



不同节水措施对水田生态环境的影响研究

Study on Influence of Different Irrigation Measures on Ecological Environment of Paddy Field

潘学渊/PAN Xue-yuan¹,陈晓飞/CHEN Xiao-fei¹,杨利/YANG Li²,丁良帅/DING Liang-shuai²,殷飞/YIN Fei¹

1. 沈阳农业大学水利学院,沈阳 110161
2. 沈阳市水利局苏家屯区水利科学试验站,沈阳 110101
1. Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China
2. Water Conservancy Science Experiment Station of Sujiatun Area, Shenyang 110101, China

[摘要] 通过大田试验,研究了水稻浅水灌溉、浅湿灌溉和覆膜灌溉对生态环境的影响机理。结果表明,相对于其它 2 种节水措施,覆膜可以提高土壤温度,降低空气湿度,减少渗漏和棵间蒸发以及温室气体 CH₄ 和 N₂O 的排放量,可控制杂草的生长和节水增产,从而促进作物有效生长、早熟;可有效控制病虫害、草害;提高灌水生产率、经济效益和生态环境效益。3 种节水措施,覆膜效果最佳,浅湿灌溉次之,浅水灌溉最差。

[关键词] 水稻;覆膜灌溉;生态环境;灌水生产率;经济效益

[文献标识码] A

[中图分类号] S274.1,X820.3

[文章编号] 1000-7857(2006)04-0059-05

Abstract: This paper studies on the influence of different irrigation measures including film-mulched irrigation, “shallow to wet” irrigation and “shallow water” irrigation on the ecological environment of paddy field by field experiment. The results show that, the film-mulched irrigation method may increase the soil temperature, reduce the air humidity, leakage, evaporation, emitting of greenhouse gas of CH₄ and N₂O, and control weed’s growth, thus promoting crops effective growth, precocity, saving water, increasing production, actively controlling plant disease and grass evil. And its water use efficiency, its economic benefit and the ecological environment benefit are all best. The “shallow to wet” irrigation method is the next, the “shallow water” irrigation method is the lowest.

Key Words: paddy rice; film-mulched irrigation; ecological environment; water use efficiency; economic benefit

CLC Numbers: S274.1,X820.3 **Document Code:** A **Article ID:** 1000-7857(2006)04-0059-05

自 20 世纪 80 年代以来,许多学者对水稻各种节水措施作了大量研究,但针对各种节水措施条件下水田的生态环境效应研究较少。笔者在辽宁省沈阳市苏家屯水利试验站对覆膜灌溉、浅湿灌溉以及浅水灌溉条件下水田的生态环境效应做了试验研究。

1 研究方法与试验设计

1.1 试验区概况与试验设计

试验时间是 2005 年 5-10 月,地点位于沈阳苏家屯区大淑乡,地处辽河、浑河冲、洪积平原,海拔 35 m 左右;气候为亚温带大陆性季风气候,特点是春季干燥多风、冬季低温寒冷、一年四季分明,平均年降雨量约为 700 mm,其中 70%以上集中在 7、8 月份。灌溉水源为地表水,地下水联合运用。土质为粉壤土,2004 年收割后测得各层土壤主要物理指标如表 1。

表 1 试验区 2004 年收割后测得各层土壤主要物理指标 Tab.1 Main physics index of soil of each layer				
土层(cm)	容重(g/cm ³)	田间持水率(g/g)	饱和含水率(g/g)	空隙率(%)
0~10	1.40	0.346 0	0.351 8	49.22
10~20	1.53	0.268 1	0.271 5	41.63
20~30	1.62	0.255 4	0.258 4	41.75
30~40	1.43	0.366 3	0.372 8	53.47
40~50	1.41	0.357 9	0.366 7	51.66
50~60	1.41	0.380 0	0.387 5	54.71

试验设覆膜灌溉、浅湿灌溉、浅水灌溉 3 种处理,采取大区对比试验。各个大区面积均为 1 330 m²,供试水稻品种为常规稻“沈农 0299”,栽培密度 20 cm×30 cm,每穴 3~5 苗。试验区水稻采用高台软盘旱育苗,4 月 11 日播种,5 月 25 日移栽,10 月 3 日收

收稿日期: 2005-12-28
基金项目: 世界银行贷款项目(SY00F02027)
作者简介: 潘学渊,男,沈阳市东陵路 120 号沈阳农业大学 65 号信箱沈阳农业大学研究生部,硕士生,主要研究方向为水土环境与生态工程;E-mail: pxy46pxy46pxy@163.com
陈晓飞(通讯作者),女,沈阳农业大学水利学院,教授,主要研究方向为水土环境与生态工程;
E-mail: chenxiao20302@vip.163.com

最高,浅湿的次之,地膜处理的最低。这是因为浅水处理田面一直有水层,棵间蒸发量最大,浅湿的棵间蒸发量次之,地膜处理的最小。因为在田面无水层的时段地膜阻止了棵间土壤蒸发,尤其在分蘖末期的晒田阶段,地膜处理的茎秆基部空气相对湿度明显低于另外2种。整个生育期水稻茎秆基部的平均空气相对湿度是:浅水为77.26%、浅湿为74.24%、地膜为72%。浅水比浅湿高3.02%,浅湿比地膜高2.24%。冠层的空气相对湿度从各灌溉方式间的差异上看,浅水的空气相对湿度也明显高于浅湿的和地膜的,而地膜的最小。整个生育期浅水、浅湿、地膜的冠层空气相对湿度的平均值分别为74.65%、71.89%和69.7%;浅水较浅湿高2.79%,浅湿较地膜高2.19%。2 m 高处的空气相对湿度,从返青期到分蘖初、盛期,浅水和浅湿处理的空气相对湿度基本相同,但明显高于覆膜处理的。从分蘖盛期开始增大直到拔节孕穗期,由大到小分别是浅水、浅湿、地膜,其后逐渐变小,地膜与浅湿几乎相同,而浅水约高出其它2种方式5.51%。整个生育期浅水、浅湿、地膜的水稻2 m 高处空气相对湿度的平均值分别为72.9%、70.5%和68.55%;浅水较浅湿高2.4%,浅湿较地膜高1.95%。同一灌溉方式的茎秆基部空气相对湿度最高,冠层次之,2 m 高处最低。这是因为近地面水稻密集,茎秆基部的空气流动较小,从而减小了叶面蒸腾和棵间蒸发水汽的扩散,同时随着叶面积的不断增大,阳光不能直射稻田,也减小了田面水汽的蒸发;而冠层和2 m 高处空气的流动性较大,而且太阳直射造成水汽蒸发,所以空气相对湿度逐渐降低。

2.1.3 不同节水措施对水田土壤温度的影响

图3分别是3种节水措施下,水田5 cm、10 cm和15 cm 处地温的变化曲线。从宏观变化趋势上来看,3种节水措施3个深度处的地温从返青期到分蘖末期呈近乎直线上升的趋势,拔节到抽穗开花期基本稳定,乳熟期地温开始下降,黄熟期又呈基本稳定状态。这是因为乳熟期后气候变化不大,基本上没有降雨。从各处理同一深度处土壤温度的差异上看,都是覆膜温度最高,浅湿灌次之,浅水灌最低。抽穗开花期,地膜的地温明显高于浅湿灌和浅水灌,浅湿灌略高于浅水灌的地温值;从抽穗开花期到黄熟期,3种节水措施对5~15 cm 深处的地温影响差别不大。可以看出,分蘖期间地温一直几乎呈线性上升,覆膜高于浅湿灌,浅湿灌高于浅水灌。这主要是因为分蘖阶段,气温不断升高,而且浅湿灌比浅水灌更容易使阳光直接照射在田间土壤及植株茎部,土壤吸热快,土温易于升高^[2]。而覆膜区水田的地膜散热性差,透光性好,可有效地吸收光能,增加地温^[3]。在乳熟期出现一个气温低谷,这是由于乳熟期已经立秋,所以早晨的气温比较低,从而导致土温降低,而且从乳熟期以后,水田内就不再灌水,田面没有水层吸收阳光,水稻的密集度也较高,阳光无法直接照射地表。3种节水措施对5 cm 和10 cm 深处的地温影响相同,覆膜较浅湿灌全生育期平均高出0.7℃,浅湿较浅水平均高出0.4℃;而对15 cm 深处地温的影响,覆膜较浅湿高出0.6℃,浅湿较浅水高出0.4℃。相同灌溉方式不同深度的地温变化趋势相同,都是5 cm 深处最高,10

cm 深处次之,15 cm 深处最低。这是因为15 cm 以上的土温受外界气温的影响较大,当田间有水层时,受水温影响较大,逐渐向下导热;当田间无水层时,受地表温度的影响较大。

2.1.4 不同节水措施对 CH₄ 排放的影响

图4是不同节水措施对CH₄排放的影响曲线。CH₄是在严格厌氧条件下产生的,所以其只能存在于极端还原的淹水土壤中^[6]。其排放量受土壤性质、作物生长及气候因子等多种因素的影响。从宏观上来看,浅湿区的排放量最高,浅水区次之,覆膜区最低。这是由于覆膜区和浅水区分别有地膜和水层阻止了CH₄的排放。覆膜与浅水区的变化趋势相似,从返青期到抽穗开花期一直增加,其后到乳熟期骤减,乳熟期以后减小的幅度变缓;浅湿区的变化趋势有些不同,在分蘖盛期出现一个低谷,从抽穗开花期至成熟期的变化同其它2种措施。在水稻成熟期,由于水稻根系的腐败物质给土壤提供了较多的产生CH₄的基质,并且水稻植株通气组织已相当发达,所以CH₄排放量达到峰值。CH₄在淹水产生的严格厌氧条件下产生^[6],分蘖末期晒田和乳熟期以后由于田中无水层,所以大大减少了CH₄的排放量。

2.1.5 不同节水措施对 N₂O 排放的影响

图5是不同节水措施对N₂O排放的影响曲线。由图可知,浅湿区的排放量最高,浅水次之,覆膜最低,而且未覆膜区明显高于

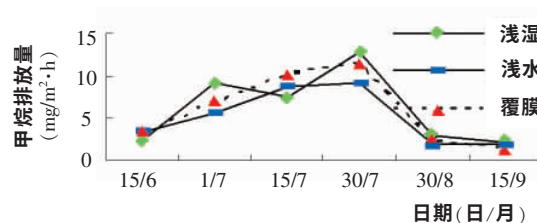


图4 不同节水措施对CH₄排放的影响

Fig. 4 Effect of different water-saving measures on letting of CH₄

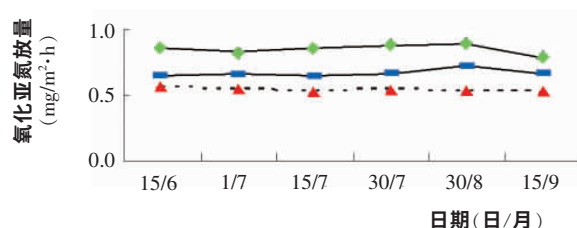


图5 不同节水措施对N₂O排放的影响

Fig. 5 Effect of different water-saving measures on letting of N₂O

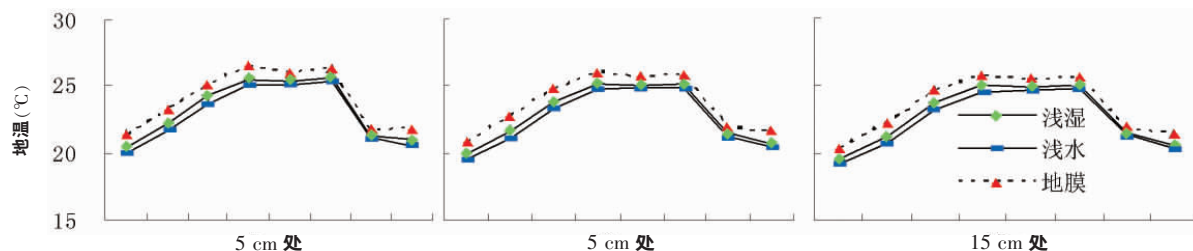


图3 不同节水措施对5 cm、10 cm、15 cm 深处地温的影响

(注:测试点从左至右分别代表下述生育期:返青、分初、分盛、分末、拔节、抽穗、乳熟、黄熟)

Fig. 3 Effect of different water-saving measures on soil temperature at 5cm,10cm,15cm depth

覆膜区。这是因为浅水区的水温较低,土壤水分高于田间持水量,土壤孔隙被水充满,影响 N_2O 向大气排放^[6]。产生 N_2O 的硝化作用是在好氧条件下进行的。覆膜区有薄膜覆盖,阻止了氧气的介入,而且覆膜也影响了 N_2O 的排放。相比之下,浅湿区的水、气、热状况最适宜气体的产生与排放,所以其排放量最高。3个区在整个生育期内的排放走势相同。

2.2 不同节水措施对水稻生长发育的影响

2.2.1 不同节水措施对水稻生长的影响

水稻是喜温作物,辽宁省初夏气温比较低,覆膜区水田气温和地温的增高促进了水稻的生长发育,明显缩短了整个生长期;且灌溉水或雨水通过横向渗透浸润膜下土壤,耕层土壤疏松,有利于土壤微生物活动,使土壤有机质加速分解,增加有效养分,促进水稻的生长发育^[4]。图6是不同节水措施情况下各调查点的分蘖情况。每个调查点长1 m,6丛水稻。可以看出颖数,在整个分蘖期间,浅水灌的茎蘖数(每个调查点的分蘖总颖数)最高,覆膜次之,浅湿灌最低。由于分蘖初期的气温较低,地膜较好的保温效果使地膜的茎蘖数增加最快,由于浅水灌的水层较深,没有足够的温度激发分蘖,所以分蘖率最低;而在分蘖盛期时,由于光照充足,水温升高,浅水灌的水层又深,激发浅水灌的分蘖速度迅速上升至最高;覆膜与浅湿的灌溉水层相同,但覆膜的水温比浅湿高,所以覆膜的分蘖速度也略高于浅湿。浅水灌的最高茎蘖数为151个,浅湿灌为132.5个、覆膜为132.8个,浅水灌比浅湿灌和覆膜分别提高27.9%、13.7%。但覆膜的有效分蘖率(齐穗数和最高分蘖数分别与24差的商)却是最高的,为74.5%、浅湿为71%、浅水为68%。覆膜较其它2种处理方式分别高3.5%、6.5%。这是由于在分蘖后期要进行晒田,覆膜区水少、温度又高,促使根系往深层土壤生长,控制株高,大幅度减少无效分蘖,提高有效分蘖率。

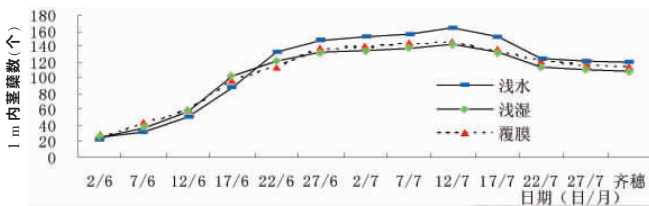


图6 不同节水措施条件下调查点水稻的分蘖动态
Fig. 6 The burgeon tendency of different water-saving measures at every survey point

2.2.2 不同节水措施对水稻生育期的影响

表3是不同节水措施对水稻生育期的影响对比表。由表可知,覆膜的生育期明显短于其它两种灌溉方式,这是因为覆膜为水稻生育创作了良好的局部生育环境,使膜内土壤的水、肥、气、热及光照均较裸地水稻优越,有利于水稻成熟^[5]。其返青期、始穗期、始穗期、齐穗期、成熟期分别较浅湿灌提前1 d、2 d、3 d、4 d、4 d;分别较浅水灌提前2 d、3 d、5 d、7 d、9 d。特别是在孕穗期和抽穗开花期,7月25日(孕穗期)覆膜区主茎剑叶已经完全长出,露出叶鞘,叶龄为14片,浅湿和浅水叶龄分别为13.7片和13.2片,相应的覆膜区茎秆内幼穗分化也较浅湿灌和浅水灌进程快。8月10日(抽穗开花期)覆膜区、浅湿灌、浅水灌的抽穗开花率分别为90%、45%和20%。北方稻区在日平均气温22~25℃和高湿条件下有利于病菌的生长繁殖,在抽穗开花期易受稻瘟病害^[1]侵袭。本试验区在水稻抽穗开花时就受到病害的侵袭,由于覆膜区开花期提前,温度较高且空气相对湿度较低,所以受害的面积较小,而浅湿灌和浅水灌水稻的抽穗开花期延后,所以受害程度明显高于覆膜区。

表3 不同节水措施对水稻生育期的影响
Tbl. 3 The table of different water-saving measures on paddy growth stages

措施	插秧期/ (日/月)	返青期/ (日/月)	始穗期/ (日/月)	始穗期/ (日/月)	齐穗期/ (日/月)	成熟期/ (日/月)	全生育期/ d
覆膜	5/25	6/03	6/11	8/01	8/10	9/25	
持续天数		8	8	51	9	45	121
浅湿灌	5/25	6/04	6/13	8/04	8/14	9/29	
持续天数		9	9	52	10	46	125
浅水灌	5/25	6/05	6/15	8/06	8/17	10/03	
持续天数		10	10	52	11	47	130

2.2.3 不同节水措施对水稻穗长、株高的影响

覆膜的平均穗长均高于不覆膜的,平均值为17.3 cm,比浅湿灌高0.3 cm,比浅水灌高0.6 cm。而覆膜的株高却是最低的,平均值是102.7 cm,浅湿灌是102.9 cm,浅水灌是104.3 cm。浅水灌较浅湿灌高1.4 cm,浅湿灌较覆膜高0.2 cm。这是因为覆膜改善了水田的生长环境,空气相对湿度降低,气温和地温升高,土壤疏松,根系发达,有机质加速分解,晒田效果明显,有效控制了无效分蘖,有足够的水分、养分进行灌浆,使穗长、饱满,从而促进水稻的生长发育^[4],并且晒田也控制住了株高,增强了抗倒伏的能力。

2.3 不同节水措施水稻的灌水量、产量、灌水生产率和经济效益分析

表4是不同节水措施的水稻产量及其构成因素表。由于覆膜的晒田效果显著,有效地控制了无效分蘖,致使有足够的水分、养分和温度进行灌浆,使颗粒饱满,所以实粒重较高。虽然覆膜区1 m高处的穗数和每穗实粒数并不是最高,但是由于覆膜的结实率高、千粒重高,所以导致覆膜的水稻产量最高,为9 750 kg/hm²,比浅湿灌高3.2%,比浅水灌高4.8%。覆膜的千粒重是25.5 g,分别比浅湿灌、浅水灌高2.62%和2.63%。

表4 不同节水措施的水稻产量及其构成因素
Tbl. 4 The output and its the constitution factors of different water-saving measures

项目	成粒重 (g/m)	穗数 (个/m)	每穗总粒数(个)	每穗实粒数(个)	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
措施							
地膜	355.4	114	132	123	93.0	25.5	9 750
浅湿灌	341.8	108	138	128	92.8	24.8	9 450
浅水灌	331.8	119	123	113	92.3	24.8	9 300

表5是不同节水措施条件下的经济效益和灌水生产率表。覆膜区在整个生育过程中由于有薄膜覆盖减少了深层渗漏和棵间蒸发,与浅湿灌和浅水灌相比明显节水,分别节水1 099.5 m³/hm²、3 000 m³/hm²,分别节省55.5元/hm²、150元/hm²。水稻的生产费用包括水费(按0.05元/m³计算)、薄膜费(750元/hm²)、农药和肥料费用的总和。虽然覆膜区比其它各区薄膜费用多,但由于其节水、高产的特点弥补了这个缺点,所以其灌水生产率和经济效益都是最高的,分别为1.01 kg/m³、9 270元/hm²;分别比浅湿灌高14.8%、1.9%;分别比浅水灌高38.4%、6.3%。而且覆膜大大减少了杂草数量,从而降低了除草剂和人工费用,这两项比其它2种节

表5 不同节水措施条件下的经济效益和灌水生产率
Tbl. 5 The economic efficiency and irrigation productivity rate in different water-saving measures

措施	灌水量 (m ³ /hm ²)	产量 (kg/hm ²)	灌水生产率 (kg/m ³)	水稻生产费用 (元/hm ²)	总收入 (元/hm ²)	经济效益 (元/hm ²)
覆膜	9 700.5	9 750	1.0	8 625	17 745	9 240
浅湿灌	10 800.0	9 450	0.9	8 565	17 199	8 934
浅水灌	12 700.5	9 300	0.7	8 475	16 926	8 571



水措施节省 30 元/hm²。浅湿灌的灌水生产率和经济效益也都分别较浅水灌高 20.5%、4.3%。

3 结论

结果表明,相对于其它 2 种节水措施,覆膜灌溉的灌水生产率、经济效益和生态环境效益最佳,浅湿灌溉次之,浅水灌溉最差。

本试验是一个连续试验,2005 年是第二年观测,2005 年的生育期降雨量明显高于 2004 年。在所讨论的 3 种不同节水措施对水田的生态环境影响方面,2 年的试验取得了一致的结果,这进一步证明了本研究结论的可靠性。而且,与 2004 年相比,2005 年更全面地观测了整个生育期的温室气体排放规律。

参考文献 (References)

- [1] 梁光南主编. 水稻生态学[M]. 北京: 农业出版社, 1983.
- [2] 彭世彰, 俞双恩, 等编. 水稻节水灌溉技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [3] 刘祖贵, 等. 农田覆盖条件下的灌水施肥新技术[J]. 中国农村水利水电, 2001(4): 12-13.
- [4] 陈怀曼, 等. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [5] 赵静, 陈晓飞, 席联敏, 等. 水稻覆膜灌溉对生态环境的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(3): 8-11.
- [6] 王一凡, 周毓珩主编. 北方节水稻作[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2000.

(责任编辑 肖庆山)

·封面文字说明·

气象、地质灾害给全球造成重大损失

3 月 23 日是世界气象日,今年的主题是“预防和减轻自然灾害”。

《瞭望新闻周刊》2005 年 12 月邀请国际问题专家评出 2005 年十大国际新闻,按得票排名首位的国际新闻是“飓风袭美、南亚地震——特大自然灾害频敲人类生存警钟”;无独有偶,由新华社组织评出的 2005 年十大国际新闻之一也有“世界自然灾害频繁”。这一切都无时无刻不在提醒、告诫我们,气象、地质等自然灾害给人类造成了重大的经济损失和人员伤亡,应该引起人们的高度重视。

首先,让我们看看 2005 年国际上损失惨重的几大自然灾害事件。(1)8 月发生在美国、墨西哥湾和巴哈马群岛的“卡特里娜”飓风,造成 1 193 人死亡或失踪,仅投保财产的损失就高达 344 亿美元;而美联社报道的此次灾害造成的经济损失将超过 2 000 亿美元,由此对全球石油市场及其相关行业带来的负面影响更是难以预估。飓风狂扫过后的新奥尔良市成为一片泽国,到处是被冲毁的房屋、漂浮的尸体、待救的难民;灾难引发的社会动乱更是触目惊心,一段时间抢劫、杀人、强奸等暴力行为频频发生。美国南部由此导致的失业人数接近 60 万。(2)10 月发生在南亚的里氏 7.6 级强烈地震及数次余震,在巴基斯坦造成高达 8 万多人死亡或失踪,近 13 万人受伤,330 万人无家可归,经济损失高达 50 亿美元。(3)7 月发生在印度的水灾和山体滑坡共造成 1 150 人死亡和失踪。(4)8 月发生在瑞士、德国和奥地利的大雨、洪灾和山体滑坡共造成经济损失 19 亿美元。(5)1 月发生在英国、丹麦、德国、挪威、瑞典和其它地方的暴风雪,共造成经济损失 15 亿美元。

再回首 2005 年国内的自然灾害发生情况。这一年,洪涝、台风、旱灾、风雹、地震、雪灾、低温冷冻、山体滑坡和泥石流等气象、地质灾害时有发生,共造成 2 475 人死亡,1 570.3 万人紧急转移安置,226.4 万间房屋倒塌,直接经济损失约 2 042.1 亿元人民币。重大灾情表现在:珠江流域、淮河流域、辽河流域、福建闽江和长江、黄河的主要支流都发生了洪涝灾害;海南、云南等省局部地区旱情严重;先后有 8 个强力台风在我国东部、南部沿海地区登陆;大陆地区发生 13 次 5 级以上地震。8 月份的“麦莎”台风在浙江省登陆,造成 4 人死亡或失踪,840.3 万人受灾,1.3 万多间房屋倒塌,直接经济损失达 65.6 亿元人民币;台风经过江苏,造成

543 万人受灾,9 351 间房屋倒塌,39 万公顷农作物受灾,直接经济损失达 12 亿元人民币;在山东,已减弱为热带风暴的“麦莎”仍造成直接经济损失 27 亿元人民币。另外,6 月份持续 1 周的特大暴雨,使广东省遭遇了百年一遇的洪水灾害,17 个市 89 个县(市、区)762 个乡镇(镇)受灾,造成直接经济损失 45.2 亿元人民币。

如此猖獗肆虐、频繁发生的气象、地质等自然灾害,大多与人类对自然界的破坏有着直接或间接的关系。例如,人类对石油能源的过度使用,造成二氧化碳大量排放,由此引起全球气候变暖以及其它一些环境和生态恶化问题,从而打破了自然生态平衡,导致自然灾害频繁发生。世界气象组织秘书长雅罗认为,现在还不能肯定飓风频繁是由全球变暖引发的,但全球变暖与热浪频发、沙漠扩大等显然有着关联。

气象、地质等自然灾害的袭击是不分国界线的,无论是飓风、海啸还是强地震,这些都是全人类共同面临且应该合作应对的重大问题。面对这些重大自然灾害,世界各国的政府和人民需携手共渡难关,切实提高全人类对环境保护重要性的认识;广大科学家更是责无旁贷,研究这些气象、地质等自然灾害发生的原因,探寻怎样减少或避免自然灾害给人类造成损失的方法和途径,应成为科学家重大的现实研究课题。

本期封面图片为被“卡特里娜”飓风狂扫过后的新奥尔良市卫星图,中心位置的拱圆形建筑是屋顶已被掀掉的体育馆。4 幅小图分别呈现了伊拉克沙尘暴、中国南方 2005 年干旱下的农田、2006 年 2 月菲律宾莱特岛泥石流事件和德国南部 2006 年 1 月雪灾现场等气象、地质灾害惨象。

(本刊记者 李向荣)

