

# 新疆景区公路水土保持监测研究与实践

李伟, 刘涛, 蔡万鹏, 霍靓 (交通运输部科学研究院, 北京 100029)

**摘要** 为了有效掌握新疆景区公路建设过程中的水土流失规律, 综合考虑该区自然条件和项目工程特性, 结合当地水土保持监测实践经验, 通过采用地面观测和调查监测相结合的方法, 设置水蚀径流小区、简易测钎小区等地面观测设施, 进行了新疆景区公路水土保持监测研究与实践, 旨在为新疆景区公路工程科学、有序地开展水土保持监测工作提供借鉴。

**关键词** 水土保持监测; 水土保持效益; 景区公路; 新疆

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)01-200-04

公路是国民经济的重要基础设施和社会全面发展的助推器, 公路建设在为人类的生产生活带来便利的同时, 也对公路沿线的生态环境造成严重的破坏。新疆维吾尔自治区作为我国西部大开发的主战场, 对公路建设需求较大。自治区“十二五”交通运输发展规划概要中强调, 要突出“57712”工程并实现五大突破。同时, 新疆景区资源丰富、种类齐全, 景区公路基础设施也在紧张有序地进行中。为了有效掌握公路建设对景区自然环境的破坏和影响, 笔者以 G045 线赛里木湖至果子沟口段高速公路改建工程(简称“赛果高速公路”)为例, 探讨新疆景区公路水土保持监测技术方法, 可为今后同类条件公路工程水土保持监测工作开展提供科学的理论和技术指导。

## 1 工程建设及自然概况

赛果高速公路位于新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州霍城县境内和博尔塔拉蒙古自治州境内, 处于连霍国家高速公路主干线的终点位置, 是国家“五横七纵”公路运输网主骨架、连霍国道主干线和国家“7918”高速公路网规划的组成路段之一, 也是新疆维吾尔自治区“三横两纵两环八通道”高速公路网规划的重要组成部分。项目起点位于赛里木湖三岔口附近, 终点位于果子口, 全线长 56.2 km。根据公路沿线地形地貌, 由东北向西南依次可分为沿湖(赛里木湖)段 15.68 km、越岭段 15.53 km、沿溪(果子沟)段 24.99 km。建设单位将赛果高速公路确定为“保护环境、珍惜资源、建设环保水保示范路”工程, 于 2006 年 7 月开工, 于 2012 年 10 月完工移交。

作为生态环保示范工程, 赛果高速公路紧邻赛里木湖国家级自然保护区, 并穿越果子沟风景区, 其保护环境、与自然和谐的建设理念尤为重要。建设主管部门将公路线形、桥隧工程、交通设施及沿线绿化区与公路自身路容、路貌融入沿线“湖水-草原-山川-森林-溪水”等自然景观, 把果子沟大桥建设成果子沟风景区一道“彩虹桥”。果子沟大桥是国内第一座公路钢桁梁斜拉桥, 长 700 m, 跨径 170 m + 360 m + 170 m, 两主塔高 209.5 和 215.5 m, 采用三跨双塔双索面的钢桁梁斜拉, 桥面距沟底路面约 118.8 m, 达到路景交融, 自然神怡<sup>[1]</sup>。

该项目位于北天山的西段, 地貌上属科古琴山脉中、高山区, 线路西南缘为伊犁盆地边缘, 东北隅为赛里木湖洋地。气候类型属于温带大陆性气候, 区域极端最高气温 40.2 ℃, 极端最低气温 -36.6 ℃, 年降水量为 200~300 mm, 最高年降雨量 600 mm, 最大冻深为 1.18 m, 最大积雪深度 1.79 m。区内地表水包括赛里木湖、山沟水、泉水, 水源主要来自山区冰雪融化和降雨径流水。土壤主要为山地草甸土。植被按海拔分化明显, 海拔在 2 150 m 以下为山地草原, 植被主要由狐茅、苔草、针茅、冰草、凤毛菊等组成; 海拔 2 150~2 500 m 为山地草原, 草与针叶林和中生灌丛混生, 草种类型有斗篷草、早熟禾、苔草等; 海拔 2 500~2 900 m 为高山草场, 以苔草和杂草为主, 植被覆盖率为 40%~90%。

## 2 监测点布局

根据项目区土壤侵蚀类型和地形地貌特点的不同, 在现场考察和内业分析勘测资料的基础上, 布设 31 处固定监测点, 其中沿湖段布设 4 处, 越岭段布设 9 处, 沿溪段布设 18 处。监测点位置确定后定期开展监测工作, 这些监测点中完好保存至工程完工的有 10 处(表格里标记黑底部分)。各监测点位记录见表 1。

## 3 监测方法

主要采用地面观测和调查监测两种形式和方法<sup>[2-4]</sup>。地面观测法包括标准径流小区、简易插钎小区及简易侵蚀沟小区, 调查监测法包括典型扰动地表进行定点定期调查记录和巡查记录。

### 3.1 地面观测法

**3.1.1 标准径流小区。**在该项目弃土(渣)场, 选取坡度为 5~15°的试验区, 小区投影面积 5 m × 20 m, 采用水泥预制板围成矩形, 预制板围埂埋入土中 30 cm, 露出试验区地表 20 cm, 小区外围距围埂 2 m 处设置截水沟; 集流槽宽 30 cm, 两端向导流槽倾斜。导流槽采用直径 20 cm 的 PUC 管连接至集水池; 集流池规格 1.5 m × 1 m × 1 m, 池顶设置挡雨遮盖板, 降雨前将集流池和集流槽清理干净, 降雨后搅匀集水池的泥水, 并取 3 份 1 L 水样, 带回室内烘干测量计算(图 1)。

**3.1.2 简易插钎小区。**在项目区路堤边坡和路堑基边坡, 选取 56~81 m<sup>2</sup> 的裸露边坡, 选用直径 1~2 cm、长 30~50 cm 类似钉子形状的钢钎, 根据坡面面积, 按上中下、左中右纵横各 3 排共 9 根(相距 2 m × 2 m 分布)沿铅垂方向打入坡面, 并在钉帽上涂抹红漆, 编号登记入册(图 2)。坡面面积

较大时,为提高精度,钢钎密度可加大。每次暴雨后、汛期终了观测钉帽出露地面高度,记录备案。

表 1 试验小区各监测点位记录

| 分区                 | 监测点位置            | 监测对象     | 监测点类型   | 地理坐标                      | 海拔//m |
|--------------------|------------------|----------|---------|---------------------------|-------|
| 沿湖段                | G045 线 K4705(右侧) | 取土(料)场   | 1#观测小区  | 81°31'669" E,44°37'157" N | 1 916 |
|                    | K567 + 900(右侧)   | 路堤边坡     | 2#观测小区  | 81°14'108" E,44°30'735" N | 2 087 |
|                    | K568 + 580(左侧)   | 取土(料)场   | 3#观测小区  | 81°13'714" E,44°30'570" N | 2 083 |
| 越岭段                | K572 + 200(左侧)   | 弃渣临时转运场  | 1#调查样地  | 81°09'825" E,44°29'570" N | 2 094 |
|                    | K573 + 620       | 明洞开挖边坡   | 2#调查样地  |                           |       |
|                    | K575 + 100(左侧)   | 弃土(渣)场   | 3#调查样地  | 81°09'395" E,44°28'957" N | 2 044 |
|                    | K575 + 100(左侧)   | 弃土(渣)场   | 15#观测小区 | 81°09'288" E,44°29'000" N | 2 043 |
|                    | K577 + 484(左侧)   | 弃土(渣)场   | 14#观测小区 | 81°09'313" E,44°27'783" N | 2 016 |
|                    | K578 + 000(左侧)   | 弃渣临时转运场  | 4#调查样地  |                           |       |
|                    | 越岭段              | 施工便道     | 5#调查样地  |                           |       |
|                    | K579 + 422 斜拉桥   | 桥桩基周围    | 7#调查样地  |                           |       |
|                    | K580 + 500(左侧)   | 路堑边坡     | 4#观测小区  | 81°09'767" E,44°27'652" N | 1 853 |
|                    | K581 + 405       | 取土(料)场   | 6#调查样地  | 81°08'781" E,44°26'566" N | 2 035 |
| 沿溪段                | K584 + 170(右侧)   | 取土(料)场   | 9#调查样地  | 81°08'752" E,44°28'228" N | 1 766 |
|                    | K584 + 400(左侧)   | 施工场地     | 8#调查样地  |                           |       |
|                    | K587 + 900(右侧)   | 路堤边坡     | 5#观测小区  | 81°06'418" E,44°27'399" N | 1 664 |
|                    | K593 + 900(左侧)   | 河对岸自然山体  | 10#调查样地 |                           |       |
|                    | K594 + 600(右侧)   | 取土(料)场   | 11#调查样地 | 81°02'951" E,44°25'494" N | 1 419 |
|                    | K594 + 600(右侧)   | 弃土(渣)场   | 13#观测小区 | 81°03'025" E,44°25'387" N | 1 418 |
|                    | K594 + 000 主线右侧  | 路堑边坡     | 6#观测小区  | 81°03'033" E,44°25'636" N | 1 454 |
|                    | K595 + 800 主线左侧  | 路堑边坡     | 7#观测小区  | 81°01'912" E,44°24'525" N | 1 386 |
|                    | K596 + 750 主线右侧  | 路堑边坡     | 8#观测小区  | 81°01'912" E,44°24'525" N | 1 386 |
|                    | K600 + 000       | 隧道洞口处    | 12#调查样地 |                           |       |
|                    | K600 + 500(右侧)   | 桦木沟泥石流通道 | 13#调查样地 |                           |       |
|                    | K601 + 400(右侧)   | 藏营沟片石料场  | 14#调查样地 | 80°59'615" E,44°23'615" N | 1 453 |
|                    | K602 + 800(左侧)   | 弃土(渣)场   | 9#观测小区  | 80°58'583" E,44°22'009" N | 1 190 |
|                    | K602 + 800(左侧)   | 弃土(渣)场   | 16#观测小区 | 80°59'363" E,44°22'238" N | 1 193 |
|                    | K602 + 800(左侧)   | 自然坡面     | 10#观测小区 | 80°59'272" E,44°22'039" N | 1 214 |
|                    | K602 + 800(左侧)   | 弃土(渣)场区  | 11#观测小区 | 80°58'536" E,44°22'037" N | 1 210 |
|                    | K604 + 800(右侧)   | 取土(料)场   | 12#观测小区 | 80°58'583" E,44°21'184" N | 1 161 |
| G045 线 K4774 + 000 | 砂石料场             | 15#调查样地  |         |                           |       |



图 1 径流小区



图 2 插钎小区

**3.1.3 简易侵蚀沟小区。**在项目区暂不扰动的临时开挖面或填筑坡面,能够代表同类侵蚀坡面水土流失状况的区域,选取 5 ~ 10 m 宽坡面,侵蚀沟按大(沟宽 > 30 cm)、中(沟宽 10 ~ 20 cm)、小(沟宽 < 10 cm)分三类统计,每条侵蚀沟测定沟长度和上、中上、中、中下、下一部位的多边形面积,通过计算侵蚀沟体积推算流失量。

**3.2 调查监测法** 主要采用 GPS 仪器、测距仪、照相机、标

杆、尺子等工具,结合项目区地形图,对项目区扰动面积、地理位置、扰动强度、水土保持措施位置尺寸等进行典型定点调查记录和全线巡查记录。

### 3.3 观测指标与分析方法

**3.3.1 径流小区。**通过计算径流小区土壤流失量,推算其试验小区土壤侵蚀模数。根据土壤侵蚀模数,计算项目区同类型土壤侵蚀坡面的水土流失量。

$$W = sh_R$$

$$S_T = r_s sh_s \left( 1 - \frac{w_w}{100} \right)$$

式中,  $W$  为蓄水池容纳的径流量,  $m^3$ ;  $s$  为蓄水池底面积,  $m^2$ ;  $h_R$  为蓄水池平均水深,  $m$ ;  $S_T$  为小区侵蚀泥沙总量,  $kg$ ;  $r_s$  为侵蚀泥沙密度,  $kg/m^3$ ;  $h_s$  为沉积泥沙的平均厚度,  $m$ ;  $w_w$  为沉积泥沙含水量, %。

**3.3.2 简易插钎小区。**土壤侵蚀厚度是指监测时段内各插钎钎帽露出的平均厚度,它综合反映了试验小区在水蚀和风蚀等综合侵蚀作用下的侵蚀强度,其计算公式为  $\Sigma_n = \frac{1}{n} (a_1 + a_2 + \dots + a_n)$ 。通过测算试验小区侵蚀模数,计算项目区同类侵蚀坡面土壤侵蚀量。

$$\Sigma_n = r_n$$

$$S_T = \frac{r_s S}{1000 \cos \theta}$$

式中,  $S_T$  为小区土壤侵蚀总量,  $m^3$ ;  $r_s$  为平均土壤侵蚀厚度,  $mm$ ;  $S$  为简易插钎小区水平面投影面积,  $m^2$ ;  $\theta$  为简易插钎小区土壤流失观测场坡度,  $^\circ$ 。

**3.3.3 简易侵蚀沟小区。**通过计算样方小区每一断面侵蚀沟断面面积之和,然后计算出侵蚀沟总体积  $V_{沟}$  和沟蚀量  $S_T$ ,最终根据侵蚀沟小区土壤侵蚀模数,推算项目区同类侵蚀坡面土壤侵蚀量。计算样方内侵蚀沟总体积时乘以 0.7 的修正系数<sup>[5]</sup>。

$$V_{沟} = \frac{\Sigma S_1 + \Sigma S_2 + \dots + \Sigma S_n}{N}$$

$$S_T = \frac{V_{沟} r_s}{BL}$$

式中,  $\Sigma S_1, \Sigma S_2, \dots, \Sigma S_n$  为 1, 2,  $\dots, n$  断面侵蚀沟断面面积

求和,  $m^2$ ;  $B$  为观测点坡面宽,  $m$ ;  $L$  为观测点坡面长,  $m$ ;  $N$  为量测断面数;  $S_T$  为小区土壤侵蚀总量,  $kg$ ;  $r_s$  为样方内侵蚀土壤密度,  $kg/m^3$ ;  $V_{沟}$  为样方内侵蚀沟总体积,  $m^3$ 。

## 4 结果与分析

**4.1 扰动面积统计** 通过监测,项目区扰动土地面积 288.24  $hm^2$ ,其中路基工程区 229.84  $hm^2$ ,取土(料)场区 36.28  $hm^2$ ,弃土(渣)场区 9.55  $hm^2$ ,施工便道区 2.76  $hm^2$ ,施工场地区 9.81  $hm^2$ 。总扰动面积比方案设计减少 24.04  $hm^2$ 。项目区扰动土地面积变化分析见图 3。

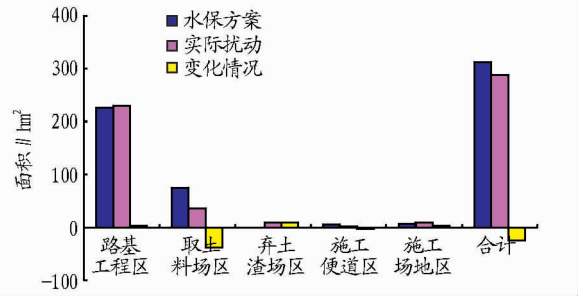


图3 项目区扰动土地面积变化分析

**4.2 水土保持措施量统计** 赛果高速公路工程水土保持措施有截水沟、排水沟、撒播草籽、客土喷播和装土编织袋拦挡、洒水降尘等,关于工程量不在此罗列。

**4.3 土壤流失量计算** 现场监测过程中,由于插钎小区和侵蚀沟小区布设比较便利,因此在公路沿线不同扰动区域进行广泛布设。但径流小区布设则需特定的环境和占地面积,因此只在该工程弃土(渣)场布设两处,2008年度布设的小区由于施工弃渣原因遭破坏,2011年9月补设一处,通过养护一直使用至设计水平年结束。项目区各试验小区土壤侵蚀模数计算分析见表2。

表2 试验小区土壤侵蚀模数计算分析

| 监测方法     | 监测点位置        | 布设方法         | 小区面积// $m^2$ | 观测时间                  | 地形地貌                  | 平均侵蚀模数<br>$t/(km^2 \cdot a)$ |
|----------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
| 插钎小区     | K587+900(左侧) | 3行,3列;间距2.5m | 56           | 2008-08-26~2011-10-11 | 路堤边坡                  | 3694.44                      |
|          | K596+750(右侧) | 3行,3列;间距2.5m | 81           | 2008-08-26~2012-10    | 路堑边坡                  | 3190.83                      |
|          | K602+800(左侧) | 3行,3列;间距3m   | 81           | 2008-08-26~2012-10    | 弃渣坡面                  | 3882.09                      |
|          | K602+800(左侧) | 3行,3列;间距3m   | 81           | 2009-04-20~2012-10    | 弃渣坡面                  | 2580.79                      |
|          | K604+800(右侧) | 3行,3列;间距3m   | 81           | 2009-04-20~2011-10-12 | 开挖边坡                  | 2443.10                      |
|          | 侵蚀沟小区        | K602+800     | 5条侵蚀沟        | 20                    | 2008-09-10~2010-04-12 | 填筑边坡                         |
| K568+850 |              | 7条侵蚀沟        | 20           | 2009-04-01~2010-10-01 | 开挖边坡                  | 3605.48                      |
| 径流小区     | K602+800(左侧) | 投影面积5m×20m   | 200          | 2008-08-25~2011-05-25 | 弃土渣场                  | 3610.31                      |
|          | K602+800(左侧) | 投影面积5m×20m   | 200          | 2011-09-28~2012-12    | 弃土渣场                  | 1210.86                      |

由表2可知,项目区平均土壤侵蚀模数强弱顺序为路堤边坡>路堑边坡>弃土(渣)场>取土(料)场。施工期取土施工造成的土壤侵蚀最强烈,但取土产生的>45°的陡坡,土壤侵蚀模数最小;该项目弃土(渣)场采取集中堆弃,并进行土地平整、撒播草籽措施,因此土壤侵蚀模数次之;路堤、路堑边坡若不采取适当的防护措施,则长期裸露的表面受到综合侵蚀因子侵蚀,土壤侵蚀模数最大。项目区各年度土壤侵蚀量变化情况见表3。

由表3可知,该项目于2008、2009年水土流失量最大,从

而体现这两年份施工扰动强度和扰动面积等达到顶峰;随着工程逐步完工,项目区年度水土流失量逐年递减。水土流失量变化情况能形象反映工程施工强度,从水土流失量的变化情况能判断主体工程强度变化状态。各地貌单元土壤侵蚀量分析见图4。

从图4可知,由于沿湖段和沿溪段地形较缓,汇水面积大,因而产生的径流对项目区地扰动地表侵蚀强烈,因此土壤侵蚀量大。越岭段工程主要以桥梁和隧道组成,施工期扰动区域裸露时间短、面积小,因此土壤流失量较小。从项目

表 3 各年度土壤侵蚀量计算分析

| 监测时段   | 监测分区     | 原地貌土壤<br>流失量//t | 总土壤流<br>失量//t | 新增土壤<br>流失量//t |
|--------|----------|-----------------|---------------|----------------|
| 2006 年 | 沿湖段      | 583.9           | 1 859.9       | 1 276.0        |
|        | 越岭段      | 119.0           | 349.4         | 230.4          |
|        | 沿溪段      | 2 990.2         | 1 484.3       | -1 505.8       |
|        | 小计       | 3 693.1         | 3 693.7       | 0.6            |
| 2007 年 | 沿湖段      | 692.0           | 5 597.6       | 4 905.6        |
|        | 越岭段      | 145.5           | 979.0         | 833.5          |
|        | 沿溪段      | 3 491.5         | 4 224.8       | 733.3          |
|        | 小计       | 4 329.0         | 10 801.4      | 6 472.4        |
| 2008 年 | 沿湖段      | 692.0           | 6 104.4       | 5 412.4        |
|        | 越岭段      | 145.5           | 1 219.4       | 1 073.9        |
|        | 沿溪段      | 3 491.5         | 5 353.0       | 1 861.5        |
|        | 小计       | 4 329.0         | 12 676.8      | 8 347.8        |
| 2009 年 | 沿湖段      | 692.0           | 5 873.6       | 5 181.6        |
|        | 越岭段      | 145.5           | 1 322.8       | 1 177.3        |
|        | 沿溪段      | 3 491.5         | 5 930.8       | 2 439.3        |
|        | 小计       | 4 329.0         | 13 127.2      | 8 798.2        |
| 2010 年 | 沿湖段      | 692.0           | 6 979.6       | 6 287.6        |
|        | 越岭段      | 145.5           | 1 053.7       | 908.2          |
|        | 沿溪段      | 3 491.5         | 3 668.3       | 176.8          |
|        | 小计       | 4 329.0         | 11 701.5      | 7 372.5        |
| 2011 年 | 沿湖段      | 692.0           | 1 881.7       | 1 189.7        |
|        | 越岭段      | 145.5           | 623.5         | 478.0          |
|        | 沿溪段      | 3 491.5         | 1 390.0       | -2 101.5       |
|        | 小计       | 4 329.0         | 3 895.1       | -433.9         |
| 2012 年 | 沿湖段      | 692.0           | 933.3         | 241.3          |
|        | 越岭段      | 145.5           | 227.5         | 82.0           |
|        | 沿溪段      | 3 491.5         | 788.3         | -2 703.2       |
|        | 小计       | 4 329.0         | 1 949.1       | -2 379.9       |
| 合计     | 29 667.1 | 57 844.8        | 28 177.7      |                |

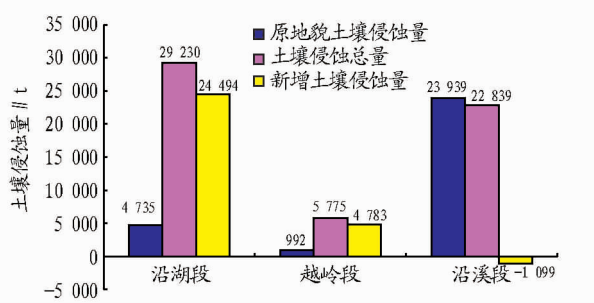


图 4 项目区各地貌单元土壤侵蚀量分析

区各地貌单元土壤流失量情况可以直观地判断建设期水土流失敏感区域为沿湖段和沿溪段,并为今后同类工程确定重点防治区提供参考。

**4.4 水土流失防治效益分析** 该项目通过实施各项水土流失防治措施后,项目扰动土地整治率达到 96%,水土流失总治理度达到 92%,土壤流失控制比达到 1.3,拦渣率达到 99%,林草植被恢复率达到 94%,林草覆盖率达到 32%。水土流失防治 6 项指标均达到设计要求,水土流失得到有效控制。

**4.4.1 生态效益。**通过实施水土保持各项措施,有效控制建设期人为水土流失。对扰动区域采取客土喷播植草和撒播草籽后,大面积绿化了公路沿线裸露表面,与已有自然地貌巧妙衔接,对保持和改善项目区生态环境,改善扰动地表土质理化性质,对固土保水具有良好的作用。

**4.4.2 经济效益。**通过实施挡渣墙、排水沟等工程措施和撒播草籽等植物措施,对取土(料)场、弃土(渣)场及松散路基边坡具有加固其稳定性,防止冲刷滑坡对路基及周边设施破坏的作用,间接节约成本和维修费用,为公路安全运行起到良好的经济效益。

**4.4.3 示范效益。**赛果高速公路作为新疆第一条开展水土保持监测的项目,为今后该地区同类工程开展水土保持监测工作起到示范作用,监测成果及经验可供同类项目借鉴。

## 5 结语

赛果高速公路作为新疆较早开展水土保持监测的项目,通过采用多种监测方法综合运用、监测点全面覆盖突出重点等技术手段,及时掌握了项目建设过程中的水土流失动态变化情况,针对水土保持方案和主体设计中存在的不足,制定了适用有效的水土流失防治方案,可为今后新疆景区公路工程开展水土保持监测提供参考。

## 参考文献

- [1] 陈宗伟,张翔.关于景观功能的山区旅游公路水土保持设计思路[J].水土保持科学,2009,7(6):46-50.
- [2] 李智广.开发建设项目水土保持监测[M].北京:中国水利水电出版社,2008.
- [3] 中华人民共和国水利部.水土保持试验规程.SL277-2002[S].北京:中国水利水电出版社,2002.
- [4] 中华人民共和国.水利部.水土保持监测技术规程.SL419-2007[S].北京:中国水利水电出版社,2008.
- [5] 何凡,陈宗伟,王金娟.鄂西南路基边坡影响土壤侵蚀量因素分析[J].水土保持通报,2009(6):168-181.

(上接第 134 页)

开展会东县优质烤烟种植气候区划提供了期待,笔者根据会东县气象局已积累的乡镇气象资料和优质烟种植气候判别指标对会东全县 44 个种烟乡镇按最佳种植区和适宜种植区进行了划分,其中最佳种植区土地面积达 3.2 万  $\text{hm}^2$ <sup>[5]</sup>,为今后在保证种烟面积的前提下,烤烟和其他作物轮作提供了科学决策依据。

## 参考文献

- [1] 凉山州气象局.凉山州第三次农业气候区划总结报告[R].2003.
- [2] 熊志强.四川亚热带丘陵山地农业气候资源及开发利用[M].成都:四川科学技术出版社,1997.
- [3] 会东县烤烟发展规划办公室.会东县优质烤烟可持续发展规划报告[R].2004.
- [4] 四川省凉山州优质烤烟种植气候适应性论证与区划[Z].四川省气象局,2005.
- [5] 四川省会东县志编纂委员会.会东县志[M].北京:方志出版社,2011.