

DOI:10.3969/j.issn.1672-5565.201704001

生物信息学本科人才培养的调研与思考

明文龙,李 晟,罗 幸,徐 军,谢建明,刘宏德,陆祖宏,孙 啸*

(生物电子学国家重点实验室,生物医学工程国家级实验教学示范中心,东南大学 生物科学与医学工程学院,南京 210096)

摘要:近年来,生物信息学已经逐步发展成为现代生物学和医学等领域的关键技术方法,社会对生物信息学专业人才的需求不断扩大,生物信息学的本科教育也受到了越来越多的关注和重视。为了探索更加合理的人才培养模式、完善课程计划和教学计划,本文以中美两国开设生物信息学本科专业的高校为对象,分别选取一些代表高校并进行深入调研,对比分析课程计划和人才培养现状。结果显示,生物信息学的跨学科性质在各高校中均得到一定体现,培养学生具有多元化的知识结构已经成为生物信息学人才培养的一项共识。同时,根据调研的结果,也对国内生物信息学本科教育提出一些启发与建议。

关键词:生物信息学;生物信息学教育;复合型人才;专业建设;大学本科教育

中图分类号:Q-45 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-5565(2018)02-065-07

Investigation and speculation on undergraduate talent cultivation of bioinformatics

MING Wenlong, LI Sheng, LUO Xing, XU Jun, XIE Jianming, LIU Hongde, LU Zuhong, SUN Xiao*

(State Key Laboratory of Bioelectronics, National Demonstration Center for Experimental Biomedical

Engineering Education, College of Biological Science and Medical Engineering,

Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: In recent years, bioinformatics has gradually developed into a core method and key technology in many fields such as modern biology and medical research. The undergraduate education of bioinformatics has drawn increasingly more attention due to expanding social demand for bioinformatics professionals. In order to explore a more reasonable mode of talent cultivation and improve the curriculum and teaching plans, representative colleges and universities with bioinformatics undergraduate programs from both the United States and China were selected for the in-depth research of the status quo of the curriculum and talent cultivation in this paper. The results indicate that the interdisciplinary nature of bioinformatics is embodied in colleges and universities to a certain extent, and training students with diversified knowledge structure has become a consensus on the cultivation of bioinformatics talents. In addition, some inspiration and recommendations are put forward on the domestic bioinformatics undergraduate education according to our research result.

Keywords: Bioinformatics; Bioinformatics education; Interdisciplinary talents; Professional construction; Undergraduate education

1 生物信息学及生物信息学教育

生物信息学(Bioinformatics)是在融合了生物学、计算机科学和数学的相关知识的基础上,应用计算机和程序设计工具来获取、加工、存储、分类、检索与分析生物学数据,以达到理解其生物学意义^[1],

并应用于生物医学研究、人类健康事业、环境能源等领域的新兴交叉学科。“Bioinformatics”概念最早是由 Daniel R. Masys^[2]于1989年首次提出的,但实际上,有关生物信息学的研究却可以追溯到上世纪六十年代^[3],从那时起,生物信息学便开始了其迅猛的演变和发展历程。纵观生物信息学50多年的发展历史,可以看到,生物信息学的发展是非线性的、

收稿日期:2017-04-05;修回日期:2017-04-14.

作者简介:明文龙,男,硕士研究生,研究方向:生物信息学;E-mail:863288673@qq.com.

* 通信作者:孙啸,男,教授,博士生导师,研究方向:生物信息学;E-mail:xsun@seu.edu.cn.

分阶段的,并且与之紧密相连的是生命科学和计算机科学的进步^[4]。在20世纪70年代和80年代,全球范围内建立了许多核酸序列和蛋白质数据库,数据的不断积累催生了数据库附带工具的开发,但是数据的传播和工具的使用又受限于计算机程序和操作系统的发展^[5]。一直到1985年人类基因组计划(Human Genome Project, HGP)的提出,极大的推动了生物信息学的发展,但更重要的是90年代计算机互联网技术的突破发展,对于生物信息学的兴起起到关键性的作用。自从人类基因组序列的第一稿在2001年出版以来^[6],在过去十多年中,高通量测序技术和计算机技术日新月异的发展使得生命科学领域进入了以海量多元组学数据为特征的大数据时代^[7],使得生物信息学迅速成长为一门具有研究范围广泛的、丰富内涵的学科^[8]。

相比于其他传统学科,生物信息学发展历史短,是一门相对较新的学科,但是近年来,随着高通量技术的发展和生物医学大数据的积累,同时,多学科交叉的性质更为生物信息学学科的发展带来新的机遇^[9-10]。目前,无论是学术界还是工业界,对于生物信息学人才的需求缺口越来越大。社会对生物信息学人才的迫切需求也引起了人们对于生物信息学教育的关注,鉴于生物信息学的跨学科性质,从1998年第一篇有关生物信息学教育和课程设置的学术论文发表开始^[11],人们就在持续不断的讨论如何制定适宜的教育培养方案,比如:“如何制定合适的学习课程?”。目前国内外大多数高校的生物信息学的教育主要集中在研究生教学中,但是近年来也有不少高校开设了生物信息学本科专业进行生物信息学专门人才的培养。为了探索更加合理的人才培养模式、完善课程设计和教学计划,我们集中调研了中、美两国开设生物信息学本科专业的高校,分析和比较两国不同类型院校之间在课程设计和人才培养方面的区别,为我国生物信息学本科人才教育提供一些思路和建议。

2 美国高校生物信息学本科课程设计与人才培养现状

2.1 专业开设概况

根据美国国家教育统计中心数据显示,截至2017年2月底,美国已有54所高校开设了生物信息学本科专业。这54所院校类型大体上属于三类,分别是以加州大学洛杉矶分校、加州大学圣地亚哥分校等为代表的著名综合性大学(University),以卡尔顿学院、哈佛穆德学院等为代表的优秀文理学院

或专业学院(College)和以伊利诺理工大学、佛罗里达理工学院、伦斯勒理工学院等为代表的知名理工科院校(Institute),生物信息学专业在这三类院校中的开设情况(见图1)。这三种类型的院校作为美国高校体系的主要组成部分,生物信息学本科专业在其中得到广泛的开设,体现出了美国高校对于生物信息学本科教育的重视。值得一提的是,作为美国高校的重要种类之一的,代表着经典、小规模、高质量的本科教育的文理学院,也有许多专门开设了生物信息学本科专业,更加体现出了美国对生物信息学本科人才培养的充分重视。

美国生物信息学本科高校类型(54所)

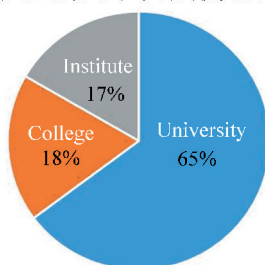


图1 美国开设生物信息学本科专业的院校类型占比
Fig.1 The proportion of different types of institutions with bioinformatics undergraduate programs in the United States

2.2 课程开设与人才培养现状

根据不同院校之间对于生物信息学本科教育的侧重点的不同和培养方式的区别,分别选取了加州大学洛杉矶分校和圣路易斯华盛顿大学、卡尔顿学院和哈佛穆德学院、伊利诺理工大学和佛罗里达理工学院作为三种类型院校的代表,依次调研生物信息学专业的学科建设、课程开设和人才培养现状。

加州大学洛杉矶分校(UCLA)开设的生物信息学属于不同学科之间相互交叉的副修学习课程,学生一般在大二结束本学院的基础课程之后,自主选择生物信息学进行学习,其学习周期一般为两年,核心课程为:统计学或数学或生物统计学,以及计算机应用或者计算机科学。其中涉及计算机科学的课程,均适用于工程学院的学生以及生物科学学院和医学院的学生,主要包括以下三门课程:(1)生物信息学和基因组学简介,该课程主要介绍生物信息学的重点概念和方法,发明新的计算和统计技术来分析生物数据,专注于序列分析和比对算法;(2)生物信息学算法,该课程主要内容是生物问题的计算方法的应用,专注于将跨学科问题制定为计算问题,然后使用统计学和计算机科学的技术解决这些问题;(3)计算遗传学,主要内容包括遗传变异的计算分析和遗传学中的计算研究,课程涵盖遗传学

简介,致病基因的鉴定,人类种群历史,以及基因测序技术和遗传信息获取技术等。除了上述必修课程之外,UCLA 也为学生提供了两个方向的选修课:一个方向是生物信息学和基因组学,比如:化学、生物信息学导论、生物信息学和系统生物学算法、计算遗传学、计算系统生物学、人口遗传学、基因组技术、分子系统生物学、细胞生物学等课程,这些课程多数情况不需要编程能力,主要面向于生物科学学院或者医学院中对生物信息学感兴趣的学生。另一个方向是计算生物学,其选修课主要包括:数学建模和方法、系统与信号、反馈控制原理、数理统计导论等课程,主要面向具有统计学和计算机科学背景的学生。相比于 UCLA,在圣路易斯华盛顿大学中,生物信息学隶属于工程与应用科学学院,是计算机科学与工程专业中的一门副修专业。主要课程包括:生物学原理、人口遗传学、生物学实验、基因组学、计算机科学、数据结构与算法、概率和统计、统计和数据分析、工程概率和统计、数据分析、序列比对算法、计算生物学算法等。

卡尔顿学院作为美国优秀的文理学院代表,所开设的生物信息学归属于生物学大类专业中,并不单独进行区分,课程以生物学为主,涉及广泛的生物学知识体系,主要开设:病毒学,生态学,细胞生物学,遗传学,免疫学,人类生理学,基因组学和生物信息学,进化论,生物化学,分子生物学,神经生物学,科学写作等课程。值得一提的是,相比于其他很多院校,卡尔顿学院着重推行“博雅教育”的教育理念,不以就业为导向,更加侧重对学生的引导和塑造。在其培养体系中,涵盖大量的专业内研讨课和学术交流项目,依托这些研讨课,从而达到培养学生思考和获得知识的能力。哈佛穆德学院作为涵盖工程学院的文理学院,单独开设了数学与计算生物学专业,并由生物学、数学和计算机科学部门共同管理。该专业的核心课程包括数学、生物信息学和计算生物学。课程体系主要由三部分组成,首先是生理学、生态与环境生物学、进化生物学和分子遗传学等生物学基础,其次是统计理论、随机过程、概率与统计、数据分析、科学计算、高级线性代数、微分方程简介、小波及其应用简介和运筹学等数学课程,最后是计算机科学原理、数据结构、计算和逻辑、软件开发、算法、数据库、人工智能、神经网络以及计算机图形学等计算机课程。与卡尔顿学院相类似的,哈佛穆德学院开设较多的座谈会,涉及领域广泛,包括生物学、数学、计算机科学、生物工程、认知科学、神经科学、生物物理学等其他科学和工程学科,有助于拓展学生的知识面,加深学生对生物信息学跨学科性

质的理解。

作为偏向就业与工程的理工类高校,伊利诺斯理工学院(IIT)的生物信息学专业隶属于理学学院,以生物学课程体系为核心,辅以计算机科学、数学和物理学课程。生物学类的课程主要为:普通生物学、细胞生物学、人类生物学、微生物学、生物化学、遗传学、基因组学、转录组学和蛋白质组学、文献阅读、计算生物学等;化学类课程包括化学原理和有机化学;物理类课程主要是普通物理学;数学类以微积分、多元与向量积分、概率学、统计学、差分方程和线性代数为数;计算机类课程则涵盖计算机编程、面向对象的编程、数据结构与算法、数据挖掘和数据库等课程。在大学前两年,学生的核心课程是一样的,在大三的时候根据学生的兴趣和喜好,IIT 为学生制定了两种分流培养途径:一种是需要学习更多的计算机科学和数学课程的应用生物信息学,另一种是需要学习更多生物学课程的计算生物学。同样作为侧重应用的院校,伍斯特理工学院开设生物信息学和计算生物学专业,针对来自生物学、计算机科学和数学学科的学生。通过其量体裁衣的跨学科课程计划,在学生具备生物学、计算机科学和数学的基础知识后,可以自主选择专门从事其中一个方向,主要课程为:生物信息学、计算生物学、生物建模、生物可视化、生物医学数据库挖掘、遗传学和统计学方法等。在掌握了生物信息学和计算生物学的基础理论、工具和技术之后,通过广泛的研究工作和项目,学生能够获得可以获得更多应用所学的知识来解决现实世界的问题的机会。

3 中国高校生物信息学本科课程设置与人才培养现状

3.1 专业开设概况

在我国,自从哈尔滨工业大学生物信息学专业于2002年获得教育部批准建立,成为国际上第一个生物信息学专业起,哈尔滨医科大学、华中科技大学、东南大学、同济大学、华中农业大学等高校也陆续开设生物信息学本科专业。根据学信网最新的数据显示,截至2017年2月底,我国开设生物信息学本科专业的高校为30所,其中985或211工程学校合计12所,占比40%。根据我国教育部2012年颁布的《普通高校本科专业目录(2012)》,“生物信息学”(专业代码071003)与“生物科学”、“生物技术”并列为理学生物学大类中基础的本科专业,同时将原来的“生物信息学”、“生物信息技术”、“医学信息学”都归于“生物信息学”专业,可授予理学、工学学

位。按照院校所属类型对这30所高校进行了简单的分类,生物信息学本科专业主要集中在4类院校中:医药类高校10所,占比33%;综合类高校9所,占比30%;工科类高校6所,占比20%;农业类高校5所,占比17%(见图2)。我们在调研了上述高校的基础上,选取哈尔滨工业大学、哈尔滨医科大学、华中科技大学、东南大学以及华中农业大学这5所代表性高校,论述其课程设置方案与人才培养现状,重点突出其各自的生物信息学教育的特色和优势。

中国生物信息学本科高校类型(30所)

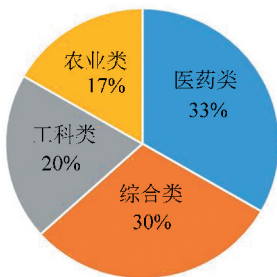


图2 中国开设生物信息学本科专业的院校类型占比
Fig.2 The proportion of different types of institutions with bioinformatics undergraduate programs in China

3.2 课程设置与人才培养现状

哈尔滨工业大学的生物信息学专业依托计算机科学与技术学院建立(<http://zsb.hit.edu.cn/subindex/intro/shengwujishu.asp>),学制四年,授予工学学士学位。该校侧重于加强生物信息来源和计算机数据处理技术课程的设立,要求学生在系统掌握生物学基础知识基础上,着重加强信息技术的学习,培养学生生物信息这一交叉学科的科学实践能力。其主要课程一部分是基础理论课,包括生物化学、遗传学、分子生物学、细胞生物学等,为生物信息技术的研究提供知识背景。另一部分是专业技术课,一是计算机软、硬件系统及其相关知识,尤其是数据库技术、软件工程、人工智能、数据挖掘技术等计算机技术有关基本知识及其应用,为生物信息技术的研究提供基础和工具。二是生物信息学、基因组信息学、生物统计学、计算系统生物学等生物信息学专业知识和理论,为生物信息技术的研究打下坚实的专业基础。

哈尔滨医科大学,作为国内最早开设该专业方向的院校之一,于2003年举办本科五年制生物技术专业(生物信息学方向),并在2008年正式更名为生物信息学专业(<http://210.46.85.200:8080/>),授理学学士。哈尔滨医科大学同时也是国内唯一一个以生物信息学为主体开设了生物信息科学与技术学

院的院校,学院下设生物信息学、统计遗传学、生物物理学、药物基因组信息学、生物医学软件工程、系统生物学和生物数学7个教研室,及生物信息学开放实验中心和生物信息学大学生创新基地,学科门类齐全、研究方向和硬件设施完备,已经形成国内最大规模的生物信息学科研、教学团体。经十余年的教育实践与提炼,该校的生物信息学专业形成了以医药理工科学为基础,以量化研究重大疾病和生物功能为核心的独具特色的教学体系,教育水平、学生培养质量和数量均居国内首位。其主要课程包括:分子生物学、细胞生物学、遗传学、药理学、概率论与数理统计、高级语言程序设计、数据结构、模式识别、优化算法、生物数据信息挖掘、网络生物医学资源、医学信息分析方法、基因组信息学、蛋白质组信息学、药物基因组学、统计遗传学、分子进化、生物芯片技术等。

华中科技大学生物信息学隶属于生命科学与技术学院,本科教学设有国家基地班(<http://life.hust.edu.cn:8181/menu0405/14668.jhtml>),依托“国家生命科学技术人才培养基地”和“国家理科基础科学研究和教学人才培养基地”平台,以生物医学和计算机科学为核心,强化数理和工程基础,采取以学生为中心,导师制和实际科研课题为牵引,强化主动学习、主动实践和创新能力的人才培养模式来培养生物信息学人才。主要专业课程为:C++编程、数据库技术及应用、计算机网络技术及应用、数据结构与算法、生物信息学概论、系统生物学、生物信息资源与实践、生物信息数据挖掘、基因组学、蛋白质组学、代谢组学、药物分子设计等。学制4年,授理学学士。

东南大学的生物信息学本科专业教育也颇有成效,专业下属在生物科学与医学工程学院(<http://bme.seu.edu.cn/586/list.htm>),依托生物电子学国家重点实验室进行人才培养,学制4年,授工学学士。侧重于培养学生具有生物学和信息科学复合型的知识结构,并具备较强的综合应用能力,能够开发生物信息分析软件系统,在生物、医学和药学研究中熟练应用生物信息技术解决具体问题。主干课程包括工科数学分析、几何与代数、概率论与数理统计、大学物理、普通化学、生物物理、电路基础、电子电路基础、人体解剖与生理学、信号与系统、计算机结构与逻辑设计、有机化学、细胞与分子生物学、生物化学、数据结构基础、生物信息学基础、基因组科学与技术等。值得一提的是,东南大学强调实践培养环节,与深圳华大基因研究院合作建立了国家级工程实践教学中心,共同制定生物信息学人才培养目标,构建教学资源,共同参与学生管理,所有学生进入企业实习

10周;同时设立了“2.5+1.5”和“3+1”多元学制的卓越人才培养模式,分别在学校学习2.5年或3年后通过选拔进入企业,完成课程学习、工程实践和毕业设计,直接参与工程项目的研究。

华中农业大学的生物信息学专业下属于信息学院(<http://coi.hzau.edu.cn/index.php/index-view-aid-1242.html>),学制4年,授理学学士。作为为数不多的开设生物信息学本科专业的农业类院校,其培养方案和课程设置也独具特色。学生在上完普通生物学、细胞生物学、生物化学、遗传学、C++程序设计、数据库原理、离散数学等学科基础课程,以及分子生物学、生物信息学原理、生物统计与试验设计、系统与合成生物学、数据结构与算法等专业核心课程之后,能够进行专业特色课程的学习,并且这些专业特色课程均为选修课,是学生在生物信息学专业必修课程的基础上,进一步加强学习和训练的重要环节,既包括必要的理论学习,又包括相关的技能训练,是激发学生潜能,促进多样化发展的重要方式。专业特色课程分为两大类,一类是专业选修课程组,包括理论生物信息课程组和应用生物信息课程组,理论生物信息课程组主要包括进化生物学、化学信息学、基因组学、R语言编程等偏生命科学的课程,应用生物信息课程组主要涵盖R语言编程、JAVA语言程序设计、Perl语言编程、Python语言编程、操作系统、计算机网络、数据挖掘、计算机图形学等信息科学的课程。另一大类是素质拓展课程组,课程设置较为多样化,包括市场营销学、管理学原理、植物生理学、农药化学、农学概论等其他学科的课程。

4 中美两国高校生物信息学本科教育的异同分析

通过对两国代表性院校的调研,我们可以看到,相比于美国而言,我国国内高校在学术研讨课和科研训练上相比美国高校较弱,卡尔顿学院和哈佛穆德学院作为美国本科教育的佼佼者,每年为哈佛大学、麻省理工学院、斯坦福大学等美国顶尖大学输送很多优秀本科生继续深造,这两所文理学院在本科期间开设大量学术研讨课,让学生很早就接触到科研训练,相比于国内重书本而轻实践的普遍情况,美国文理学院的人才培养理念和模式,值得我们深思。

但是总的来说,中美两国高校在生物信息学本科教育的思路 and 理念是一致的,整体的课程设置没有较大的区别。生物信息学专业所特有的跨学科性质均能够被充分认识到,这很大程度体现在课程体系

的设置上。这些院校所开设的课程,多数都是专门为生物信息学专业设计的,主要涵盖了生物学、计算机科学和数学这三方面的课程,当然也包括部分化学和物理学的课程,均以培养具有复合型知识结构的人才为目的。调研结果表明,每所院校开设的具体课程有所区别,不同类型的院校对于生物信息学本科人才培养的侧重点也有所不同,比如IIT和哈尔滨工业大学作为工科类代表院校,更侧重培养学生的计算机编程能力以及应用计算机技术去解决具体的生物信息学问题,而哈尔滨医科大学则更侧重以医药理工科学为基础,以量化研究重大疾病和生物功能为核心,卡尔顿学院则偏向生物学教育,课程中存在大量带有启发式的趣味研讨课,侧重培养学生的自主思考和学习能力,为之后深造提供良好的基础。虽然各个院校在培养生物信息学人才方面有着自身特色的考量和理解,但是整体的培养思路和教学理念是合理的、一致的。

5 关于加强我国生物信息学本科教育的思路和建议

5.1 充分理解交叉学科的复合性和交叉性,让办学理念各具特色

生物信息学专业没有统一的培养模式,对于专业口径不断拓宽的生物信息学,其人才培养方案应该具备一定的学科偏向性,避免“眉毛胡子一把抓”的情况出现。例如强化计算机信息技术的培养模式偏向于开发生物信息学算法和软件工具;强化生物医学的培养模式偏向于应用生物信息学工具解决生命科学中的实际问题。对于我国高校,在夯实学生知识体系结构的基础上,依托其自身各具特色的优势学科和平台,充分发挥优势学科的作用,调动学生积极性,探索培养“各有所长”的生物信息学人才,而这也正是我国未来人才培养战略的发展方向。

5.2 建立多学科融合交叉的师资队伍,量体裁衣的设置课程和教学实践环节

在充分理解交叉学科的特性和定位的基础上,我们需要建设一支具有复合型学科特征的教学和人才培养团队,构建更加量体裁衣的课程结构,提高课程质量,贵精不贵多。对于生物信息学专业,特别需要具有生物学和信息科学专业背景的教师,同时还需要具有从事生物信息学研究经验的教师参与本科教学和人才培养,建立一支多学科交叉的高水平教学队伍。

在课程设置和教学实践环节中,教师应引导学生思考和深入钻研,帮助学生建立复合型知识体系,追踪学科发展前沿研究动态。教师可以尝试采取

PBL(Problem-based learning,以问题为基础的学习)模式结合多媒体教学方式,引导学生自主学习,提升学生学习兴趣^[12]。参考美国文理学院的教学理念,我们建议对生物信息学专业低年级本科生开设“学习型研讨课”及“探究型研讨课”,使学生通过阅读教材、查找并阅读文献了解近期生物信息学领域研究进展,并通过课堂报告促进学生交流和深入思考,发现研究中的关键问题,并尝试重现解决问题的方案;对于高年级本科生,建议开设“发挥型研讨课”及“综合型研讨课”,围绕教师科研中的问题,提高学生综合利用所学知识和方法的能力。同时,也可以充分利用网络课程来辅助教学,在一些大型公开在线课程项目中,有数十所高校开设了生物信息学专项课程^[13-14]。

5.3 高校应当建立校企联合人才培养基地,帮助学生走出校门

生物信息学专业培养生物医学与信息技术复合型人才,更注重应用计算机信息技术解决生物医学研究实际问题的能力。校企合作是培养学生实践能力的重要渠道。例如,东南大学与深圳华大基因研究院共同建立国家级工程实践教育中心,由校企双方共同制定生物信息学卓越工程师联合培养计划,坚持“以项目带人才”的培养理念,结合校企各自优势和资源,为人才发展提供广阔的发展舞台和支持保障。

6 总结

近年来,高通量测序技术的发展使得生命科学领域进入到以海量多元组学数据为特征的大数据时代,而以人工智能和云计算为代表的计算机技术的飞速发展处理和这些大数据提供了切实可行的方法和途径。生物信息学作为融合现在生物学和信息科学的前沿交叉学科的代表,由于具有独特的跨学科性质,其应用范围相比传统学科更加广泛,已经逐步成为生命科学和医学领域的关键技术和方法,社会对于生物信息学的人才需求一直都存在较大的缺口^[15]。因此,无论是在美国还是在中国,生物信息学的本科教育正日渐受到重视。

本文选取了中美两国开设生物信息学本科专业的几所代表性的院校进行了调研和分析,结果表明,在培养生物信息学人才方面,虽然两国在课程体系的构建上整体区别不大,但是相比于我国,美国高校对本科生的教育更加注重实践,教学理念更加务实。另一方面,考虑到生物信息学的跨学科性质,中美两国的高校在开设生物信息学专业时,都存在依托自

身优势学科和平台,打造具有自身特色的办学理念的教学团队的现象。但是大体而言,主要形成了两大类的培养模式:一种是偏重于计算机科学的培养方案,强调培养学生开发生物信息学算法和软件工具的能力;另一种则是偏重于生物医学的培养方案,强调培养学生应用计算机工具来解决生物和医学中实际问题的能力。总的来说,良好的数理基础、计算机编程能力以及生物学背景是理解、学习生物信息学的关键,帮助学生构建复合型的知识体系有助于生物信息学人才的培养,随着科技的进步以及大数据时代的到来,生物信息学的人才需求迫切而强烈,培养合格的生物信息学专业人才具有重要意义。

参考文献(References)

- [1] CHAN S H, LEE S Y, FANG Q, et al. Integration of bioelectronics and bioinformatics: future direction of bioengineering research [J]. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 2016, 36 (6): 751 - 754. DOI: 10.1007/s40846-016-0185-1.
- [2] MASYS D R. Medical informatics: Glimpses of the promised Land [J]. *Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges*, 1989, 64(1): 13-14. DOI: 10.1097/00001888-198901000-00004.
- [3] DAYHOFF M O. Computer aids to protein sequence determination [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1965, 8(1): 97-112. DOI: 10.1016/0022-5193(65)90096-2.
- [4] BISHOP T Ö, ADEBIYI E F, ALZOHAIRY A M, et al. Bioinformatics education -- perspectives and Challenges out of Africa [J]. *Briefings in Bioinformatics*, 2014, 16 (2): 355-364. DOI: 10.1093/bib/bbu022.
- [5] VIA A, BLICHER T, BONGCAMRUDLOFF E, et al. Best practices in bioinformatics training for life scientists [J]. *Briefings in Bioinformatics*, 2013, 14(5): 528 - 537. DOI: 10.1093/bib/bbt043.
- [6] LANDER E, LINTON L, BIRREN B, et al. Initial sequencing and analysis of the human genome [J]. *Nature*, 2001, 409(6822): 860-921. DOI: 10.1038/35057062.
- [7] 杨帅. 面向组学大数据的生物信息学研究 [D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2016. YANG Shuai. *Bioinformatics research for omics big data* [D]. Beijing: Academy of Military Medical Sciences, 2016.
- [8] 孙啸, 陆祖宏, 谢建明. 生物信息学基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006. SUN Xiao, LU Zuhong, XIE Jianming. *Basics for bioinformatics* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [9] CVIJOVIC M, ALMQUIST J, HAGMAR J, et al. Bridging the gaps in systems biology [J]. *Molecular Genetics and Genom-*

- ics, 2014, 289(5): 727-734. DOI: 10.1007/s00438-014-0843-3.
- [10] BRAZAS M D, LEWITTER F, SCHNEIDER M V, et al. A quick guide to genomics and bioinformatics training for clinical and public audiences [J]. *PLoS Computational Biology*, 2014, 10(4): e1003510. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1003510.
- [11] ALTMAN R B. A curriculum for bioinformatics: the time is ripe [J]. *Bioinformatics*, 1998, 14(7): 549-50. DOI: 10.1093/bioinformatics/14.7.549.
- [12] 丁忠庆, 卢卫红, 井晶, 等. 基于PBL结合多媒体教学模式在生物技术教学上的应用 [J]. *生物信息学*, 2016, 14(3): 156-159. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5565.2016.03.05.
DING Zhongqing, LU Weihong, JING Jing, et al. Application of PBL teaching combining with multimedia technology in biotechnology teaching [J]. *Chinese Journal of Bioinformatics*, 2016, 14(3): 156-159. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5565.2016.03.05.
- [13] DING Y, WANG M, HE Y, et al. "Bioinformatics: introduction and methods," a bilingual Massive Open Online Course (MOOC) as a new example for global bioinformatics education [J]. *PLoS Computational Biology*, 2014, 10(12): e1003955. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1003955.
- [14] WILLIAMS J M, MANGAN M E, PERREAULTMICALE C, et al. OpenHelix: Bioinformatics education outside of a different box [J]. *Briefings in Bioinformatics*, 2010, 11(6): 598-609. DOI: 10.1093/bib/bbq026.
- [15] RAMDAYAL K, STOBBE M D, MISHRA T, et al. Building the future of bioinformatics through student-facilitated conferencing [J]. *PLoS Computational Biology*, 2014, 10(1): e1003458. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1003458.