

## 离子液体对靶标生物和非靶标生物 AChE 的影响

卢嫚<sup>1,2</sup>, 罗帅<sup>1</sup>, 韩旭洋<sup>1</sup>, 马玲<sup>1\*</sup>

(1. 东北林业大学, 黑龙江哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨师范大学, 黑龙江哈尔滨 150025)

**摘要** [目的] 探究不同离子液体对靶标生物及非靶标生物体内酶活性的影响, 明确其对靶标生物的毒杀作用及对非靶标生物的安全性。[方法] 研究了 3 种离子液体对 2 种生物体内 AChE 活性的影响。[结果] 溴化 1-乙基-3-甲基咪唑对斜纹夜蛾 AChE 活性的影响在  $LC_{20}$  浓度处理下呈抑制趋势,  $LC_{50}$  浓度处理下呈先抑制后诱导的趋势; 对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响在  $LC_{20}$  浓度处理下呈始终抑制趋势, 在  $LC_{50}$  浓度处理下呈诱导-抑制-诱导的趋势。溴化 1-丁基-3-甲基咪唑对斜纹夜蛾 AChE 活性的影响在  $LC_{20}$  浓度处理下呈先抑制后诱导的趋势, 在  $LC_{50}$  浓度处理下呈抑制趋势; 对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响在  $LC_{20}$  浓度处理下呈先诱导后抑制的趋势, 在  $LC_{50}$  浓度处理下呈先诱导后抑制的趋势; 对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响在  $LC_{20}$  浓度处理下呈抑制趋势, 在  $LC_{50}$  浓度处理下呈先抑制后诱导趋势。[结论] 3 种离子液体在斑马鱼和斜纹夜蛾体内的积累对 2 种生物体内 AChE 的活性均有不同程度的影响, 改变生物体内神经信号的传导, 导致生物体严重的行为改变、功能紊乱、瘫痪, 从而产生毒害作用。

**关键词** 离子液体; AChE 酶; 斜纹夜蛾; 斑马鱼

**中图分类号** S433 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)19-06250-03

## Impact of Ionic Liquid on the AChE Enzymatic Activity of the Target Organisms and Non-target Organisms

LU Man, MA Ling et al (Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040; Harbin Normal University, Harbin, Heilongjiang 150025)

**Abstract** [Objective] To explore the impact on the acetylcholinesterase (AChE) enzymatic activity of different ionic liquids to target organisms and non-target organisms. Clarify its toxic effect on the target organisms and non-target organisms security. [Method] Effects of three kinds of ionic liquids on AChE enzymatic activity of both creature's body were studied. [Result] Impact on the AChE activity of 1-Ethyl-3-methylimidazolium Bromide to *Prodenia litura* from view after  $LC_{20}$  concentrations were always inhibited trend, after  $LC_{50}$  concentrations were from inhibited to induced trend; To liver of *Brachydanio rerio* from view after  $LC_{20}$  concentrations were always inhibited trend, after  $LC_{50}$  concentrations were induced-inhibited-induced trend; 1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide to *Prodenia litura* from view after  $LC_{20}$  concentrations were from inhibited to induced trend, after  $LC_{50}$  concentrations were always inhibited trend; To liver of *Brachydanio rerio* from view after  $LC_{20}$  concentrations were from induced to inhibited trend, after  $LC_{50}$  concentrations were always inhibited trend; 1,2-Dimethylimidazole to *Prodenia litura* from view after  $LC_{20}$  concentrations were from inhibited to induced trend, after  $LC_{50}$  concentrations were from induced to inhibited trend; To liver of *Brachydanio rerio* from view after  $LC_{20}$  concentrations were always inhibited trend, after  $LC_{50}$  concentrations were from inhibited to induced trend. [Conclusion] Have different levels of impact on three kinds of ionic liquids in *Brachydanio rerio* accumulating and *Prodenia litura* body of two kinds of AChE activity *in vivo*, *in vivo* changes in the conduction of nerve signals, causing organisms severe behavioral changes, disorders, paralysis, resulting in toxic effects.

**Key words** Ionic liquids; AChE; *Prodenia litura*; *Brachydanio rerio*

离子液体是在室温下为液体的离子化合物, 近几年来已被开发成一种新型绿色化学反应介质。目前, 国内外对于离子液体的研究主要集中在合成、物化性质等领域。斜纹夜蛾 (*Prodenia litura*) 属鳞翅目夜蛾科又名莲纹夜蛾, 为农作物害虫。我国除青海、新疆未明外, 各省(自治区)都有发生。斜纹夜蛾易饲养且发生世代多<sup>[1]</sup>、抗氧化性强。斑马鱼 (*Brachydanio rerio*), 又名花条鱼、蓝条鱼, 原产地为孟加拉国、印度<sup>[2]</sup>。它拥有其他模式生物所无法比拟的优点, 具有繁殖能力强、体外受精和发育、性成熟周期短、个体小、易养殖等诸多特点, 成为最重要的模式动物之一<sup>[3]</sup>。斑马鱼已被广泛应用于生物学各领域<sup>[4]</sup>, 如发育生物学<sup>[5-8]</sup>、遗传学<sup>[9-10]</sup>、肿瘤学<sup>[11]</sup>、毒理学<sup>[12-14]</sup>等。为此, 笔者以斜纹夜蛾和斑马鱼为研究对象, 研究了 3 种离子液体分别对二者体内乙酰胆碱酯酶 (AChE) 活性的影响, 以期开发绿色、高效、安全的新型杀虫剂提供理论依据。

## 1 材料与方

## 1.1 材料

## 1.1.1 供试药剂。1,2-二甲咪唑、溴化 1-乙基-3-甲基咪

唑、溴化 1-丁基-3-甲基咪唑均购于上海江莱生物科技有限公司; 磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、丙酮、乙醇、考马斯亮蓝均购于黑龙江哈尔滨益世达化学试剂有限公司; 碘化乙酰硫代胆碱购于 Amresco 公司; 毒扁豆碱购于 Sigma 公司。

## 1.1.2 供试生物。

**1.1.2.1 斜纹夜蛾。**将购于湖南农业大学的斜纹夜蛾成虫饲养于养虫室内, 保持温度 ( $26 \pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度 60% ~ 70%, 光暗周期比为 16:8 h。待卵孵化后, 以购买的饲料饲养幼虫。选用虫体大小一致、健康的 4 龄幼虫作为试虫。

**1.1.2.2 斑马鱼。**斑马鱼购于哈尔滨市大发市场。体长为 ( $2.5 \pm 0.2$ ) cm, 体重为 ( $0.24 \pm 0.05$ ) g。供试用水为经过曝气处理 24 h 以上的去氯自来水, pH 为 6.5 ~ 7.5。试验前, 将斑马鱼在供试用水中驯养 7 d, 自然死亡率小于 1%, 水温在 23 ~ 27 $^{\circ}\text{C}$ , 试验前 1 d 停止喂食, 在试验期间不投放鱼食, 试验用水与之前驯养供试用水一致, 光暗周期比为 12:12 h。

## 1.2 方法

## 1.2.1 3 种离子液体对斜纹夜蛾体内 AChE 活性的影响。

**1.2.1.1 试虫处理。**根据 3 种离子液体对斜纹夜蛾 4 龄幼虫的毒力测定结果<sup>[15]</sup>, 以 48 h 的  $LC_{50}$  为基准, 选取丙酮液 (丙酮: 蒸馏水 = 2:1, V/V) 配制成母液, 之后再用蒸馏水稀释成亚致死浓度  $LC_{20}$ , 以相同溶剂作为对照组。将健康、大小

**基金项目** 黑龙江省教育厅项目 (12531217)。

**作者简介** 卢嫚 (1982 - ), 女, 黑龙江哈尔滨人, 讲师, 硕士, 从事森林病虫害防治研究。\* 通讯作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事森林保护研究。

**收稿日期** 2014-06-03

一致的 4 龄斜纹夜蛾幼虫放入培养皿中,每个处理 15 头,每个浓度 3 个重复,分别于触杀处理 12、24、36、48 h 后取样,储存于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱用于制备酶液。

**1.2.1.2 酶液制备。**从每个处理组中随机选取 2 头斜纹夜蛾幼虫,加 1 ml 经预冷过的提取液,置于冰浴过的玻璃匀浆器内充分匀浆,AChE 离心参数为 4 000 r/min,离心 15 min,匀浆液为 0.2 mol/L PBS(pH 7.5)。

**1.2.1.3 酶活性测定。**蛋白质含量测定参照 Bradford<sup>[16]</sup> 的考马斯亮蓝 G-250 法。

参照 Ellman 等的方法<sup>[17]</sup>,略有改进。以 1.5 mmol/L 碘化硫代乙酰胆碱作底物,AChE 水解后产生乙酸和硫代胆碱,与 1.0 mmol/L 显色剂 DTNB 生成黄色物质,用 0.000 1 mol/L 毒扁豆碱终止反应,测定  $OD_{412}$  值。

**1.2.2 3 种离子液体对斑马鱼体内 AChE 活性的影响。**

**1.2.2.1 斑马鱼的处理。**根据罗帅等<sup>[18]</sup>对斑马鱼毒性测定的方法,通过试验获得 3 种离子液体对斑马鱼的毒性测定结果,以 48 h 的  $LC_{50}$  为基准,选取丙酮液(丙酮:蒸馏水 = 2:1, V/V)配制成母液,之后再用蒸馏水稀释成亚致死浓度  $LC_{20}$ ,以相同溶剂作为对照组。将活泼、大小一致的斑马鱼投放至 5 L 玻璃缸中,每个处理 15 条斑马鱼,每个浓度设 2 个平行试验,分别暴露 1、7、14、21 d,然后分别于 1、7、14、21 d 后随机挑取活的斑马鱼,储存于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱用于制备酶液。

**1.2.2.2 酶液制备。**从每个处理组中随机选取 2 条斑马鱼,将肝脏解剖出鱼体,加 1 ml 经预冷过的提取液,置于冰浴过的玻璃匀浆器内充分匀浆,置于  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  离心机内进行离心,上层清液即为酶液。AChE 离心参数为 4 000 r/min,离心 15 min,匀浆液为 0.2 mol/L PBS(pH 7.5)。

**1.2.2.3 酶活性测定。**方法同“1.2.1.3”。

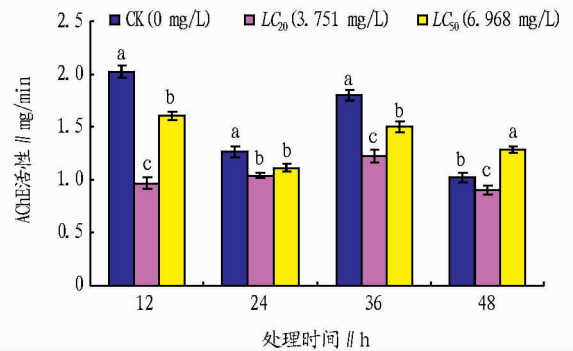
**1.2.3 数据处理。**用 SPSS 18.0 软件统计同一时间处理下不同浓度 3 种离子液体对斜纹夜蛾和斑马鱼的 AChE 的活性,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 种离子液体对斜纹夜蛾 AChE 活性的影响

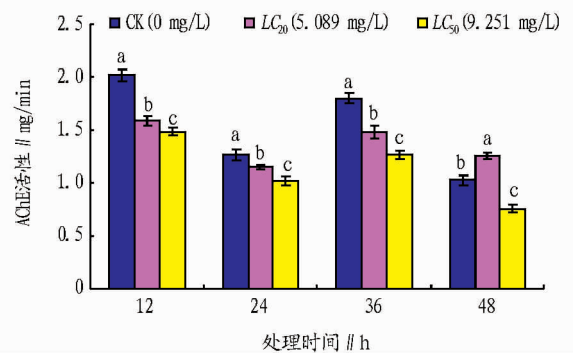
**2.1.1 溴化 1-乙基-3-甲基咪唑对斜纹夜蛾体内 AChE 活性的影响。**由图 1 可知,在 12、24、36 和 48 h 时,经过  $LC_{20}$  浓度处理过的斜纹夜蛾体内 AChE 的活性均低于对照组,抑制作用显著,其中 12 h 的抑制作用最大,抑制率为 52.00%;在 12、24、36 h 时经过  $LC_{50}$  处理过的斜纹夜蛾体内 AChE 的活性均低于对照组,其中 12 和 36 h 时抑制作用显著,12 h 的抑制作用最大,抑制率为 20.34%。48 h 时活性高于对照组,为对照组的 1.25 倍,诱导作用显著。

**2.1.2 溴化 1-丁基-3-甲基咪唑对斜纹夜蛾 AChE 活性的影响。**由图 2 可知,在 12、24、36 h 时,经过  $LC_{20}$  浓度处理过的斜纹夜蛾体内 AChE 的活性均低于对照组,抑制作用显著,其中 12 h 的抑制作用最大,抑制率为 21.28%。48 h 时活性高于对照组,为对照组的 1.22 倍,诱导作用显著;在 12、24、36、48 h 时,经过  $LC_{50}$  浓度处理过的斜纹夜蛾体内 AChE 的活性均低于对照组,抑制作用显著,其中 36 h 的抑制作用最大,



注:图中数据为平均值  $\pm$  标准差;不同字母表示同一时间不同浓度间在 0.05 水平差异显著。

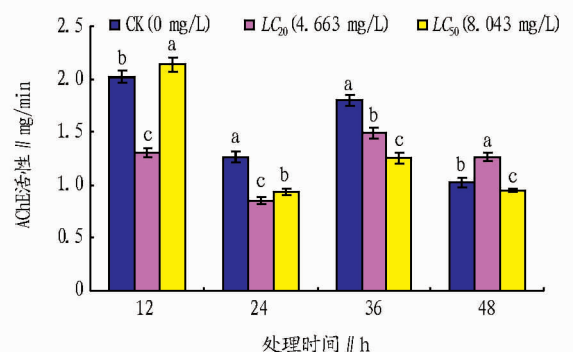
图 1 溴化 1-乙基-3-甲基咪唑对斜纹夜蛾 AChE 活性的影响抑制率为 29.68%。



注:图中数据为平均值  $\pm$  标准差;不同字母表示同一时间不同浓度间在 0.05 水平差异显著。

图 2 溴化 1-丁基-3-甲基咪唑对斜纹夜蛾 AChE 活性的影响

**2.1.3 1,2-二甲基咪唑对斜纹夜蛾 AChE 活性的影响。**由图 3 可知,在 12、24、36 h 时,经过  $LC_{20}$  浓度处理过的斜纹夜蛾体内 AChE 的活性均低于对照组,且抑制作用显著,其中 12 h 的抑制作用最大,抑制率为 35.07%;48 h 时活性高于对照组,为对照组的 1.23 倍,诱导作用显著;在 12 h 时,经过  $LC_{50}$  浓度处理过的斜纹夜蛾体内 AChE 的活性高于对照组,为对照组的 1.06 倍,诱导作用显著;在 24、36、48 h 时,活性均低于对照组,且抑制作用显著,其中 36 h 的抑制作用最大,抑制率为 30.29%。

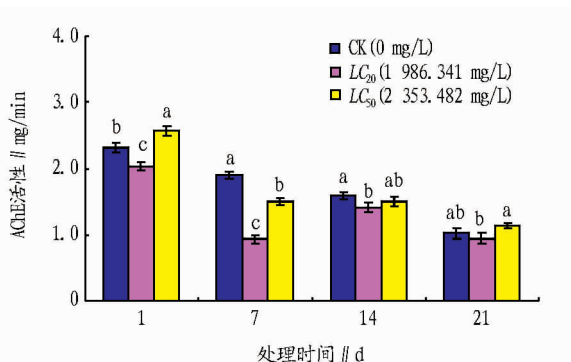


注:图中数据为平均值  $\pm$  标准差;不同字母表示同一时间不同浓度间在 0.05 水平差异显著。

图 3 1,2-二甲基对斜纹夜蛾 AChE 活性的影响

## 2.2 3种离子液体对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响

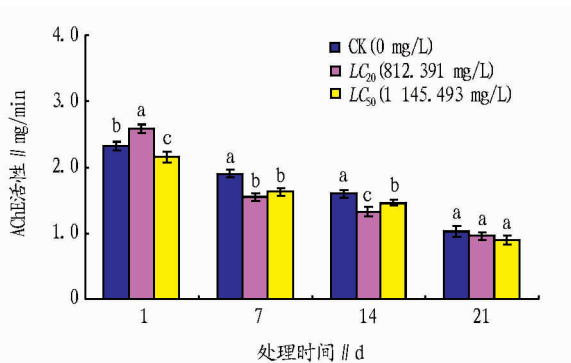
**2.2.1 溴化1-乙基-3-甲基咪唑对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响。**由图4可知,经过  $LC_{20}$  浓度处理的斑马鱼肝脏,酶活性均低于对照组,斑马鱼肝脏 AChE 活性的最低点出现在7 d后,除21 d外,其余均达到显著诱导水平,其中7 d的抑制作用最大,抑制率为50.79%;经过  $LC_{50}$  浓度处理过的斑马鱼肝脏,在1和21 d后,酶活性均高于对照组,分别为对照组的1.11倍和1.12倍,1 d的诱导作用显著,21 d的诱导作用不显著;7和14 d后,酶活性均低于对照组,斑马鱼肝脏 AChE 活性的最低点出现在21 d后,7 d的抑制作用显著,抑制率为20.63%。



注:图中数据为平均值±标准差;不同字母表示同一时间不同浓度间在0.05水平差异显著。

图4 溴化1-乙基-3-甲基咪唑对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响

**2.2.2 溴化1-丁基-3-甲基咪唑对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响。**由图5可知,经过  $LC_{20}$  浓度处理的斑马鱼肝脏,在1 d后,酶活性高于对照组,为对照组的1.11倍,且诱导作用显著,在7、14和21 d后,酶活性均低于对照组,除21 d外,有显著抑制作用,其中第7天的抑制作用最大,抑制率为18.52%;经过  $LC_{50}$  浓度处理的斑马鱼肝脏,酶活性均低于对照组,除21 d外,有显著抑制作用,其中第7天的抑制作用最大,抑制率为13.76%。

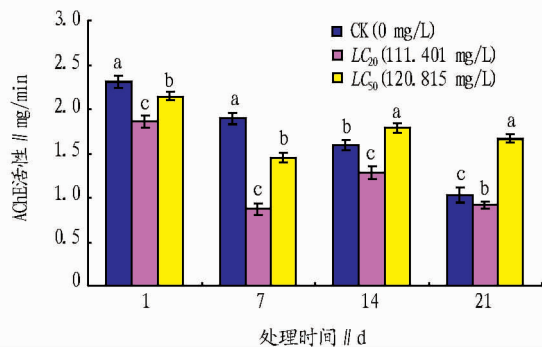


注:图中数据为平均值±标准差;不同字母表示同一时间不同浓度间在0.05水平差异显著。

图5 溴化1-丁基-3-甲基咪唑对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响

**2.2.3 1,2-二甲基咪唑对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响。**由图6可以看出,经过  $LC_{20}$  浓度处理的斑马鱼肝脏,酶活性均低于对照组,斑马鱼肝脏 AChE 活性的最低点出现在7 d后,且均有显著抑制作用,其中7 d的抑制作用最大,抑制率为53.97%;经过  $LC_{50}$  浓度处理的斑马鱼肝脏,在1和7 d后,

酶活性均低于对照组,马鱼肝脏 AChE 活性的最低点出现在7 d后,均有显著抑制作用,其中7 d的抑制作用最大,抑制率为23.81%;在14和21 d后,酶活性均高于对照组,分别为对照组的1.10倍和1.61倍,且诱导用显著。



注:图中数据为平均值±标准差;不同字母表示同一时间不同浓度间在0.05水平差异显著。

图6 1,2-二甲基咪唑对斑马鱼肝脏 AChE 活性的影响

## 3 结论与讨论

AChE 在靶标生物和非靶标生物体内广泛存在,其参与生物体内神经冲动的传递,同时也是有机磷、氨基甲酸酯类等杀虫剂的作用靶标。靶标生物和非靶标生物的生理被农药扰乱,可通过 AChE 活性的抑制率来指示。20% 以上的 AChE 抑制证明毒害作用的存在,50% 的 AChE 抑制表明对生物的生存有害[18]。在该试验中发现,除经溴化1-丁基-3-甲基咪唑2个浓度处理过的斑马鱼肝脏的 AChE 活性的最大抑制率低于20%外,其余处理组均出现超过20%的抑制率的情况,表明溴化1-乙基-3-甲基咪唑、1,2-二甲基咪唑在靶标生物斜纹夜蛾和非靶标生物斑马鱼体内积累,会对其产生一定的毒害作用,溴化1-丁基-3-甲基咪唑在靶标生物斜纹夜蛾体内积累,会对其产生一定的毒害作用。

结合国内关于对斜纹夜蛾和斑马鱼体内 AChE 活性的影响的研究来看,匡石溢等[19]研究表明亚致死剂量的毒死蜱、溴虫脲与斜纹夜蛾核型多角体病毒单独及混用后对斜纹夜蛾体内 AChE 活性存在一定影响;赵于丁等[20]研究表明毒死蜱、三唑磷和仲丁威对斑马鱼 AChE 活性存在一定影响,离子液体作为处理药剂对上述2种生物体内 AChE 活性的影响的研究较少,而且3种离子液体对斜纹夜蛾和斑马鱼体内的影响和作用机理非常复杂,仅限于对体内1种酶的变化和影响的研究远远不够,所以3种离子液体对靶标生物和非靶标生物体内酶活性的影响还需要结合其他的酶进行更深入的研究,同时探究离子液体与农药混配后对酶活性的影响。

## 参考文献

- [1] 胡国栋. 斜纹夜蛾生活习性及其防治[J]. 安徽农业, 2003(8): 2.
- [2] 刘在平, 张松林. 斑马鱼在环境监测中的应用[J]. 江苏农业科学, 2011(2): 181.
- [3] 陈磊, 刘怡, 梁生旺. 模式生物斑马鱼在中药研究中的应用[J]. 药理学报, 2012, 47(4): 434-439.
- [4] 王佳佳, 徐超, 屠云杰, 等. 斑马鱼及其胚胎在毒理学中的试验研究与应用进展[J]. 生态毒理学报, 2007, 2(2): 123-135.
- [5] 王晶, 王冰, 李纪同, 等. 斑马鱼性腺发育的组织学观察[J]. 基因组学与应用生物学, 2011, 30(2): 168-174.

水土保持生态环境建设中起到了巨大的社会影响。

**4.2 综合评价** 藉河示范区实施以来,南廓寺景区作为建设中的一个亮点,受到天水市政府高度重视,项目实施前,就对景区进行了规划设计;项目建设中,紧紧抓住示范区建设的大好机遇,由政府牵头,城建、林业、水保等部门密切协作,累计投入绿化资金 200 多万元,区内建成南苑山庄、邓园、天彩花园等景点 6 处;在不同部位栽植雪松、侧柏、国槐、油松、云杉、五角枫、火炬、红叶李和玫瑰、月季、紫薇、合欢、玉兰等园林绿化及花卉 65 个种类,80 余万株;建成上水提灌工程一处。目前景区绿化治理面积达 83.56 hm<sup>2</sup>,绿化覆盖率达到 90% 以上,初步建成了山清水秀,环境优雅,集旅游、休闲、观赏、娱乐为一体的城郊型生态景观。通过建设,提高了生态和环境品位,实现了山清水秀、鸟语花香的建设目标,走出了一条水保旅游开发的新路子。现已形成了以公园为中心,向四周扩展延伸的集旅游、休闲、观赏、娱乐为一体的综合性森林公园。

## 5 结论

水土保持治理与发展旅游观光相结合是水土保持的一种新思路。从全球范围看,经济发达的国家往往是水土保持工作开展较早且成效显著的国家。在搞好水土保持综合治理的同时,建设优美、舒适的生活环境,使之成为可持续发展的重要保障,这是水土保持的高级阶段。数十年来,我国水土保持已从当初改善生态环境,求生存路、促进脱贫致富,向改善生态环境,提高生活质量,力求回归大自然转变,形成了全方位、多层次、多功能、多目标的水土保持格局。

旅游观光型小流域是建设和发展水土保持产业的重要组成部分。为适应社会主义市场经济体制,加快水土流失防治步伐,实现社会可持续发展,必须实施水土保持产业化战略,发展水土保持旅游业,保持水土资源,实现生态、经济、社会效益相统一,是实现水土保持产业化的有效途径。

探索多元化投资机制,统筹社会各方面的力量进行生态环境建设。南廓寺景区建设投资大,涉及面广,仅靠水保部门难以完成,在景区建设中,天水市将农业、林业等部门的项目吸收到景区建设中来,这些项目带资金、带技术,按照包

片、定任务,各投其资、各负其责、统一管理的办法进行治理。同时动员全市干部职工、驻地部队官兵、学校师生进行义务植树造林,不仅加快了治理进度,还探索出了一条“水保搭台,政府导演,部门协作,全社会参与同唱水保一台戏”的新路子<sup>[7]</sup>。

采用灵活多样的土地流转方式。采取“反租倒包”等土地流转方法,在国家政策的框架内,将规划区域内的耕地反租到政府手中,政府每年按地费标准付给农民一定的有偿使用补偿金。按景区建设总体方案进行规划,以 30 年期限对土地进行招标承包,将土地包租给有实力的单位、企业或公司,充分利用社会剩余资金进行绿化开发建设,取得了良好的建设成效。

地方政策为景区发展创造了良好的外部环境。按照天水市旅游富市的战略构想,对保持水土资源,防治水土流失,建设良好的生态环境提出了更高的要求,也为发展水土保持旅游业创造了良好的外部环境。因此要大力发展水土保持生态环境建设与生态旅游产业有机结合,实现水土保持与区域经济结合。

人民生活水平和质量的提高,为开展水土保持旅游业提供了广阔的市场。随着生活水平的提高,人们不满足于单纯的物质需要,而追求更高的精神享受,希望在工作之余能找个环境优美的娱乐场所,回归大自然,享受大自然,这为开展水土保持生态旅游提供了广阔的市场前景。

## 参考文献

- [1] 杨仲杰. 天水旅游景点分布及发展规划的基础研究[J]. 甘肃科技纵横, 2005, 34(3): 58-59.
- [2] 张琳玲, 王盛萍, 王建军, 等. 黄土丘陵沟壑区吕二沟流域水土流失特征分析[J]. 人民黄河, 2006, 28(12): 49-51.
- [3] 张志强, 王盛萍, 孙阁, 等. 黄土高原吕二沟流域侵蚀产沙对土地利用变化的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1607-1612.
- [4] 天水市人民委员会. 甘肃省天水市土壤志[M]. 天水市人民委员会, 1959.
- [5] 王宏, 秦百顺, 马勇, 等. 渭河流域水土保持措施减水减沙作用分析[J]. 人民黄河, 2001, 23(2): 18-20.
- [6] 殷吉龙. 浅析森林在环境保护中的作用[J]. 经济技术协作信息, 2011(14): 125.
- [7] 安乐平, 蔡小春, 李茹虹. 天水市城市水土保持的实践与成效[J]. 水土保持应用技术, 2006(5): 29-30.
- [8] AUGUSTINE S, GAGNAIRE B, FLORIANI M, et al. Developmental energetics of zebrafish, *Danio rerio* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2011, 159(3): 275-283.
- [9] 孙婷, 谢翔, 张剑卿, 等. 水平回转培养对斑马鱼血管发育的影响[J]. 遗传, 2013, 35(4): 502-510.
- [10] 张燕丽, 张翠珍, 彭刚, 等. 斑马鱼颅骨骨组织发育特征的研究[J]. 口腔医学研究, 2014, 30(2): 97-99.
- [11] 王跃祥, 钟涛, 宋后燕. 斑马鱼发育遗传学研究进展[J]. 国外医学: 遗传学分册, 2004, 27(4): 220-223.
- [12] 吴玉萍, 熊茜, 张广献, 等. 斑马鱼基因工程的研究进展[J]. 遗传学报, 2004, 31(10): 1167-1174.
- [13] 牛荣丽, 阎松, 杜长青, 等. 抗肿瘤新药研究的新型模式生物斑马鱼[J]. 中国新药杂志, 2006, 15(7): 496-500.
- [14] 徐立利, 徐永学, 闫艳春. 斑马鱼及其胚胎在毒理学研究中的应用[J]. 生物技术通报, 2010(11): 35-39.
- [15] MARTINS J, OLIVA TELES L, VASCONCELOS V. Assays with *Daphnia magna* and *Danio rerio* as alert systems in aquatic toxicology[J]. Environment International, 2007, 33(3): 414-425.
- [16] 曹秀明, 梁荣朝, 王珊珊, 等. 斑马鱼在水生生态毒理学研究中的应用进展[J]. 高师理科学刊, 2013, 33(2): 65-67.
- [17] 卢嫚, 韩旭阳, 罗帅, 等. 咪唑类离子液体对斜纹夜蛾的毒杀[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(3): 765-769.
- [18] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Analytical biochemistry, 1976, 72(1): 248-254.
- [19] ELLMAN G L, COURTNEY K D, FEATHERSTONE R M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity[J]. Biochemical Pharmacology, 1961, 7(2): 88-95.
- [20] 罗帅, 李玉文, 马玲, 等. 离子液体对斑马鱼急性毒性及保护酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(3): 786-789, 827.
- [21] 匡石滋, 赵鹏, 张慧, 等. 毒死蜱和溴虫腈与 SINPV 混用对斜纹夜蛾体内 3 种酶活性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(2): 156-160.
- [22] 赵于丁, 徐敦明, 范青海, 等. 3 种农药亚致死浓度对斑马鱼 AChE 和 EROD 活性的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 24(6): 989-991.

(上接第 6252 页)