

# 虚拟植物研究进展

胡林 周国民 丘耘 樊景超 王剑 ( 中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081)

**摘要** 当今植物科学和计算机技术得到了迅速发展,作为科学与艺术的结晶——虚拟植物模型的研究也得到了快速发展。在数据采集上,从简单的手工采集发展到以激光扫描、近景摄影等方法,极大地提高了数据获取的速度和质量,加速了植物建模的过程,提高了植物建模的精度。在建模方法上,从结构建模、图像建模发展到结构与图像建模相结合的手段。在模型的类型上,分为功能性模型与非功能性模型。功能性模型的研究范围也从单一的生态性研究发展到生态生理性研究。现在,已经发展到了微观水平,开始研究基因与植物形态关系,形成了以虚拟植物模型为中心,以植物个体形态为主导的宏观、中观和微观3个层次的研究格局。

**关键词** 虚拟植物; 数据采集; 模型

中图分类号 S126 文献标识码 A 文章编号 0517 - 6611(2008)25 - 11063 - 03

## A Review of Research on Virtual Plants

HU Lin et al ( Agricultural Information Institute of CAAS, Beijing 100081)

**Abstract** As the combination of the science and the art, the research of the virtual plant model developed with the development of the botany and the technology of the computer. In the data collection, the laser scanner and the close-shot, which had taken the place of the manual methods, which improved the efficiency and the precision of the modeling. In the model methods, the integration of the structure and the picture was used to describe the growth procedure developed from the structure model and the picture model. In the model kinds, there were two kinds of models. The one was the functional model and the other was the non-functional model. The multi-item had been researched in the physiology and ecology, which had transcended the application in the ecology. Now the model research has been used to explore the affection of the gene on the plant growth, and the virtual plant had been probed into from three levels, i.e., micro level, individual level and the macro level.

**Key words** Virtual plant; Data collection; Model

## 1 虚拟植物的定义与研究意义

**1.1 虚拟植物的定义** 虚拟植物是在三维空间内植物结构及个体生长的计算机模拟<sup>[1-3]</sup>。在不同领域,虚拟植物的含义有所不同。影视动画制作领域主要追求植物外形的相像,不涉及植物生态和生理方面的内容。生物学研究领域则以植物学原理为基础的植物形态及生理生态等内容为主,追求植物形态上的真实;同时,不断吸收影视领域虚拟植物建模的成果。虚拟植物是科学和艺术的结晶<sup>[3]</sup>。虚拟植物虽以植物结构和个体生长的模拟为主要内容,但研究领域并不局限于此。它还可以模拟植物结构与环境因子的关系,可以研究植物叶色变化与植物病虫害的关系、光线对植物生长发育的影响、基因与植物发生发育的关系、植物激素及其他新陈代谢产物与植物形态发生学的关系<sup>[4-6]</sup>。

随着虚拟现实技术在虚拟植物研究中的应用,虚拟植物研究已发展到一个新阶段。将形态的真实和机理上的一致,作为虚拟植物研究的新追求。虚拟植物的特征在于外部形态的逼真,以建立植物个体三维模型为主体,并以其严格的形态发生学、生态学及生理学等为依据,模拟植物的生长、发育、衰老及死亡过程,是真实植物的映射。

**1.2 虚拟植物研究的意义** 虚拟植物是人类从艺术界用文字、图画及影视等对植物的反映,到科学界对植物的形态学、分类学及生理学等一系列的认识,反映了人类对植物世界的迷恋。传统的数值模型已无法满足人们深入研究植物的需要,如研究病虫害对植物的危害及其与叶色变化的关系等。因此,虚拟植物研究是科学发展的必然。在科学方面,虚拟植物研究的意义包括纵横2个方面。纵向上,可以虚拟植物为主要研究对象,以虚拟植物个体为出发点,并逐步向微

观和宏观2个方面发展,即在微观上研究植物微观结构与形态结构的关系,在宏观上研究植物个体与群落乃至生态系统的关系;横向上,虚拟植物已应用在植物研究的各个方面,如应用虚拟植物可进行新品种设计、水肥试验、病虫害试验<sup>[7-10]</sup>。在艺术和其他方面,虚拟植物也有着广泛的应用,如影视作品中植物生长的模拟,教学上利用虚拟植物传授相关知识等。虚拟植物将成为植物研究、知识传授和技术培训的重要载体。因此,虚拟植物研究是科学研究的必然,具有重要的科学及应用价值。

## 2 虚拟植物的研究

**2.1 虚拟植物研究现状** 植物研究从表达方式上经历了数值方程表达、可视化表达与虚拟现实技术表达3个过程。植物可视化研究起源于Ulam和Cohen对植物分枝模型的研究,发展于匈牙利植物学家Lindenmayer提出的描述植物细胞发生的L系统。该系统后来成为描述植物形态发生的主要工具。加拿大Calgary大学Prusinkiewicz发展了L系统,开发了植物分形发生器以及虚拟植物软件Virtual Laboratory。20世纪80年代de Reffy等在法国农业发展国际会议中心(CIRAD)开发了虚拟植物系统AMAP。该系统将植物归纳为24个基本结构,利用图形库进行植物设计。该软件最初研发目的是进行植物学研究,并不能很好地应用于植物与环境交互的研究,主要用于景观设计,是功能最强大的景观开发软件之一。为了弥补其不足,在AMAP的基础上,中国科学院自动化所和法方联合开发了以开源语言Scilab开发了功能结构模型Greenscilab<sup>[16]</sup>。功能模型可以分为5类,即基于过程的模型、干型模型、L系统、分形模型、光在冠层的模型。其代表模型分别是COTTON模型(GOSSYM模型与L系统的结合),LIGNUM模型(主要用于描述树干与叶的关系,应用受到较大限制),L-system(已得到极大发展,现在不仅用于描述植物的一般结构,已广泛用于根结构、植物病害及昆虫行为等研究,被称为植物与环境交互的模型,由Diggle于1988年研究开

基金项目 国家高技术研究发展计划项目(2007AA10Z237)。

作者简介 胡林(1967-),男,内蒙古商都人,博士,副研究员,从事3S技术应用、农业信息技术方面的研究。

收稿日期 2008-06-24

发),分形模型(依据分形理论建立,主要有迭代函数系统、分枝矩阵、粒子系统等,与L系统较为近似)以及光在冠层的传播模型(主要有Dckmann的ECOPHYS模型、Celire Leroy的基于AMAP的ARCHMED模型和Percy & Yang的YPLANT模型,都是描述光在三维冠层传播的模型)<sup>[11-15]</sup>。

**2.2 虚拟植物研究技术**

**2.2.1 虚拟植物模型。**随着虚拟植物研究的深入,目前最主要的模型是以L-system为基础的L系统系列的模型、以AMAP为基础的模型和澳大利亚昆士兰大学建立的虚拟植物模型。L系统适合描述小型植物;AMAP系统适合描述大型植物,特别是大树;在AMAP的基础上,法方与中国科学院自动化研究所合作,以开源程序Scilab语言为基础开发了Geenscilab,可以与环境交互进行植物机理的研究。澳大利亚昆士兰大学CPA研究中心在L系统基础上,结合外部环境模型(光照、病虫害等)

以及由三维数字化仪对三维植物的测量数据获得的虚拟植物模型(包含植物新器官的产生规则以及已有器官的大小、几何形状的变化规则)。这些规则可能局限于某一常量环境中所观察到的植物动力学特性或者由环境条件变化引起的植物连锁反应。虚拟植物模型通过分析测量数据获得的植物形态发育规则描述植物的生长过程。L系统的本质是一种符号重写系统,即用一个重写规则逐步替换初始对象的各个部分来确定一个复杂的对象。图1是Lstudio绘制的植物和根。以Lsystem开发的程序按平台分成不同版本,在Windows平台上运行的是Lstudio,在Unix平台上运行的是Virtual Laboratory。图2是在AMAP中生成的植物的图形。不论是Lstudio还是AMAP生成的植物都缺乏真实感,与影视动画上使用的模型相差甚远(图3)。因此,作为植物生态生理等研究用的虚拟植物模型,还有待于进一步研究<sup>[17-18]</sup>。

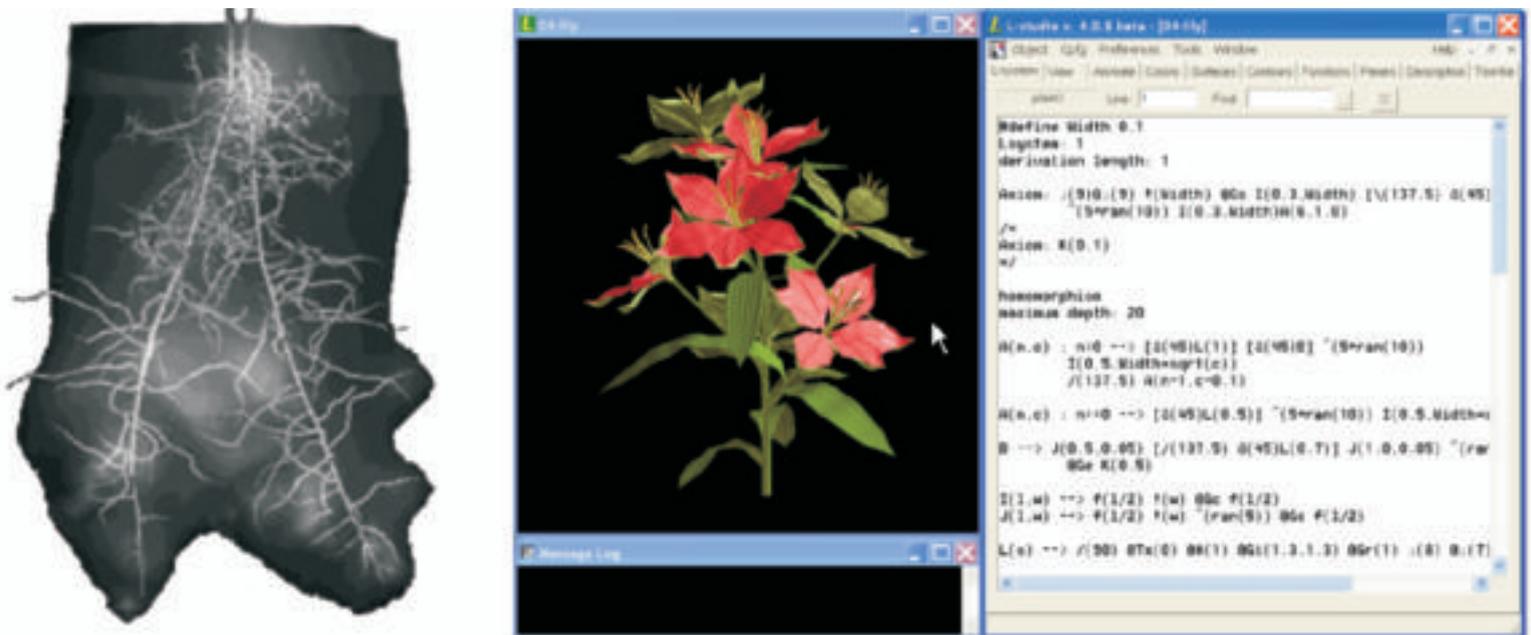


图1 Lstudio 运行界面及绘制的植物和根

Fig.1 The running interface of Lstudio and the drawn plant and root



图2 在AMAP中生成的树

Fig.2 The produced tree in AMAP

**2.2.2 虚拟植物研究设备。**设备在研究工作中占有十分重要的地位,甚至起到关键作用,决定研究工作能否进行。植物可视化的建模从人工数据采集、数字化仪到三维扫描仪与相机等,手段逐步自动化、精确化。人工数据采集与完全的手工建模相匹配。由于数据采集的速度慢、精度低,因此建立的模型精度低,不能满足精准研究的要求。数字化仪在一定程度上提高了数据采集速度。但是,由于每次只能采集1个点的数据,采集速度很慢,是数据采集过程中的一个过渡阶段。三维扫描与摄影是2种自动化非常高的数据采集建模

方法,广泛应用于各种建模如古建筑、文物及工业设计等方面。

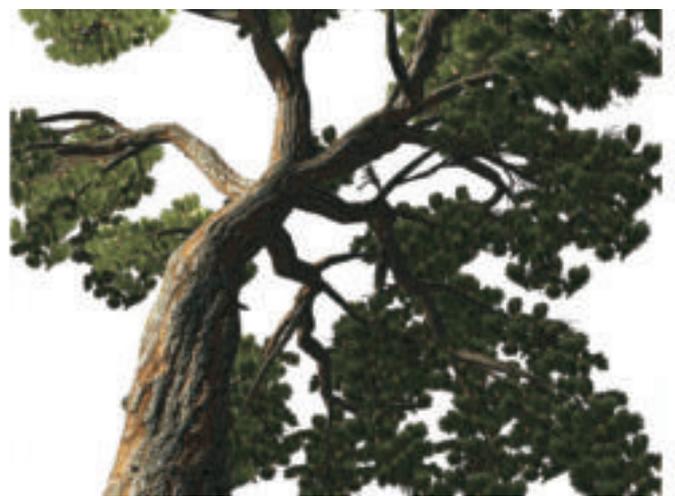


图3 在xfrog中生成的树木

Fig.3 The produced tree in xfrog

目前在植物建模中采用的主要扫描仪有美国Polhemus公司生产的Fastscan与Leica Tscan手持激光扫描仪。Fastscan方便携带,但使用受环境光的影响。如果在大田中应用,则应在早晚直射光线不很强时进行,并且由于激光易被植物吸收,因此必须对植物进行适当处理。Leica是世界上最著名影像、测量设备公司,其生产的Tscan不受环境光的影响,可测量体形较大的植物<sup>[19-20]</sup>。利用照片进行三维重建的图像重构方法有2种。一种是Profile方法,可用的软件有3DSOM pro<sup>[21]</sup>,是Greative Dimension Software公司的产品;另一

种是 Photogrammetry 方法, 可用的软件有 Imagemodeler<sup>[22]</sup>, 是 Realviz 公司的产品, 现在该公司已经成为 Autodesk 的子公司。前者适合于小型植物, 而后者主要用在大型建筑的重构上, 也可以用于大型树木的三维重构。扫描仪和照片重构法各有特点。利用扫描仪可快速获取植物三维模型, 但是由于无法直接获得植物的材质和纹理, 还需用数码相机获取, 再进行渲染。用照片重构的方法, 可以获得非常逼真的三维树模型, 但是可能造成较大的误差, 在获取照片时要做较多的标定工作。如果将 2 种方式相结合, 并利用电子测距仪、全站仪等测量设备精确测量距离, 则可以得到更准确的模型。此外, 立体摄影也是目前较常用的植物三维重建方法。

**2.2.3 虚拟植物研究的主要机构。**目前, 在国际上较有名的虚拟植物研究组织主要分布在欧洲、美洲、大洋洲和亚洲。欧洲主要有法国农业发展国际合作研究中心(CIRAD)、德国哥廷根大学、英国 Westminster 大学(主要人物是 Shawn L. Harris) 和荷兰的 Wageningen 大学<sup>[23]</sup>。法国主要研究植物结构建模, 开发了著名的 AMAP 软件<sup>[24]</sup>。Wageningen 大学则主要进行虚拟植物生理生态等研究。捷克 Czech Technical University 的 Bedrich Benes 研究了虚拟植物的生长方向<sup>[25]</sup>。美洲主要有加拿大 Calgary 大学在 Lindennayer 工作的基础上研究并发展了 L-system, 开发了基于 Unix 平台的 Virtual Laboratory 和基于 Windows 平台的 Lstudio<sup>[26-27]</sup>。大洋洲有澳大利亚 Queensland 大学<sup>[28]</sup>。亚洲有日本大阪大学<sup>[29]</sup>、中国农业大学<sup>[30]</sup>、中国科学院自动化研究所、中国农业科学院、南京农业大学、北京市农林科学院以及台湾大学等。Queensland 大学主要应用 L-system 系统研究植物结构建模。日本大阪大学主要在扩展 L-system 应用的基础上, 建立了实时虚拟植物交互模型; 中国农业大学主要开展了虚拟作物的数字化设计, 既有 L-system 的应用, 又借鉴了 AMAP 系统, 与中国科学院自动化研究所进行了相关研究的合作; 中国科学院自动化所主要与法国农业发展国际合作研究中心进行 Greensilab 结构功能模型研究; 中国农业科学院主要研究了农作物模型的虚拟设计; 北京市农林科学院主要研究虚拟作物的生产过程。在以上研究单位中, 最典型的研究内容是对 L-system 与 AMAP 研究成果的应用及其扩展性研究。

### 2.3 虚拟植物研究中存在的问题

**2.3.1 研究手段落后。**目前一些研究单位仍然采用传统的手工方法进行虚拟植物研究, 与现代化研究的要求不符。手工数据采集的劳动量大, 误差大, 工作周期长, 难以保证模型结果。数据采集、数据分析和数据表达自动化是科学的发展方向。在植物建模的研究中, 应采用科学手段和方法, 提高研究效率。

**2.3.2 研究积累不够。**虚拟植物模型还处于起步阶段, 模型的外观真实性不足, 虚拟植物模型动态机理不强, 还难以支撑植物生理、生态等研究工作。在基因、形态学方面及模拟植物群体相互关系的研究方面, 应进一步加强。

**2.3.3 模型表现能力弱。**虚拟植物的研究所建立的模型目前仅能描述结构较简单的植物, 对于结构复杂的植物还缺乏描述能力, 对于花、果、根等单一器官的细致研究不足, 表达能力仍较差, 特别是对于其生命周期中外形变化较大的植物

还缺乏表达手段。

**2.3.4 虚拟植物模型缺乏整体性。**目前还没有一种能够直接表达植物完整形态的模型, 而且植物模型在表达上缺乏层次性。

**2.3.5 模型的适应性和可用性有待提高。**由于目前虚拟植物的模型研究处于起步阶段, 除了 AMAP 作为景观建模工具得到较广泛应用外, 其他模型还未具体应用。在增强模型的真实感研究中, 可以参考影视应用的一些有名模型, 如 Digital Benert 的 Verdant 系统模型、Greenworks 的 Xfrog 模型等, 进一步加强模型的真实感, 才更为符合虚拟现实技术在虚拟模型研究中应用的初衷。

### 3 结语

虚拟植物研究可简单概括为计算机仿真技术在植物生长建模上的应用。虚拟植物研究的发展过程, 就是计算机仿真技术发展过程的缩影。随着生物技术和计算机仿真技术的进步, 虚拟植物的研究将会取得更大的进步。虚拟植物研究是植物生长模型研究的发展方向, 也是整个植物科学技术进步的大集成。同时, 虚拟植物的研究会极大地推动植物学科和计算机仿真技术的进步, 并为数学、生物学及计算机科学提供交流、融合与发展的平台。

### 参考文献

- [1] 劳飞, 朱玉业. 虚拟现实技术在农业中的应用[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(14): 4375-4376.
- [2] 刘秀海, 肖伯祥, 郑文刚, 等. 玉米虚拟生长研究综述[J]. 玉米科学, 2006, 14(2): 164-167.
- [3] PRZEMYSŁAW PRUSINKIEWICZ. At and science for life: Designing and growing virtual plants with L-systems[J]. Acta Horticulturae, 2004, 63: 15-28.
- [4] PETER ROOM, JIM HANAN, PRZEMYSŁAW PRUSINKIEWICZ. Virtual plants: New perspectives for ecologists, pathologists and agricultural scientists[J]. Trends in Plant Science, 1996, 1(1): 33-38.
- [5] HUANG Z G, ZHENG Y, XIE L J, et al. A virtual plant ecosystem featuring parallel computing and distributed visualization[J]. JMVCSS, 2006, 1: 424-429.
- [6] BENES B, GUERRERO J M S. Clustering in virtual plant ecosystems[M]. VSCG Proceedings, 2004: 9-17.
- [7] WU L, LE D MET F X, HUB G, et al. A water supply optimization problem for plant growth based on greenlab model[M]. Turis: Proc of CAR, 2004: 101-108.
- [8] MALEF SERRA J, DAUZAT J, AUCLAIR D. Using plant architectural models for estimation of radiation transfer in a coconut agroforestry system[J]. Agroforestry System, 2001, 53: 141-149.
- [9] JIM HANAN, PRZEMYSŁAW PRUSINKIEWICZ, MYRON ZALUCKI, et al. Simulation of insect movement with respect to plant architecture and morphogenesis[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 35: 255-269.
- [10] JIJON KIM. A growth model for root system of virtual plants with soil and moisture control[M]. Oxford, UK: Oxford University Press, 2006: 1743-1750.
- [11] 邱建军, 肖荧南. 美国 GOSSYM 棉花生长模拟模型研究进展[J]. 世界农业, 2000(4): 21-22.
- [12] 谢云, JAMES R KINRY. 国外作物生长模型发展综述[J]. 作物学报, 2002, 28(2): 190-195.
- [13] 苏宁. 作物模拟技术在气候变化对农业生产影响研究中的应用[J]. 地学前沿, 2002, 9(1): 232.
- [14] LEROY C, LAURAS M, DAUZAT J, et al. Simulation of light transmission under Acacia mangium Willd. and Eton grandis L. canopies and comparison with in situ measurements[M]. Malaya, Indonesia: International Workshop on Smallholder Agroforestry Option for Degraded Soils, 2005: 61-65.
- [15] PEARCY R W, YANG W M. A three-dimensional crown architecture model for assessment of light capture and carbon gain by understory plants[J]. Ecologia, 1996, 108: 1-12.
- [16] COURNEDE P H, YAN H P, KANG M Z, et al. A review on the structural factorization of plants in greenlab model[M]. ICMS, 2005.
- [17] 唐卫东, 李萍萍. 基于状态机的植物生长模型的可视化研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(7): 104-108.

结合学生的生活实际,让一些自强不息的优秀留守儿童代表做报告或开交流会,借助正面素材教育孩子积极进取,自立自强;通过反面案例给学生思想上敲警钟,让他们远离一些不好的行为习惯和场所;还可以通过请在外打工的家长代表做报告,使留守儿童能更加了解父母外出的动机和对他们的爱和期望。在规范留守儿童行为方面,教师要结合发生在他们身上的具体实事教育学生不应处处以自我为中心,要让他们通过换位思考,明白己所不欲,勿施与人的道理;还要注意培养孩子的自控能力,通过纪律约束其不良行为;教师可通过唤起学生的荣誉感和自尊感,如可以让自控力差的留守儿童担任班干部,采用赏识教育,让孩子在教师的赞誉中和同学的监督下增强责任意识 and 自觉调控自己的行为。

**4.2 父母要强化责任意识,尽可能多地关注留守儿童的健康成长** 父母是孩子最好的老师,对儿童的成长有着重大的影响,教育好孩子是做父母的义不容辞的责任。家长应树立正确的教育理念,增强责任意识,不应像甩包袱似的把教育孩子的责任推给学校和看护人。也要避免出于补偿心理对孩子过分迁就,要负责而理智地对待教育孩子的问题。不但要关心留守儿的物质需求,更要关注他们的情感需要,道德品质的形成,行为习惯的养成及心理的健康发展情况<sup>[7]</sup>。

(1) 借助多种联系方式,加强亲子互动。留守儿童对父母的情感处于一个矛盾的状态。一方面留守儿童长期缺乏亲情的呵护,与父母生疏,产生了陌生感。另一方面他们又强烈地渴望着父母的关爱。根据调查发现,当留守儿童被问及是否想念自己的父母时,有50.59%的人回答经常想,有45.88%的人回答有时想。父母要经常通过电话、写信、发短信等多种联系方式多与孩子沟通交流。父母应掌握谈话技巧,从孩子的兴趣爱好出发,引导他们说出心理话;要根据孩子的年龄,预测儿童可能面对的心理困惑和实际困难,通过写信来对孩子进行指导,让孩子体验到父母通过书信所传递的浓浓亲情<sup>[7]</sup>。

(2) 父母尽量多回家探视。有的外出打工父母之所以不回家是为了节约开支,他们常常舍不得把钱花在路费上。其实,回家看孩子对于联系亲子情感是弥足珍贵的,亲情需要呵护,教育需要投入,不应该把回家看孩子的路费看成是一种负担,而应该将其视为维持亲情关心孩子的最有价值的投入。父母要利用在家的有限时间培养亲子情感,向老师、看护人了解孩子的学习情况及道德品质、行为习惯养成情况。

及时发现存在的问题,并引导孩子向正确的方向发展。

#### 4.3 优化社会环境,共助留守儿童健康发展

(1) 完善寄宿制学校管理。首先要联系实际认真制定执行严格的管理制度。教师定时巡查,到寝室检查作息情况。实行值日生制度,让留守儿自己管理好自己的生活;保持良好的环境卫生,让留守学生互相监督,使他们养成良好的生活行为习惯;同时,配备专职的指导老师,由指导老师与留守学生交朋友关心他们的饮食起居生理心理状况和行为给予帮助和指导。

其次通过多种联系方式如打电话、发短信、写信、上网等,定期向家长汇报学生的在校表现及近况;每周指定亲子谈心日,密切父母与孩子沟通交流;充分利用假期或春节家长回家时机开家长会,让家长深入了解孩子的成长情况。

另外,学校可根据当地情况,在学校课程中适当开设一些常识课,增加农村留守学生的生理和心理卫生知识,指导他们掌握日常生活技能;还可以开设校本职业技能课,让农村留守儿童掌握基本的农业知识和技能或其他的非农技术,这有利于孩子未来的发展。

(2) 动员社会力量,开展爱心行动。社会各界应组织志愿者家教或成立结对帮扶小组来帮助留守儿童;同时,动员社会力量创办农村儿童活动中心,开展寓教于乐,丰富多彩的教育、科技、文化、卫生、体育等活动对农村留守儿童进行教育引导;节假日企业也可为农民工及其孩子安排一些亲子活动,让念儿心切的农民工有机会享受到与孩子团聚的天伦之乐。

#### 5 结语

解决留守儿童问题,需要全社会的共同努力,让我们人人都献出一点爱,给农村留守儿童更多的关心和帮助,让留守儿童在远离父母的日子里,能与其他孩子一样,在这个充满爱的环境中健康成长。

#### 参考文献

- [1] 唐春兰.农村留守儿童教育问题研究[D].南宁:广西师范大学,2007:4.
- [2] 孙玉娜,孙玉艳.中国农村留守儿童问题分析[J].安徽农业科学,2007,35(7):2084.
- [3] 常青.农村留守儿童人格特征研究[D].上海:华东师范大学,2007:28.
- [4] 黄艳苹.不同留守类型儿童心理状况比较[J].中国心理卫生杂志,2007(10):671.
- [5] 陈思根.农村留守儿童的教育与管理[D].南昌:江西师范大学,2007:44.
- [6] 李星贵.留守儿童社会化问题探析[J].农村经济,2007(8):120-122.
- [7] 周宗奎.农村留守儿童心理发展问题及对策[J].华南师范大学学报:社会科学版,2007(6):123.
- [8] De Vissers P H B, Marceis L F M, Van der Heijden W A M, et al. 3D modelling of plants: A review[R]. Wageningen (Netherlands): Hart Research International, 2002.
- [9] Grigore C, Burdea P, Philippe Coffet. 虚拟现实技术[M]. 2版.北京:电子工业出版社,2005.
- [10] Grigore C, Burdea P, Philippe Coffet. 虚拟现实技术[M]. 2版.北京:电子工业出版社,2005.
- [11] Creative Dimension Software Ltd. quick stat guide[EB/OL]. [2008-06-01]. <http://www.3dsom.com/features/index.html>.
- [12] Autodesk. ImageMolder help manual[EB/OL]. [2008-06-01]. <http://imagemolder.realviz.com/>.
- [13] De Vissers P H B, Marceis L F M, Van der Heijden W A M, et al. etc. 3D modelling of plants: A review[EB/OL]. (2007-12-10) [2008-06-01]. <http://www.plant.wageningen-ur.nl>.
- [14] Christophe Gonn, Yann Guedon. AMAPnod, introduction and reference Manual[EB/OL]. (2007-03-15) [2008-06-01]. <http://www.crad.fr/anapnod/referman18/couverture.html>.
- [15] Bedrich Benes. Fast estimation of growth direction in virtual plants simulation[J]. University of West Bohemia Press, 1997(1):1-10.
- [16] Rusinkiewicz. Virtual laboratory[EB/OL]. (2007-06-20) [2008-06-01]. <http://algorithmbotary.org/lab/>.
- [17] Mech R, Prusinkiewicz P, Hanan J. Extensions to the graphical interpretation of L-systems based on turtle geometry[EB/OL]. (2007-07-20) [2008-06-01]. <http://algorithmbotary.org/lstudio/graph.pdf>.
- [18] Hanan J. Virtual plants-Integrating architectural and physiological models[J]. Environmental Modelling & Software, 1997,12:35-42.
- [19] Kaisuhko Onsh, Shoch Hasuke, Yoshfumi Kitamura, et al. Interactive modelling of trees by using growth simulation[C]. in Proc. of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 2003.
- [20] 马韞韬,郭焱,展志岗,等.玉米生长虚拟模型Greenlab-Mize的评估[J].作物学报,2006,32(7):956-963.

(上接第11065页)