

吉林省土壤侵蚀敏感性评价

陈建军^{1,2}, 张树文¹, 李洪星³, 于力⁴

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;
3. 吉林省水土保持工作总站, 吉林 长春 130051; 4. 吉林省环境监测中心, 吉林 长春 130011)

摘要: 以通用土壤流失方程(USLE)为理论基础, 在 GIS 的支持下采用地图代数方法, 对吉林省的土壤侵蚀敏感性进行影响因子的逐一评价和综合评价。针对吉林省土壤侵蚀的实际情况, 借鉴国内外的相关研究成果, 选择了降雨侵蚀力、地形起伏度、植被类型和土壤质地等 4 个因子。通过分析与综合评价, 明确了吉林省土壤侵蚀发生的可能程度、地区范围和空间分布规律, 并进一步探讨了针对不同土壤侵蚀敏感区的有效控制水土流失的对策。研究结果将为吉林省的生态环境分区管理, 合理开发利用土地资源, 有效控制土壤侵蚀的发生和发展提供重要的依据。

关键词: 土壤侵蚀; 敏感性评价; 吉林省; 地理信息系统

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)03-0049-05

中图分类号: S157

Assessment on Sensitivity of Soil Erosion in Jilin Province

CHEN Jian-jun^{1,2}, ZHANG Shu-wen¹, LI Hong-xing³, YU Li⁴

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, Jilin Province, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;
3. Total Station of Water and Soil Conservation Work in Jilin Province, Changchun 130051, Jilin Province, China; 4. The Environmental Monitoring Center in Jilin Province, Changchun 130011, Jilin Province, China)

Abstract: Taken the Universal Soil Loss Equation(USLE) as a theory foundation, we used the map algebra method to assess one by one and evaluate synthetically on influence factors of the sensitivity of soil erosion under the support of GIS in Jilin Province. We classified influence of precipitation, soil, topography and vegetation upon factor of soil erosion into five different degrees. As a result, assessment map of each factor was finished. We also drew integrated assessment map of sensitivity of soil erosion by overlapping function with ArcGIS. Through analysis and assessment, it was made clear that possible level, area coverage and spatially distributional pattern of soil erosion sensitivity. Furthermore, the effective countermeasures controlling the soil erosion are discussed. The result will provide the important basis for the partition management of ecology environment, the reasonable use of land resources, effective control of soil erosion.

Keywords: soil erosion; sensitivity assessment; Jilin Province; geographical information system(GIS)

土壤侵蚀系指土壤或其它地面组成物质在外营力作用下, 被剥蚀、破坏、分散、分离、搬运和沉积的过程, 包括水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀及复合侵蚀 5 个侵蚀类型^[1]。本文仅涉及水力侵蚀, 对含有水力侵蚀的复合侵蚀也只考虑水力侵蚀。土壤侵蚀敏感性评价是为了识别容易形成土壤侵蚀的区域, 评价土壤侵蚀对人类活动的敏感程度。国内许多研究人员对我国的不同地区进行了土壤侵蚀潜在危险度评价和水土流失敏感性评价的工作^[2-4]。

吉林省的土壤侵蚀几乎遍布全境, 有水蚀面积 17575.5 km²。其中, 轻度水蚀 10659.8 km², 中度水

蚀 5522.5 km², 强度水蚀 1393.2 km²^[5]。吉林省是我国水土流失比较严重的省份之一, 严重的水土流失造成了耕地土层变薄、地力减退, 大量泥沙淤积河道、水库, 造成生态环境恶化。本研究对吉林省土壤侵蚀敏感性进行影响因子的单要素评价和综合评价, 明确土壤侵蚀发生的可能程度、地区范围和分布规律, 为各级政府编制中长期水土保持生态环境规划、建立健全水土流失动态监测数据库、改善生态环境、建设生态省提供重要科学依据。

吉林省位于我国东北地区中部, 东南与朝鲜、俄罗斯为邻。全省面积约 1.91 × 10⁵ km², 占国土总面

收稿日期: 2004-07-10

资助项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-SW-320-1); 吉林省生态功能区划项目

作者简介: 陈建军(1975-), 男(汉族), 江西省丰城市人, 博士研究生, 主要从事遥感技术与地理信息系统应用、土地利用/土地覆盖变化方面研究工作。电话: (0431) 5542308, E-mail: jianjunchen2002@hotmail.com。

积 2.0%, 2000 年全省人口达 2.73×10^7 人。吉林省地势自东南向西北倾斜, 山地、丘陵、平原分别占 45%, 12% 和 43%。地形可分 3 类: 东部长白山地、中部丘陵台地和西部平原。吉林省西北端和广大的中、东部地区分属温带半干旱、半湿润、湿润季风气候。年平均降水量 400~800 mm, 东部地区降水量多, 为 600~1300 mm, 西部降水量少, 在 400~600 mm 间。除东南部为夏秋雨集中区外, 其余广大地区为夏雨集中区。全省平均土壤流失总量约 1.00×10^8 t/a, 其中土壤流失严重的 8.00×10^5 hm², 地表土壤流失量达 2.80×10^7 t, 年侵蚀模数为 3550 t/km², 平均流失表土厚度为 3 mm/a 左右, 年流失氮、磷、钾肥料约 300 kg/(hm²·a)^[6]。

1 评价方法与过程

参考《生态功能区划暂行规程》^[7], 根据通用土壤流失方程(USLE)的土壤侵蚀评价原理^[1], 结合吉林省的土壤侵蚀现状及其特点, 综合考虑影响土壤侵蚀敏感性的各因子, 开展评价试验与研究。土壤侵蚀受多种因素的综合影响, 包括自然因素和人为因素两

大类。土壤侵蚀敏感性评价主要是对自然因素的分析与评价, 有效揭示土壤侵蚀对人类活动的响应程度。在影响土壤侵蚀的各因子中, 降雨侵蚀力、地形起伏度、植被类型和土壤质地均有各自的空间分布特点, 4 个因子的综合作用导致了土壤侵蚀敏感性在空间分布上的复杂性。

1.1 降雨侵蚀因子敏感性评价

降雨是引起土壤侵蚀的最重要的因子, 它主要是由降雨雨滴所携带的动能对土粒产生冲击而引发土壤冲蚀。由于与土壤侵蚀关系比较密切的降雨特征参数较多, 在实际工作中采用综合的参数 R 值——降雨冲蚀潜力来反映降雨对土壤流失的影响。采用王万忠等“中国的土壤侵蚀因子定量评价研究”^[8]及章文波等“中国降雨侵蚀力空间变化特征”等研究成果提出的降水冲蚀潜力计算方法^[9], 借鉴其它相关研究的成果与方法^[10], 得到吉林省的 R 值概略分布图, 用来评价降水因子的土壤侵蚀敏感性。吉林省的 R 值从西向东逐渐增大, 由西部的 125 增长至东部的 387 ($m \cdot t \cdot cm \cdot hm^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1}$), 全省都属于中度敏感区(见表 1)。

表 1 土壤侵蚀敏感性影响因子的分级

分级	一般地区	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
R 值	< 25	25~100	100~400	400~600	> 600
土壤质地	石砾、沙	粗砂土、细砂土、黏土	砂土、壤土	砂壤土、粉黏土、壤黏土	砂粉土、粉土
地形起伏度/(°)	< 5	5~8 > 50	8~15 35~50	15~20	20~35
土地利用状况	水田、沼泽地、湖泊、河渠、水库坑塘、滩地、城镇用地、建设用地、农村居民地	有林地、灌木林、疏林地、高覆盖度草地	其它林地、中覆盖度草地、低覆盖度草地	旱地	沙地、盐碱地、裸土地、裸岩石质地
分级赋值 C	1	3	5	7	9
分级标准 SS	1.0~2.0	2.1~4.0	4.1~6.0	6.1~8.0	> 8.0

1.2 土壤质地因子敏感性评价

土壤质地组成主要包括砂粒、粉粒和黏粒这 3 类组分, 根据国际制土壤质地分类系统, < 0.002 mm 的土粒为黏粒, 0.02~0.002 mm 的土粒为粉粒, 2~0.02 mm 为砂粒。根据这 3 类粒级组分的不同含量(%), 可以把土壤质地进一步细分为砂土、壤质砂土、砂质壤土、壤土、砂质黏壤土、砂质黏土、黏壤土和黏土等。土壤数据以吉林省土壤普查办公室在 1989 年 8 月编辑的比例尺为 1:500 000 的土壤图为基础, 将栅格地图数字化成矢量数据。

吉林土壤共有 431 个土种, 根据“吉林省土壤图”和相关资料与研究对各土壤类型质地的描述, 分析和

评价土壤质地的侵蚀敏感性, 并对其进行分级赋值(见表 1)。

1.3 地形起伏因子敏感性

地形起伏度是影响土壤侵蚀的一个重要因素, 它反映了坡长、坡度等地形因子对土壤侵蚀的综合影响。对于大尺度的分析, 用地形起伏度实用且有效, 但对于吉林省而言, 用坡度数据分析比用地形起伏度分析效果更好。由国家基础地理信息中心提供的吉林省 1:250 000 的基础数据而生成的数字高程数据(DEM)后, 用地理信息系统软件生成全省平均坡度数据及分布图, 按单元内平均坡度值对应地形起伏度, 评价地形因子对土壤侵蚀的敏感性。

1.4 植被因子敏感性

植被是防止土壤侵蚀的一个重要因子,其防止侵蚀的作用主要包括对降雨能量的削减作用、保水作用和抗侵蚀作用。不同的地表植被类型,防止侵蚀的作用差别较大,由森林到草地到荒漠,其防止侵蚀的作用依次减小。在综合分析吉林省植被数据和土地利用现状对土壤侵蚀的影响特点后,以2000年的土地利用数据为基础,确定用土地利用现状数据表征植被因子的侵蚀敏感性,并对其进行分级赋值(见表1)。土地利用数据具有较好的现实性和定位的精确性,有利于提高评价结果的实用性和准确性。研究选用2000年的LANDSAT5/7的TM/ETM⁺影像,在GIS软件环境下,根据影像特征,建立判读标志并通过人机交互判读,得到2000年土地利用现状数据。土地利用分类系统包括了6个1级类、25个2级类,25个2级类型分别是:水田、旱地、有林地、灌木林、疏林地、其它林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、河渠、湖泊、水库坑塘、永久性冰川雪地、滩涂、滩地、城镇用地、农村居民点、其它建设用地、沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸地、裸岩石质地、其它。

1.5 土壤侵蚀敏感性综合评价

为了有效地定量化进行吉林省土壤侵蚀敏感性评价,必须先对降雨侵蚀力、地形起伏度、植被类型和土壤质地因子数据转换到统一的坐标系统下和修整处理,设置好分析环境,将它们分别转成100m×100m的栅格数据。

土壤侵蚀敏感性综合评价采用几何平均数法计算如下:

$$SS_j = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 C_i}$$

式中: SS_j —— j 空间单元土壤侵蚀敏感性指数;
 C_i —— i 因素敏感性等级值。在各单项影响因子的分析的前提下,利用地理信息系统软件中的空间叠加分析功能,按上式综合敏感性的分级计算和评价方法,生成土壤侵蚀综合敏感性图(见图1),且得到了各县市区的不同土壤侵蚀敏感程度的面积(见表2)。

2 评价结果分析

经过分析和对各因素的综合评价,吉林省土壤侵蚀敏感性共有4个等级,即高度敏感、中度敏感、轻度敏感和一般地区。高度敏感区面积为12 667.26 km²,中度敏感区面积为61 452.21 km²,轻度敏感区面积为93 846.67 km²,一般地区面积为22 945.19 km²,其中以轻度敏感区的占总面积的比例最大,高度敏感区所占的比例相对比较小(如图2)。

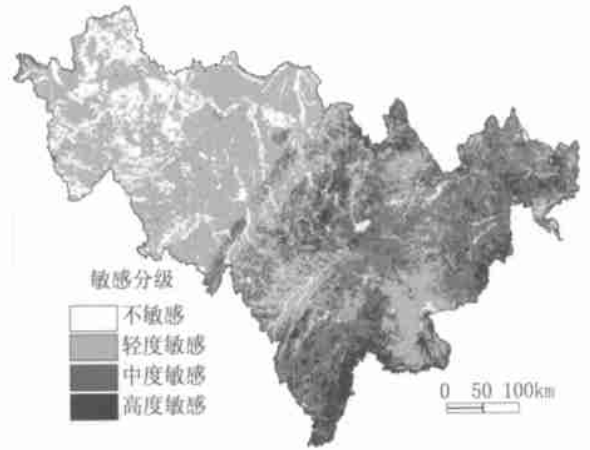


图1 土壤侵蚀敏感性综合评价图

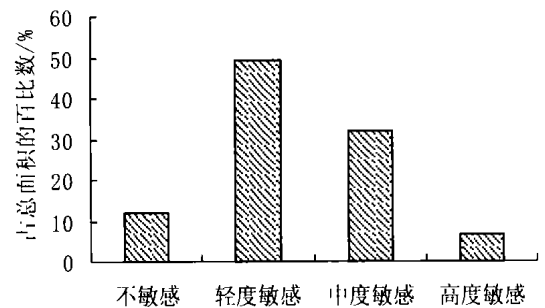


图2 不同敏感度的面积百分数

2.1 土壤侵蚀敏感性分布格局

吉林省的土壤侵蚀的总体格局:大黑山以东的山区,地形起伏度大,夏季雨量较大而集中,径流冲刷地表,以水力侵蚀为主,土壤侵蚀的敏感度较高;大黑山以西的平原区,地势平坦,降雨量少,春季多大风,土壤多为砂质土,风起沙流,以风力侵蚀为主,水力侵蚀敏感度较低。

根据土壤侵蚀综合敏感性分布图,不同的土壤侵蚀敏感程度的分布空间格局主要如下。

2.1.1 高度敏感区 在长白中山低山和吉东低山丘陵区呈现零星分布,主要集中在集安市、临江市、和龙市、汪清县、蛟河市、珲春市、桦甸市、龙井市等地区。主要是由于在这些地区的地形坡度较大和降水量多。

2.1.2 中度敏感区 相对集中分布,老爷岭、在吉林哈达岭北段中山低山区,在延边中山低山区,在老岭中山区,在威虎岭、龙岗山中山低山区。从在各市县的分布情况看,主要分布在敦化市、汪清县、安图县、和龙市、桦甸市、珲春市、蛟河市等地区。在这些地区,有一定的起伏,人类活动强烈,地表的天然植被改造造成了易产生土壤侵蚀农业作物。

2.1.3 轻度敏感区 面积最大且广泛分布,大黑山以西的平原区,长白山火山与熔岩台地区,敦化丘陵盆地谷地区,大黑山、伊舒地堑丘陵台地宽谷区、海、辉、

柳丘陵台地宽谷区。主因为这些地区地形起伏小。

2.1.4 一般地区 主要指各类水体,包括河流、湖泊、水库及沼泽地等湿地水域地区。

表 2 土壤侵蚀敏感性综合评价结果统计

km²

市县区	一般地区	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	市县区	一般地区	轻度敏感	中度敏感	高度敏感
镇赉县	2 734.51	2 578.22	3.00	0.00	图们市	1.00	94.99	785.93	247.78
白城市	743.77	1 175.86	0.00	0.00	延吉市	5.00	115.08	560.52	58.91
扶余县	658.33	3 973.97	6.02	0.00	双辽县	429.05	2 612.54	10.13	2.66
洮南市	990.25	3 881.19	233.45	7.93	桦甸市	235.08	1 219.97	4 425.8	592.26
大安市	1 915.40	3 014.83	8.00	0.00	伊通县	237.03	1 529.19	746.84	13.00
松原市	359.21	899.26	1.00	0.00	梨树县	520.37	3 085.90	580.87	9.36
榆树市	963.60	3 728.33	9.00	0.00	磐石市	85.46	1 790.38	1 804.79	177.50
前郭县	2 130.87	3 689.58	70.26	0.00	和龙市	30.47	630.08	3 584.49	821.76
乾安县	1 293.63	2 280.09	0.00	0.00	东丰县	172.52	1 509.82	820.38	22.70
农安县	360.72	5 027.68	42.72	0.00	东辽县	79.16	1 057.86	1 247.37	14.00
敦化市	356.27	4 396.88	6 201.36	681.79	抚松县	81.65	3 545.05	2 173.77	363
舒兰市	275.36	2 443.8	1 524.59	302.73	四平市	41.00	214.71	150.53	2.00
德惠市	955.35	2 489.12	11.00	0.00	靖宇县	28.41	1 006.02	1 823.54	213.74
通榆县	2 539.57	5 889.73	2.00	1.00	梅河口市	264.67	1 497.75	397.06	16.22
汪清县	42.32	1 683.86	6 315.47	882.84	辽源市	39.97	96.23	83.38	2.00
九台市	360.05	2 320.04	671.36	21.41	辉南县	169.42	1 179.07	890.05	40.93
永吉县	323.93	2 306.28	1 803.71	174.09	柳河县	70.28	882.78	1 962.82	432.72
珲春市	96.87	1 209.16	3 030.28	693.61	江源县	0.00	50.78	1 082.25	202.73
蛟河市	258.79	1 814.32	3 704.44	733.12	长白县	0.99	934.69	1 119.33	445.13
长岭县	1 696.67	4 097.72	1.00	0.00	临江市	4.99	844.39	1 131.02	1 021.23
吉林市	175.71	688.00	704.61	168.14	通化县	21.31	130.79	2 236.87	529.79
丰满区	3.83	30.12	25.83	0.00	白山市	9.00	42.7	759.37	563.80
长春市	576.14	2 454.64	502.20	44.64	通化市	0.00	53.72	529.95	156.47
公主岭市	385.18	3 706.22	83.04	1.00	通化县	0.00	11.02	351.51	457.35
龙井市	26.94	334.24	2 150.19	682.86	集安市	22.80	99.18	1 527.86	1 650.99
安图县	172.29	3 498.84	3 561.25	214.07	全省合计	22 945.19	93 846.67	61 452.21	12 667.26

2.2 土壤侵蚀敏感性与土壤侵蚀现状比较

比较吉林省土壤侵蚀敏感性与土壤侵蚀现状^[5],敏感性分布格局和目前土壤侵蚀的分布格局总体上是基本一致的,但在局部还存在一些差异。

从宏观上看,土壤侵蚀严重的地区不是在土壤侵蚀敏感性高的地区,而是中度和轻度敏感性的地区。原因可以归结于 2 个方面:一是在土壤侵蚀敏感性高的地区,通达性和利用难度大等特点,人们没有对其进行太多的开发利用,所以没有出现太严重的土壤侵蚀;二是在中度和轻度敏感性的地区,人口密度大,人类活动强度大,地形起伏小且自然条件较好,容易开发利用,长期的人类活动使自然植被变造成易土壤侵蚀的农业植被。

本研究从吉林省实际情况出发,根据通用土壤流失方程(USLE),合理选择影响土壤敏感性的关键因

子,特别是尝试利用基于卫星遥感的土地利用数据表征植被因子,在 GIS 环境下进行单因子和多因子的综合评价。在影响土壤侵蚀敏感性的诸因子中,降水、土壤类型、地形起伏(坡度)和植被覆盖(土地利用)等,都有明显作用。但其中坡度和植被覆盖是最显著的因子,起着主导作用。

土壤侵蚀的敏感性与现状总体上是一致的,但在局地有所不同。土壤侵蚀的敏感性研究主要针对自然因素的分析,揭示其对人类活动的响应程度。土壤侵蚀现状是人类活动对地表作用的综合表现,是自然因子和人为因子综合作用的结果。

从吉林省的土壤侵蚀敏感性分布与现状分布特点分析,吉林省的土壤侵蚀不是很严重。但是,作为我国重要粮食主产区,必须重视土壤侵蚀问题,特别是对于黑土区的黑土退化要高度重视,采取有效措施

防止和减少水土流失,保持粮食的稳产和高产。高度敏感区问题不突出,需继续做好水土保持工作;中度敏感区是强度和中度土壤侵蚀的主要分布区,在该区必须因地制宜进行农业生产,同时采取有效的措施进行动态监测和综合防治;对于轻度敏感区和一般地区,预防为主和加强管理。

[参 考 文 献]

- [1] 唐克丽,等. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 80—113.
- [2] 邹亚荣,张增祥,周全斌,等. GIS支持下的江西省水土流失生态环境风险评价[J]. 水土保持通报, 2002, 22(1): 48—50.
- [3] 万军,蔡运龙,路支阁,等. 喀斯特地区土壤侵蚀风险评

价——以贵州省关岭布依族苗族自治县为例[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 148—153.

- [4] 王小丹,钟祥浩,范建容. 西藏水土流失敏感性评价及其空间分异规律[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 183—188.
- [5] 吉林省水利厅. 吉林省水土流失公告[R]. 2003.
- [6] 吉林省发展计划委员会. 吉林省国土资源遥感综合调查[M]. 吉林人民出版社, 2003. 159—161.
- [7] 国家环境保护总局. 生态功能区划暂行规程[R]. 2003. 25—33.
- [8] 王万忠,焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1—20.
- [9] 章文波,谢云,刘宝元. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 33—40.
- [10] 王万忠,焦菊英,赫小品. 中国降水侵蚀力 R 值的计算与分布[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 5—18.

UNEP/UNESCO/BMU 发展中国家和新生国家环境管理研究生培训班概述

1 培训班的发展历史

发展中国家和新生国家环境管理研究生培训班(UNEP/UNESCO/BMU Postgraduate Course on Environmental Management for Developing and Emerging Countries)成立于1977年,位于德国东南部的萨克森州府德累斯顿,是由联合国环境署,联合国教科文组织,联邦德国环境、自然保护与核安全部,联邦德国环境行政机构与德累斯顿工业大学共同组织并发起的,并由同时成立位于德累斯顿工业大学内的CIPSEM执行教学计划。该培训班是为配合发展中国家与新生国家在环境管理方面的需求而进行的人员的教育与培训。迄今为止,该培训班27年来已为亚太地区、非洲、东欧、拉丁美洲及加勒比海地区的125个国家(地区)培养了1000多名学员。德累斯顿工业大学于2002年6月26日至7月2日期间组织了培训班成立25周年纪念庆祝活动。中国国家环境保护总局的焦志延、邱启文和中国科学院水利部水土保持研究所的郑粉莉等三位学员被邀请参加了25周年的庆典活动。

2 培训课程设置与学员组成

从创办以来,培训班在不断地进行调整和改革,以适应为发展中国家培训越来越多的行政管理和科教人才。1977—1991年间培训班设置每年10个月一期的课程学习,培训班成员仅有15~20名。从1991—1995年,培训班设置每年6个月一期的课程学习和1~2期历时为三周的课程学习。从1996年开始,培训班设置每年6个月一期的课程学习和2~3期历时为3周的课程学习,学员也由当初的15名发展到现在的84名。6个月培训的主要课程涵盖了综合环境管理方面的内容,除进行5~7门课程学习外,还包括2~4个历时为2~4周的特别专题学习。培训课程主要采取讲座与野外实习考察两种形式进行,并要求每位学员提供与所参与课程密切相关的国家报告,报告形式与时间依不同课程要求而异。2002—2004年,培训班特邀中国科学院水利部水土保持研究所郑粉莉讲述土壤侵蚀与水土保持专题。

培训班学员主要来自亚太地区、非洲、东欧、拉丁美洲及加勒比海地区,截止目前已有1180名学员参加了培训。其

中,379名非洲的学员来自南非、苏丹、坦桑尼亚等41个国家;亚太地区共有42个国家的525人参加了培训,中国学员有86名,是所有参与培训国家中学员人数最多的国家;拉丁美洲及加勒比海地区现有32个国家与地区的239名学员参与了培训;东欧则有9个国家37人接受了培训。

3 申请条件

申请人首先应来自于发展中国家或地区,并具有与环境相关的专业背景,熟练掌握英语并有方便的联系方式(传真或电子邮箱)。一般情况下,申请者来自于所在国的环境权威部门、高校和科研机构及其从事环境与自然资源管理的私人公司或非政府管理组织。申请者应具有大学本科学历并拥有不少于2年的从事环境保护的管理经验,年龄在25岁到45岁之间,并证明将来所从事的职业与环境管理领域有关。申请时应清晰的表明你需要参加这一课程的详细理由与原因,如有可能请附上你所在单位的证明。

每年均有超过500多名申请者竞争84个资格。国际专业指导委员会领导负责学员的资格审查及筛选工作。每一期培训班由2021学员组成,同一国家或地区只可能有12位人选参加同一课程培训。

4 管理机构与联系方式

自CIPSEM成立之日起,设立了秘书处与课程委员会,并在国际专业指导委员会的指导下进行工作,秘书处设有1位主任、3位秘书,现培训班中心主任为Heiner Kluge博士;课程委员会现设有1位主席,10位委员,课程委员会现任主席为德国土壤学会主席Franz Makeschin教授。

通讯地址: Technische Universität Dresden, UNEP/UNESCO/BMU International Postgraduate Training Programme on Environmental Management, D-01062 Dresden, Germany

电话: 0049-351-497-9910(9911, 9922, 9923 或 9924)

传真: 0049-351-495-1215

E-mail: unep@mailbox.tu-dresden.de

http://www.tu-dresden.de/cipssem

(张玉斌,郑粉莉 中科院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室)