoxia Training in China

术水平高低的主要指标。因此,通过文献作者合作分析可以明确主题研究的主要科研力量,了解不同科研人员组成的研究团队。图 2 是利用 CiteSpaceIII 形成的作者共现图谱,其中圆点越大代表发文量越多,圆点之间的连线越多表示合作关系越密切。通过图 2 和表 1 分析发现,发文量排在前三位的是北京体育大学的胡扬教授、国家体育总局科学研究所的冯连世研究员和广州体育学院的林文毅教授。同时呈现了 6 个明显的研究团体,分别是:(1)以胡扬、王瑞元、曾凡星、张缨等为主的北京体育大学研究团体;(2)以冯连世、陆瑛丽、徐建方等为主的国家体育总局科学研究所研究团队;(3)以林文毅、翁锡全、徐国琴等为主的广州体育学院科研团队;(4)以高炳宏为主的上海体育科学研究所团队;(5)以郑澜、瞿树林等为主的湖南师范大学研究团队;(6)以雷志平、叶鸣等形成的合作团队。其中北京体育大学研究团队与国家体育总局科学研究所合作较密切,其他团队则基本各自为战。

### 2.3 研究机构分布

由表 1 和图 3 可以直观地发现,北京体育大学是国内研究低氧训练最主要的机构,其中心性最高,其它研究机构都存在合作关系。主要研究机构前十名中,有 5 所专业体育院校,可能与我国体育事业以体育院校为依托的发展思路有关。另外,以国家体育总局科研所、上海体育科学研究所为主要的体育科研机构与其服务的竞技项目和承担的科研项目密切相关,而青海体育科学研究所则是以青海多巴高原训练基地为依托,取得了可喜的研究成果。另外,湖南师范大学和扬州大学则是综合性院校中的低氧训练研究的翘楚。

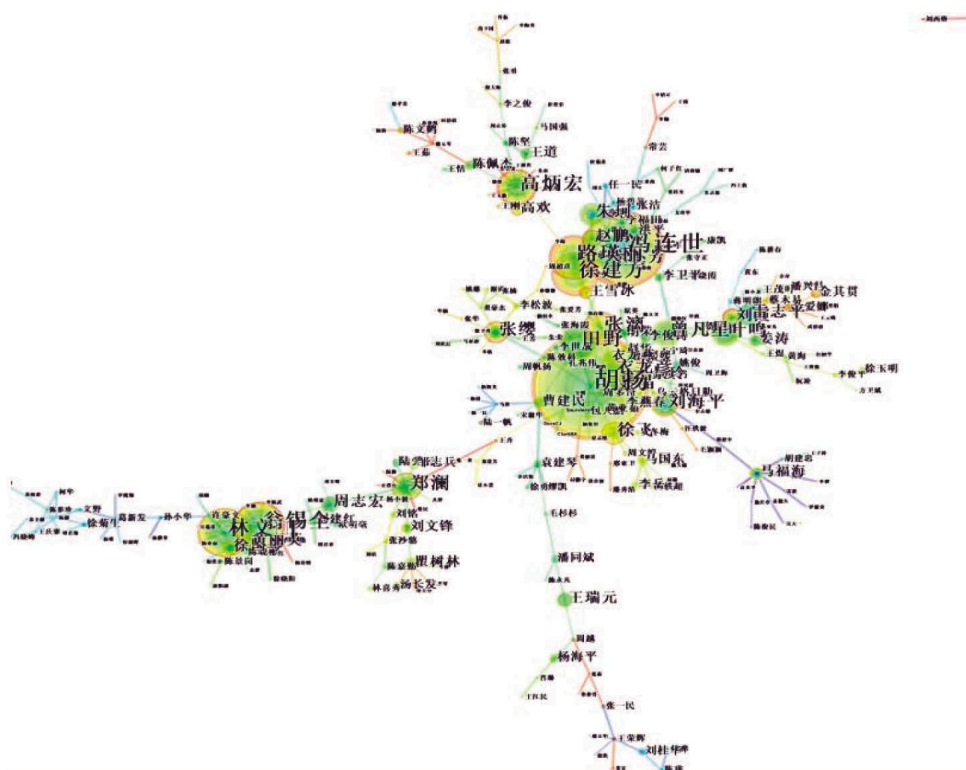


图 2 我国低氧训练文献作者分析图谱

Figure 2 Analysis Map of the Authors of the Literature on Hypoxia Training in China

表 1 我国低氧训练研究机构分布表

Table I Distribution of the Domestic Research Institutes of Hypoxia Training

序号	机构	文献数	百分比/%
1	北京体育大学	149	19.63
2	国家体育总局体育科学研究所	72	9.49
3	广州体育学院	45	5.93
4	上海体育学院	34	4.48
5	西安体育学院	33	4.35
6	湖南师范大学	33	4.35
7	上海体育科学研究所	25	3.29
8	武汉体育学院	21	2.77
9	青海省体育科学研究所	18	2.37
10	扬州大学	17	2.24

### 2.4 研究热点分析

将检索到的文献输入 CiteSpaceIII 进行关键词的聚类分析,得到图 4,将关键词进行合并后得到低氧训练主题研究主要的研究方向(表 2)。由此可见,研究的热点主要集中在不同的低氧训练方式的演变、低氧训练与运动员生理、生化机能监控,低氧训练对有氧和无氧能力的影响,低氧训练对机体的免疫力,心理和认知的影响,低氧训练在控重减肥中的应用,低氧训练对细胞氧化应激和凋亡的作用,低氧训练适应—习服与基因多态性等研究方向。

### 3 研究主题内容的探讨

根据表 2 中低氧训练领域的主要研究方向,结合高频关键词在 CNKI 数据库进行文献的二次检索,对主要研究方向的高被引和下载文献进行精读,高被引文献是构建一个研究主题的基础,在主题的演进过程中发挥着重要的作用,将研究方向的内容结合基础文献进行综述。

#### 3.1 低氧训练方式的多样化

自然条件下的高原训练主要应用于提高耐力运动员竞技水平,主要利用高海拔低氧刺激机体进行代偿性反应,提高机体运输氧气的能力、心脏的供血

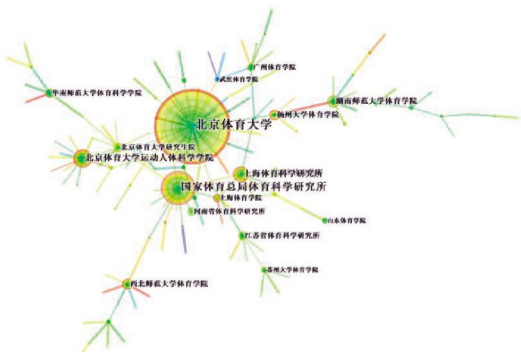


图 3 低氧训练研究机构知识图谱

Figure 3 Knowledge Map of the Research Institutes of Hypoxia Training

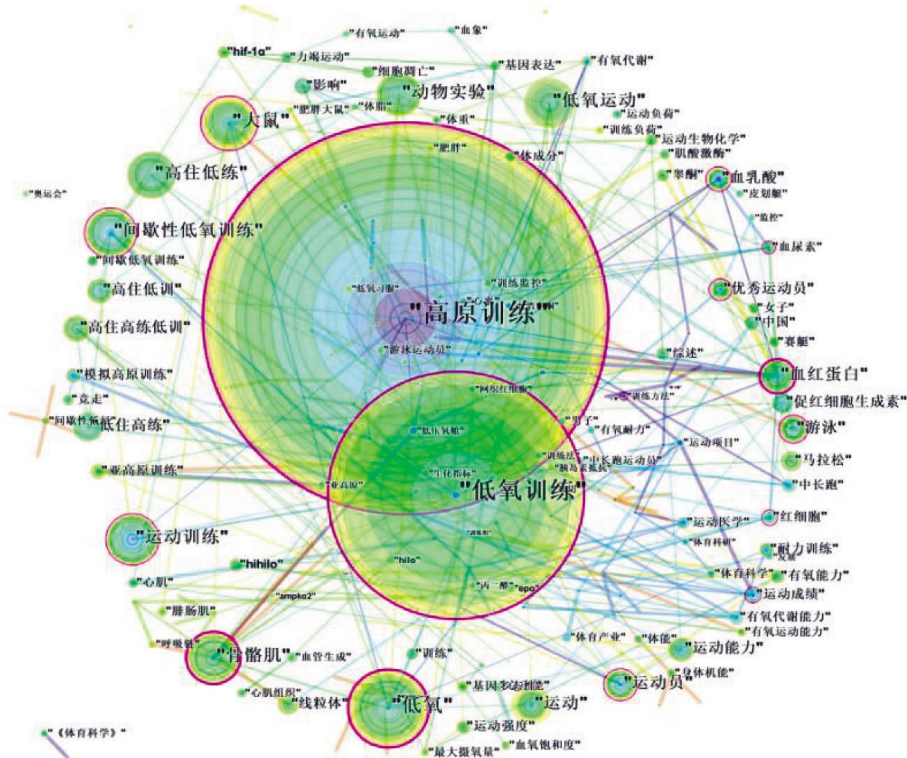


图 4 低氧训练关键词知识图谱

Figure 4 Knowledge Map of the Keywords of Hypoxia Training

表 2 低氧训练主题研究方向

Table II Research Direction of the Themes of Hypoxia Training

序号	研究方向	高频关键词
1	低氧训练方式的多样性	高原训练、低氧训练、低住高练、高住低训、HiHiLo、HiLo、间歇性低氧训练、模拟高原训练、亚高原训练、低氧运动、急性低氧训练、慢性低氧训练、低氧预适应、低氧重复冲刺训练
2	低氧训练与运动员生理、生化机能监控	运动员、运动能力、运动成绩、中长跑、马拉松、游泳、皮划艇、竞走、心率、乳酸、睾酮、血象
3	低氧训练与有氧代谢能力	红细胞、网织红细胞、血红蛋白、EPO、血管再生、VEGF、呼吸链、琥珀酸脱氢酶、苹果酸脱氢酶、有氧代谢酶
4	低氧训练与无氧代谢能力	糖酵解酶、乳酸脱氢酶、丙酮酸激酶、腓肠肌
5	低氧训练对免疫机能的影响	免疫功能、脾淋巴细胞、白细胞计数、体液免疫、T淋巴细胞亚群、CD38、肠道黏膜屏障
6	低氧训练对体重控制的作用	体成分、体重、肥胖、血脂、体脂、脂代谢、减体重、瘦素、PGC-1α、AMPK、UCP1
7	低氧训练与细胞凋亡的关系	低氧、低氧运动、细胞凋亡、骨骼肌、心肌细胞凋亡、肝细胞凋亡、HIF-1α、beclin 1、bcl2、bax、Desmin、骨架蛋白
8	低氧训练对心理、认知的影响	间歇性低氧、心理、认知、神经系统、抗缺氧、运动员
9	低氧训练与氧化应激	氧化应激、超氧化物歧化酶、线粒体、活性氧、GSH、Keap1-Nrf2-ARE、自由基
10	低氧训练适应-习服与基因多态性的关系	iNOS、eNOS、FPN1、EPAS1、ANP、基因多态性、低氧习服

能力、骨骼肌的代谢能力及最大摄氧量<sup>[2]</sup>。但是高海拔缺氧会造成最大摄氧量的下降，进而导致运动员无法保持与低海拔地区相同的训练负荷。LoHi (living low-training high) 与高原训练相似，也可以实现对运动员施加低氧环境的外部缺氧和运动负荷引起的内部缺氧双重刺激，有利于运动能力的提高，还能避免高原环境不利于运动疲劳恢复的缺点，但也存在运动负荷低的弊端<sup>[4]</sup>。而 HiLo (living high - training low) 的应用则较好地解决了运动员在高原训练中运动负荷无法保证、骨骼肌工作能力低下的问题，提高了骨骼肌机体运输 O<sub>2</sub> 和抗氧化能力<sup>[5]</sup>。然而，HiLo 缺乏运动时外环境低氧对心肺功能的强烈刺激。因此，HiLo 结合部分 LoHi 就形成了高住高练低训 (HiHiLo)，主要是让运动员居住在人工低氧环境，训练采用以常氧训练为主，低氧运动为辅的方式进行，兼顾了低氧的刺激与训练的强度。另外，间歇性低氧训练较高原训练能够解决训练负荷不足带来的影响且其缺氧间歇性方式较高原训练持续性的缺氧能够引起更加强烈的应激，且代偿恢复效果更明显。间歇性低氧训练的缺氧负荷量可根据不同的训练目的、不同训练个体进行调节，使训练计划更加系统和灵活<sup>[6]</sup>。随着运动训练的科学化和精细化，一些新的低氧训练的方式应用增多，如亚高原训练<sup>[7]</sup>、不同浓度的低氧交替训练、低氧预适应后的慢性、急性低氧



训练和低氧重复冲刺训练<sup>[8]</sup>等,兼顾有氧、无氧能力和力量训练的同时,降低低氧损伤,不仅用于提高运动员的运动能力,而且广泛地应用于促进非运动员人群身体健康。

### 3.2 低氧训练中运动员生理、生化机能的监控

低氧训练过程中要对运动员的生理、生化机能进行实时监控,评判训练效果和防止低氧损伤。国内研究的主要对象集中在中长跑、游泳、赛艇、皮、划艇、散打、柔道、跆拳道、自行车、短道速滑、羽毛球、篮球等项目。低氧训练中运动员身体机能指标的评定囊括了心肺功能指标、血象指标、血液生化指标、尿液生化指标和血液激素水平五大方面,各个指标包含多项子指标以及标准范围。低氧训练过程中判断运动员生理机能需要多项指标的综合评判,单一的指标可能出现误判,只有这样才能为科学合理的制定训练计划,提高运动员的竞技能力提供良好的反馈和保障<sup>[9]</sup>。

### 3.3 低氧训练对机体有氧工作能力的影响

低氧训练可以通过多方面提高机体的有氧工作能力。(1)低氧训练可以促进 EPO 的分泌,促使红细胞的生成增多,血红蛋白含量升高,提高氧运输能力。冯连世等在研究中发现,4 周的高原训练能够显著提高中长跑运动员的红细胞和血红蛋白的含量,高原训练 3 周内,EPO 呈持续回升状态,网织红细胞的变化与 EPO 基本一致<sup>[10,11]</sup>。模拟海拔 3 000 m 和 4 000 m 的氧气浓度能够显著提高雄性 SD 大鼠 E-Po mRNA 表达的升高。模拟高原训练组大鼠 2 000 m 组的 E-Po mRNA 升高,3 000 m 和 4 000 m 组的水平反而较平原组水平明显下降。由此可见,低氧暴露或低氧训练提高机体的 EPO 水平存在最适的氧气浓度。(2)心血管的泵血功能是限制有氧工作能力提高的重要因素,多项研究证实低氧训练可影响心血管系统的功能。低氧训练初期,会引起心率的升高、每搏量的下降,使心脏功能暂时降低<sup>[12]</sup>。而低氧训练后,左心室收缩功能增强,获得良好的心脏适应性,在某种程度上有利于心力储备功能的增强<sup>[13]</sup>。究其原因,低氧和运动交互效应叠加,可对心肌肌原纤维间线粒体的数量和体积产生一定影响,并通过线粒体体积密度的增高和线粒体内膜及嵴的表面密度的增大,提高有氧代谢能力<sup>[14]</sup>。低氧训练能显著增加心肌组织的血管生成,其中 HiHiLo 这一低氧训练模式对心肌组织微血管的生成效果最好<sup>[15]</sup>。间歇性低氧训练后的 ATP 含量、腺苷酸池总量以及腺苷酸(EC)

水平升高,维持能量代谢能力的效果显著<sup>[16]</sup>。(3)低氧训练影响机体有氧代谢关键酶的活性。健康雄性 SD 大鼠进行为期一周的低氧运动训练后,腓肠肌的 MDH(苹果酸脱氢酶)活性显著升高,以 3 000 m 低氧水平组升高最为明显,而返回平原后,2 000 m 组大鼠的 MDH 活性变化最为稳定且活性最高<sup>[17]</sup>,以此支持,低氧训练海拔高度选择介于 2 000 m 至 3 000 m 之间的观点。另外,毛衫衫等同样是利用雄性 SD 大鼠为实验对象,进行了为期 4~28 d 的不同时程的模拟 4 000 m 海拔高度的中等强度的高住低练干预,结果发现,腓肠肌检测 SDH(琥珀酸脱氢酶)的活性随着干预时间的更加而提高,28 d 组的水平接近于对照组的 2 倍<sup>[18]</sup>。另外,为期 4 周的间歇性低氧耐力训练,模拟氧浓度从 14%降至 10%,研究结果表明:间歇性低氧训练可以提高小鼠心肌、脑组织及股四头肌中 CCO(细胞色素氧化酶)和 SDH 的含量,可以提高机体的有氧代谢能力<sup>[19]</sup>。(4)低氧训练提高骨骼肌线粒体呼吸链功能。研究发现,HiHiLo 中模拟海拔高度 2 500 m 进行 5 周的干预,3 周后大鼠骨骼肌线粒体呼吸链功能基本适应,第 4、5 周呼吸链功能显著性提高,第 5 周优于第 4 周<sup>[20]</sup>。进一步研究发现,低氧训练提高骨骼肌线粒体呼吸链功能优于常氧训练,且模拟海拔 2 500~3 500 m 的交替低氧训练效果最明显<sup>[21]</sup>。综上所述,机体习服—适应适宜海拔高度的低氧训练后,从氧的摄入、运输和利用多方面综合提高了机体的有氧工作能力。

### 3.4 低氧训练与无氧代谢能力

低氧训练主要应用于提高耐力运动员的身体机能,但很多的运动项目要求运动员兼顾有氧、无氧代谢,因此,低氧训练逐渐向无氧代谢项目扩展。雄性昆明小鼠在模拟海拔 2 300 m 低氧环境中游泳训练 4 周后,检测持续股四头肌乳酸和血乳酸水平,结果提示,2 300 m 海拔高度的低氧训练提高了小鼠无氧代谢能力,分析原因,模拟高原训练可能引起乳酸生成的延迟,提高了缓冲系统的能力,乳酸的消除增强<sup>[22]</sup>。另外,男性场地自行车运动员进行 4 周的 1 900 m 高原训练后,糖酵解代谢供能为主的重复做功和做功维持能力均有所提高<sup>[23]</sup>。然而模拟海拔高度 3 000 m<sup>[17]</sup>和 4 000 m<sup>[18]</sup>的低氧训练提高了大鼠骨骼肌的有氧代谢酶的活性,但对 LDH 的活性基本无影响。由此可见,模拟低海拔的低氧训练能够提高无氧代谢能力,因为可以避免氧分压下降造成的运动强度降低,而在高海拔低氧训练中运动强度难以维持,不利于无氧代谢能力的提高。



### 3.5 低氧训练对免疫机能的影响

低氧训练对机体的免疫系统带来较大的负担,引发部分免疫系统疾病,进而影响运动成绩的提高,因此,低氧训练运动员的免疫机能的变化规律一直是体育科研人员关注的重点之一。常芸教授在研究中选取了9名国家队短道速滑运动员为监控对象,进行3次亚高原训练(海拔1568 m)后,检测T淋巴细胞总数( $CD_3^+$ )以及辅助型T淋巴细胞 $CD_4^+$ 、 $CD_8^+$ 和 $CD_4^+/CD_8^+$ 的变化情况,结果表明,亚高原训练显著影响短道速滑运动员的免疫机能,且呈下降状态<sup>[24]</sup>。16名体育系足球专项男生在急性低氧暴露后白细胞计数等指标呈明显上升趋势,随着高住低训(氧含量15.3%)的进行,外周白细胞的数目转而下降,可能对实验志愿者的免疫功能产生不利的影响<sup>[25]</sup>。由此可见,免疫细胞和淋巴细胞的数量对监控低氧训练下免疫机能的改变具有重要意义<sup>[26]</sup>。另外,红细胞免疫分子的表达也可用于免疫机能的监控<sup>[27]</sup>,模拟海拔2500 m的高住低练2周后,女游泳运动员红细胞CR1(Erythrocyte Complement Receptor 1)免疫粘附功能受到明显抑制。除此以外,低氧训练影响小肠体液免疫功能,雄性SD大鼠高住低训(氧含量13.6%)2周和6周后,测定小肠组织中分泌型免疫球蛋白A(SIgA)、防御素-5(RD-5)、溶菌酶、白细胞介素4(IL-4)、转化生长因子- $\beta$ (TGF- $\beta$ )含量以及多聚免疫球蛋白受体(pIgR)和J链mRNA的表达。结果表明,低氧暴露和大强度训练都能抑制小肠的免疫功能,低氧训练更能损伤小肠的免疫功能<sup>[28]</sup>。综合所述,长期的高海拔(1500 m以上)耐力训练或大强度训练能够抑制机体的免疫功能,而低海拔(847 m)的训练则对免疫功能的影响不显著<sup>[7]</sup>,因此低氧训练过程中氧浓度和运动强度的选择对免疫系统的作用明显。

### 3.6 低氧训练对控重减肥的作用

低氧暴露和低氧运动在运动员控制体重方面作用明显。低氧暴露过程中体重的降低主要是去脂体重降低引起的,而低氧训练则可能引起体脂的降低,但在高山跋涉中去脂体重降低亦较明显,低氧暴露和低氧训练能够促使机体体成分的良好改变<sup>[29]</sup>。低氧干预下食物的摄入减少、营养物质的消化吸收率减少、基础代谢率的改变、脂肪分解代谢的增加和机体合成代谢的抑制是引起体重下降或改变的主要原因。由此,合理的低氧训练手段可以作为赛前减重和训练的手段,但应根据项目的需要选择适宜的低氧运动干预手段,兼顾减重和力量训练的要求。随着肥胖及相关代谢疾病的流行,低氧暴露和低氧训练在减肥方面的应

用越发受到重视。低氧训练干预后肥胖青少年的体重、BMI和体脂率都降低,低氧运动在减肥方面的作用优于常氧运动<sup>[30]</sup>,而且低氧运动有效改善肥胖青少年的血脂、血糖代谢和胰岛素抵抗作用<sup>[31]</sup>。目前,低氧运动减肥机制的研究成为热点,现有研究证实,低氧运动后的肥胖机体瘦素分泌增加,抑制食欲<sup>[32]</sup>,脂联素的分泌增多,动员脂肪的分解,骨骼肌细胞中AMPK的活性增强,AMPK-PPAR $\alpha$ /AMPK-PGC1 $\alpha$ 信号途径的激活<sup>[33,34]</sup>,增加机体的能量消耗。另外低氧运动促使肥胖机体中Irisin-UCP1的表达升高<sup>[35]</sup>,引起白色脂肪的棕色化也是减肥的机制之一。

### 3.7 低氧训练与细胞凋亡的关系

适宜的刺激作用,也是成为探寻的重点。现有的研究认为,耐力训练可促进bcl-2(凋亡抑制因子)的表达,抑制细胞凋亡,而急性、力竭运动促进bax(凋亡因子)的分泌,促使细胞凋亡。杨海平等利用雄性SD大鼠为实验对象,分为低氧暴露、常氧运动和低氧运动3组,低氧浓度模拟海拔4000 m,运动形式为中等强度的跑步训练1 h,干预时间为7 d。结果表明,低氧暴露和低氧运动都能够促进骨骼肌的凋亡,但低氧与耐力运动的叠加效应为明显表现<sup>[36]</sup>。而7 d的低氧力竭运动能够造成骨骼肌凋亡的显著增加,可能是由于运动后钙离子内环境紊乱,或活性氧生成增加而造成的<sup>[37]</sup>。另外,低氧运动对心、肝、肾和海马组织细胞凋亡作用明显。其中模拟4000 m海拔氧浓度的高住低练对大鼠肝细胞凋亡影响比单纯运动和低氧暴露大,且与持续时间呈正相关<sup>[38]</sup>。相同氧浓度的低氧训练也可提高大鼠心、肾、海马组织的细胞凋亡率<sup>[39]</sup>,HIF-1 $\alpha$ 的表达可能协同bcl-2家族凋亡相关因子的表达。总结分析不难发现,外环境低氧和运动负荷性缺氧都能引起细胞凋亡的发生,大强度的低氧运动能够实现二者效应的叠加,目前国内研究选用的氧浓度相同(模拟海拔4000 m),高于或低于4000 m海拔氧浓度下的低氧暴露或运动研究还未见报道。

### 3.8 低氧训练对心理、认知的影响

低氧环境下脑部供氧不足,正常代谢和功能出现障碍,对人的认知功能,如短时记忆、注意广度及注意转换能力、思维判断能力等均产生明显影响。间歇性低氧训练合理地设置低氧的浓度及暴露时间,可以提高机体的有氧耐力和抗缺氧的能力,研究发现间歇性低氧训练有效地增强了大学女生脑组织及神经系统的抗缺氧能力,提高机体在缺氧条件下正常心理反应的能力<sup>[40]</sup>。另外,模拟海拔高度2500 m的4周高住低练,可有效改善皮划艇男运动员在低



氧条件下神经系统的工作能力,提高了运动员的认知和心理反应能力<sup>[41]</sup>。由此可知,适宜的低氧训练可作为提高机体心理、认知能力的手段,作为竞技体育训练的辅助手段。

### 3.9 低氧训练与氧化应激

低氧训练中低氧和运动双重刺激机体氧化应激,产生更多的自由基,代偿性地引起机体自身抗氧化酶系统活性的提高。动物实验中,选用 ICR 封闭群小鼠为实验对象,无负重游泳低氧干预 4 周后,检测心、脑、骨骼肌中丙二醛(MDA)含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性。结果发现低氧暴露,运动组和低氧运动组 MDA 含量显著下降,而 SOD 活性则明显升高<sup>[42]</sup>。进一步分析表明间歇性低氧和耐力训练对机体抗氧化系统的效果相似,而低氧暴露+耐力运动对骨骼肌组织的抗氧化酶活性和过氧化脂质的消除能力有明显的叠加效应。另外,雄性 SD 大鼠进行 4 周的模拟高住低练和低住高练两种模式训练后,两组大鼠肝脏 GSH(谷胱甘肽)、GSH-PX(谷胱甘肽过氧化物酶)、T-AOC(总抗氧化能力)最高,MDA 含量最低,较对照组和运动组有显著性差异,而两组间无显著性差异<sup>[43]</sup>,由此可见两组低氧训练方式都能够提高大鼠肝脏 GSH 的抗氧化能力。由此可知,低氧训练动物机体产生适应性,提高了在低氧环境中的抗氧化能力。人体实验发现,模拟海拔高度递增的间歇低氧训练提高了人体血清中 SOD、GSH-PX 等抗氧化酶的活性,加速低氧环境下自由基的清除,提高了模拟 5 000 m 海拔氧气浓度下人体的抗氧化能力<sup>[44]</sup>。

### 3.10 低氧训练习服与基因多态性

各种急、慢性高原病的发生是人体习服-适应失败的结果。急性高原病(AMS)具有遗传易感性,个体表现出 AMS 发生及习服效果的巨大差异,一些影响关键酶活性的基因多态性可能涉及其中,因此,该主题的研究不仅可深入理解 AMS 的遗传机制,也为 AMS 的个性化预防和控制提供了可行性依据。胡扬教授团队在实验中招募北方汉族男性大学生为志愿者,进行为期 3 周的间歇性低氧训练,模拟低氧浓度海拔在 5 000 m 左右,实验前取志愿者的静脉血进行基因多态性分析。研究结果发现,低氧训练都提高了受试者的低氧耐受性,高山病的发病率较干预前有明显的下降,其中(1)ANP 的 C-664G 和 T2238C 位点不同基因型和等位基因携带者的 AMS 发生率、AMS 评分变化趋势不显著。(2)eNOS 基因 G894T 及 4B/4A 位点多态性与 AMS 发生及其低氧

运动习服效果的关系密切,4A 等位基因是 AMS 易感性及其低氧习服效果的遗传学标记。(3)ET-1(内皮素基因-1)基因中 G5665T 与 T8000C 位点不同基因型组的 ET-1 水平在初次低氧暴露时变化趋势不同,在再次低氧暴露时变化趋势相同,但 ET-1 水平变化仅与低氧有关,与基因多态性无关。(4)HIF-1 $\alpha$ (低氧诱导因子 1 $\alpha$ )基因的 C1772T 的 CT 基因型可能是低氧敏感性的遗传学标记,C958G 的多态性与 AMS 的发生及低氧习服未见明显关联<sup>[45-48]</sup>。由上可知,多个基因不同位点类型对低氧训练习服的效果存在差异,国内该主题研究成果都出自胡扬教授团队,其他团队的研究未见报道。

## 4 研究热点的演进

关键词的时区图谱(timezone)是一种侧重于从时间维度上来表示知识演进的视图,它可以清晰地展示出文献的更新和相互影响。关键词作为学术论文研究主题的精炼表达,其关联性一定程度上可以揭示学科领域中知识的内在联系。笔者利用 CiteSpaceIII 进行关键词的时区视图分析,结合新近发表的文献进行研究热点的演进分析。时区分析图中节点越大,代表出现频次越高,代表各个时区低氧训练研究的重心。图 5 结合高频关键词分析总结了低氧训练的主题演进。

### 4.1 低氧训练方式演变

从自然环境的高原训练开始,人工低氧技术的进步后,常压的高住高练、低住高练应用增多,为解决运动负荷低和低氧刺激不够强烈的弊端,高住低练、高住高练低训等方式应运而生。后期模拟高原训练的方式涌现,如间歇性低氧训练、慢性低氧训练、急性低氧训练、预适应低氧训练和交替低氧训练等。为了兼顾有氧无氧代谢能力的提高,亚高原训练、低氧重复冲刺训练的使用逐渐增多。另外,为了探寻适合的低氧浓度、暴露时间、间歇时间和运动负荷,研究中往往采用多种低氧训练方式的组合。

### 4.2 低氧训练研究领域的转变

在举国体制的国情中,竞技体育是优先发展的对象,因此,低氧训练主要用于提高专业运动员的运动表现,随着全民健身观念的深入,低氧训练现在逐渐转变为提高运动员成绩和促进大众身体健康并重的方向发展,如不同模式的低氧训练对代谢综合征的影响,利用低氧运动达到控重减肥、改善胰岛素抵抗和脂代谢的目的。与此同时,随着研究的深入,低氧训

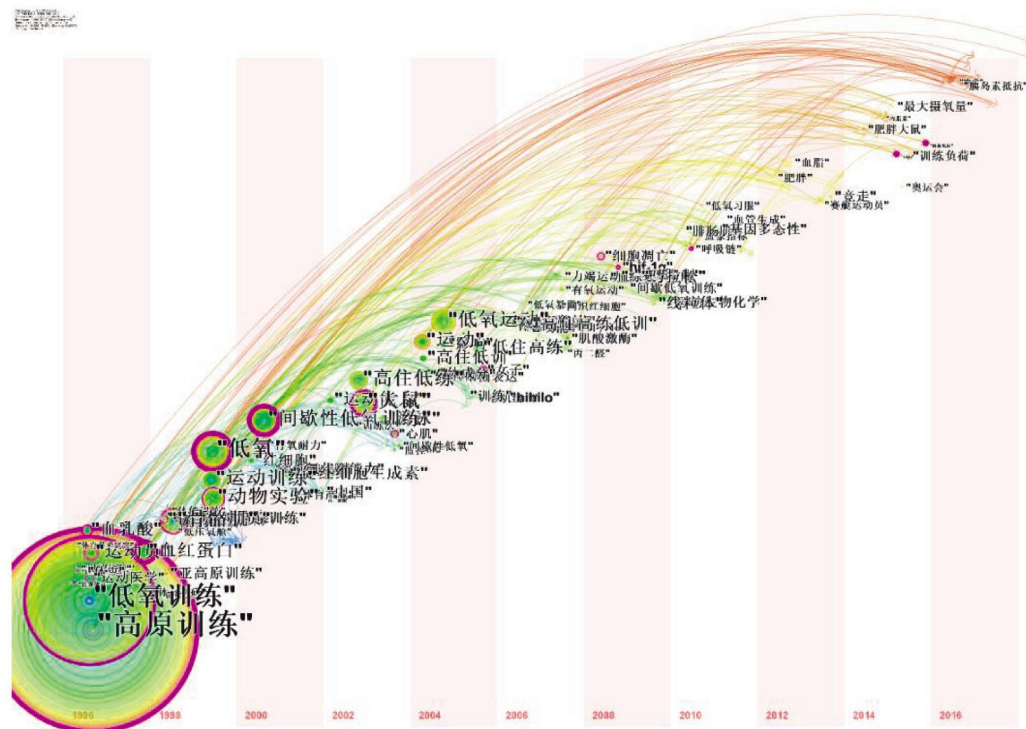


图 5 低氧训练关键词的时区分析图

Figure 5 Time Zone Analysis Chart of the Keywords of Hypoxia Training

练服务的竞技体育项目越来越广泛,从中长跑、竞走等逐渐过渡到篮球、散打等混合供能项目的训练。

化学和分子生物学的交叉,而低氧训练与医学、康复学和营养学的交叉应用研究值得关注。

### 4.3 研究层次逐步加深

低氧训练研究层次逐步加深、细化,主要的转变表现为由功能的研究向机理探讨转变。例如最初的研究发现,高原训练提高了运动员的成绩,分析原因,低氧结合运动刺激促使运动员血象的改变,如细胞数量、血红蛋白含量的升高,进一步研究发现 E-PO 分泌增加、有氧代谢相关酶的活性提高,更进一步分析低氧刺激机体相关应激基因的表达,同时发展到完整的信号途径的整合。

## 5 总结

近 20 来,国内低氧训练的研究取得了长足的进步,但不难发现仍存在许多问题:(1)研究力量分布不平衡,研究机构和研究人员主要集中在专业体育学院和部分体育科学研究所,拥有良好高原、亚高原自然条件的中西部地区研究力量薄弱。(2)重复性研究较多,目前仍有众多研究重复前人的研究,将同一项群的不同项目进行相似的研究,另外关于冬奥会项目的研究较少。(3)研究对象范围不够广泛,目前的研究对象主要集中在运动员和肥胖青少年减肥,而低氧训练在普通人群健康促进中的作用研究不足。(4)学科交叉的应用研究不足,研究主要集中于体育学与生物学

### 参考文献:

- [1] 陈小龙,蒋明朗,雷志平.间歇性低氧训练简述[J].体育学刊,2000(4):29-32.
- [2] 冯连世.高原训练[J].中国体育科技,1999(4):1.
- [3] 阳艺武.基于知识图谱的我国竞技体育后备人才培养研究热点及演化[J].上海体育学院学报,2015,39(2):73-79.
- [4] 高炳宏,步振威,王道,等.LoLo、HiLo、LoHi 和 HiHiLo 训练过程中血象指标变化规律的比较研究[J].体育科学,2005,(10):32-36.
- [5] 胡扬.模拟高原训练的新发展——从 HiLo 到 HiHiLo [J].中国运动医学杂志,2005,(01):69-72.
- [6] 雷志平.间歇性低氧训练与高原训练的比较研究[J].西安体育学院学报,1997(3):59-63.
- [7] 于涛,常芸,赵鹏,等.亚高原训练对中国优秀女子举重运动员身体机能状态的影响[J].体育科学,2016,36(12):67-71.
- [8] 何连源,邱俊强,李燕春,等.低氧反复冲刺训练对篮球运动员专项速度耐力的影响[J].中国运动医学杂志,2017,36(5):416-419.
- [9] 高颀,刘海平.高原训练期间运动员身体机能生理、生化指标的评定方法[J].北京体育大学学报,2004,27(1):





- 43-5+56.
- [10] 冯连世,宗丕芳,李福田,等.高原训练对中长跑运动员红细胞生成的作用[J].体育科学,1998,18(4): 78-81.
- [11] 冯连世,赵中应,洪平,等.模拟高原训练对大鼠促红细胞生成素(EPO)表达的影响[J].中国运动医学杂志,2001,20(4): 358-360.
- [12] 马福海.青藏高原自行车拉力赛对运动员心脏功能的影响[J].广州体育学院学报,2003,23(2):29-30.
- [13] 李俊涛,曾凡星,胡杨,等.低住高练中国家女子中长跑运动员心功能的变化[J].山东体育学院学报,2007,23(5):59-61.
- [14] 雷志平,王伟,王煜,等.间歇性低氧训练对急性运动大鼠心肌超微结构的影响[J].中国运动医学杂志,2004,23(1):90-93.
- [15] 邹志兵,郑澜.低氧训练促进心肌组织微血管生成的免疫组化研究[J].山东体育学院学报,2010,26(1):50-54.
- [16] 林家仕,林子俺,刘英杰.高效液相色谱分析不同低氧训练模式下大鼠心肌组织腺苷酸含量变化特征[J].体育科学,2009,29(2):65-70.
- [17] 王荣辉,邢文华,刘桂华,等.模拟不同海拔高度低氧训练对大鼠腓肠肌 LDH 和 MDH 活性的影响[J].体育科学,1998,(05):75-78+82.
- [18] 毛杉杉,潘同斌,王瑞元.高住低训对大鼠骨骼肌 SDH 与 LDH 活性的影响[J].中国运动医学杂志,2005,18(5):551-554.
- [19] 王茂叶.间歇性低氧训练对小鼠机体细胞色素氧化酶和琥珀酸脱氢酶的影响[J].天津体育学院学报,2005,20(6):40-42+89.
- [20] 李洁,王世超.高住高练低训不同时程大鼠骨骼肌线粒体呼吸链功能的变化[J].中国运动医学杂志,2016,35(1):32-35.
- [21] 李洁,刘西锋.不同海拔高度交替低氧训练对大鼠骨骼肌线粒体呼吸功能的影响[J].中国运动医学杂志,2017,36(1):21-25.
- [22] 李世成,田野.间歇性缺氧模拟高原训练对小鼠骨骼肌乳酸代谢的影响[J].中国运动医学杂志,1999,11(2):126-128.
- [23] 马国强,李之俊,梁效忠,等.4周1900m高原训练对男子短距离自行车运动员无氧代谢能力的影响[J].中国体育科技,2013,49(4):60-67.
- [24] 常芸,何子红,王莱芮,等.高原训练对国家短道速滑运动员细胞免疫功能的影响[J].体育科学,2002,22(1):86-90.
- [25] 张纛,周帆扬,田野,等.四周高住低训对外周血白细胞计数的影响[J].北京体育大学学报,2004,27(9):1213-1214.
- [26] 张勇,李之俊.模拟低住高练(LoHi)对自行车运动员免疫功能的影响[J].体育科学,2005,25(11):28-30.
- [27] 赵永才,高炳宏,丁树哲.高住低练对游泳运动员红细胞免疫分子表达及功能的影响[J].体育科学,2010,30(6):66-71.
- [28] 金其贯,胡要娟,金爱娜,等.不同模式的低氧运动训练对大鼠肠道体液免疫功能的影响[J].中国运动医学杂志,2015,34(8):764-769.
- [29] 李晓霞,胡扬,田中,等.高住低训对运动员身体成分的影响[J].沈阳体育学院学报,2004,23(3):424-425.
- [30] 王宁琦,胡扬,官余凌,等.4周低氧运动结合饮食控制对肥胖青年体重、血脂及胰岛素抵抗的影响[J].中国运动医学杂志,2012,31(4):289-294.
- [31] 李靖,张漓,冯连世,等.高原或低氧训练对肥胖青少年减体重效果及血糖代谢相关指标的影响[J].中国运动医学杂志,2014,33(5):460-464.
- [32] 陈瑜文,林文毅,邱烈峰,等.间歇低氧运动对肥胖大鼠食欲的影响及其机制分析[J].体育学刊,2011,18(4):133-136.
- [33] 吴菊花,杨亚南,翁锡全,等.低氧运动对营养性肥胖大鼠骨骼肌 PGC-1 $\alpha$  及其下游因子的影响[J].体育学刊,2016,23(3):130-136.
- [34] 李格,张纛.低氧训练诱导 AMPK 对小鼠骨骼肌 PPAR- $\alpha$  表达的影响[J].山东体育学院学报,2013,29(5):40-46.
- [35] 付鹏宇,龚丽景,段佳妍,等.低氧运动对肥胖小鼠脂肪 UCP-1 和 PGC-1 $\alpha$  表达的影响[J].中国运动医学杂志,2015,34(11):1070-1075.
- [36] 杨海平.低氧、运动对大鼠骨骼肌细胞凋亡及 bcl-2、bax 表达的影响[J].中国运动医学杂志,2006,29(6):706-709.
- [37] 杨海平,王江民,梁薇,等.低氧、力竭运动对大鼠骨骼肌细胞凋亡及 bcl-2、bax 表达的影响[J].广州体育学院学报,2009(4):86-92.
- [38] 刘文锋,瞿树林,汤长发.模拟4000m高住低练对大鼠肝细胞凋亡与增殖的影响[J].体育科学,2008,28(5):50-55.
- [39] 林喜秀,瞿树林,周桔,等.低氧训练对大鼠心、肝、肾、海马组织细胞凋亡的影响及其机制研究[J].中国运动医学杂志,2012,31(2):146-156.
- [40] 陈耕春,黄东.间歇性低氧训练对心理反应能力影响的实验研究[J].西安体育学院学报,2000,17(3):84-85.
- [41] 郭明方,周志宏,王奎,等.高住低练法对运动员神经系统及其认知行为的影响[J].体育科学,2004,24(2):17-19.
- [42] 蒋明朗,雷志平.间歇性低氧暴露对小鼠自由基代谢的影响[J].中国运动医学杂志,2005,24(1):87-88.
- [43] 陈晓彬,林文毅,翁锡全.常压模拟高住低练和低住高练对大鼠肝脏谷胱甘肽抗氧化系统影响的比较[J].



- 广州体育学院学报,2006,26(2):89-92.
- [44] 于加倍,衣龙彦,胡扬.间歇低氧运动对模拟海拔 5000m 人体氧化应激和抗氧化能力的影响[J].武汉体育学院学报,2015,49(9):97-100.
- [45] 周文婷,胡扬,徐飞.ANP 基因多态性对 AMS 发生及低氧习服效果的影响[J].北京体育大学学报,2010(12):45-47.
- [46] 周文婷,胡扬,徐飞,等.eNOS 基因多态性与急性高山病低氧运动习服效果的关联研究[J].体育科学,2010,34(6):72-75.
- [47] 周文婷,胡扬,徐飞.急性高山病发生与低氧运动习服中人血清 ET-1 水平及其基因多态性[J].北京体育大学学报,2015,38(4):58-64.
- [48] 潘秀清,胡扬,徐飞,等.HIF-1 $\alpha$  基因多态性与急性高原反应及低氧运动习服效果的关联研究[J].中国运动医学杂志,2015,34(8):744-749.

(责任编辑:何聪)

(上接第 47 页)

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

5.1.1 体育英语专业开设以来,学者的研究从教学、办学到体育英语翻译、体育英语新闻再到体育英语专业定位、培养模式是在递进的,是一个问题的出现到解决再到出现的不断循环上升的过程。

5.1.2 关于教学、翻译、复合学科、其他类的体育英语学术论文不断增加,但对其学术研究远高于教学实践。除此之外某些运动项目的体育英语研究处于空白状态,如:举重、武术、体操等。

5.1.3 体育英语学术论文具有学科交叉性、人才融合性、研究浅显等特点,体育英语学术论文的研究不仅涉及体育更涉及英语,是一个交叉性的学科;研究体育英语的学者不仅拥有体育基础而且精通外语;发表在体育类核心期刊上的体育英语专业学术论文非常少。

### 5.2 建议

5.2.1 从已研究的领域找出自己的创新点,为体育英语专业发展提出有建设性的建议。增加对体育英语空白领域的研究,如:举重、武术、体操等。

5.2.2 把握好跨学科发展的优势,将体育英语专业的研究领域不断扩大,不断深入,找出更具有科研价值的课题。

### 参考文献:

- [1] 任峰.关于近年来体育英语学术论文的分类研究[J].太极与少林,2011,(11):30-34.
- [2] 吴贻刚.体育学院英语专业办学定位与课程设置探讨[J].上海体育学院学报,2005,29(5):90-93.
- [3] 陈翠露.体育英语人才培养现状分析[J].社会体育学,2016,6(22):137.
- [4] 裴斐.体育英语专业建设症结分析[J].合肥师范学院学报,2008,26(6):119-122.
- [5] 梁青,李佳豫.体育类院校体育英语教材现状调查与研究[J].浙江体育科学,2015,37(4):69-72.
- [6] 蒋宁.提高体育英语课堂教学效果的探讨[J].体育研究与教育,2012,27(7):90.
- [7] 姜洋.体育英语词汇特点分析[J].哈尔滨体育学院学报,2010,28(4):98-100.
- [8] 钱蕾.体育英语的特点与翻译方法研究[J].少林与太极(中州体育),2015,(12):48-50.
- [9] 孙光旭.体育英语翻译方法探讨[J].湖北经济学院学报,2007,4(6):142.
- [10] 王海娟.体育院校大学英语考试改革探讨[J].现代交际,2016,(438):190.
- [11] 杨风军.“厚基础、宽口径、有特色、重实践”的体育英语人才培养模式研究[J].外国语文,2011(6):80-82.

(责任编辑:杨圣韬)