

# 四川农业水资源开发利用研究

张世熔<sup>1</sup>, 廖尔华<sup>1</sup>, 邓良基<sup>1</sup>, 张素兰<sup>2</sup>

(1 四川农业大学土地资源系, 四川 雅安 625014; 2 四川国土规划研究院, 四川 成都 100037)

**摘 要:** 采用广义的水资源概念, 分析了四川省农业水资源的数量、质量和区域分布特征。四川农业水资源量为  $4\,113.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占全省水资源总量的 72.09%。土壤水资源是本省农业水资源的重要来源, 为后者的 38.07%。其中, 耕地、林地和牧草地的土壤水资源量分别为  $506.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $636.1 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $423.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。四川农业水资源利用中存在的问题是生态环境恶化、水利设施不足和利用效益偏低。针对这些存在问题, 提出优化配置农业水资源、兴修水利工程、调整播期和实施节水农业等措施。

**关键词:** 农业水资源, 土壤水资源, 合理利用

**中图分类号:** F323.213

**文献标识码:** A

## 1 区域概况

四川省地处中国西南, 位于长江上游地区, 东与重庆市接壤, 南与云南、贵州两省相连, 西邻西藏自治区, 北接青海、甘肃和陕西三省。地理座标为  $97^{\circ}21'E \sim 108^{\circ}31'E$ ,  $26^{\circ}3'N \sim 34^{\circ}19'N$ 。全省辖区南北长约 1 075 km, 东西宽约 921 km, 幅员面积  $48.41 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 是中国的第五大省区。

### 1.1 地形与地势

四川横跨青藏高原东缘及四川盆地两个地貌区, 境内地势西高东低, 由西北向东南倾斜, 相对高差达 7 300 m, 地貌以山地为主, 丘陵次之, 平原和高原较少, 各种地貌分别占全省幅员面积的 77.1%、12.9%、5.3%、4.7%。根据地貌条件 1, 全省可分为四个区, 即四川盆地、盆周山地、川西南山地和川西高山高原。

四川盆地区是以广元—雅安—叙永—开江四点的连线构成, 是四川盆地的主体部分。盆地西部有成都平原, 西北高, 东南低, 面积  $9\,000 \text{ km}^2$ 。盆中丘陵起伏, 纵横千里, 内江、遂宁和南充一带多为孤立的中丘。盆周山地区是指环绕四川盆地外围北面、西面和南面的山脉所在地区, 主要有大巴山、米仓山、龙门山、大娄山、乌蒙山、峨眉山等。川西南山地区包括大渡河以南至金沙江畔, 山脉呈南北走向, 自东

向西主要有小凉山、大凉山、小相岭、螺吉山、牦牛山、锦屏山、白林山等, 海拔 2 300 m ~ 4 000 m。金沙江和雅砻江流经本区, 河谷多为深切峡谷。川西高山高原区的大致范围在岷山—松潘—大渡河—锦屏山—泸沽湖一线以西。高原上山脉连绵, 下切河谷纵横。典型的平坦高原在若尔盖、红原一带; 四川境内最高的高原在石渠、色达一带, 平均海拔 4 500 m 左右, 山顶浑圆, 河谷宽展。该区内多断陷盆地, 如甘孜、炉霍、道孚一带的断陷盆地。高原上的高山有岷山、巴颜喀拉山、牟尼芒起山、大雪山、雀儿山、沙鲁里山等, 海拔一般为 5 000 m ~ 6 000 m, 其中大雪山主峰贡嘎山海拔高达 7 556 m, 为四川境内的最高峰。

### 1.2 水系与水体

四川的江河分属黄河、长江两大水系。黄河水系包括黑河、白河, 流域面积近  $1.71 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其余江河流皆属长江水系, 四川境内的长江流域面积约  $46.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占全省幅员面积的 96.5%, 占整个长江流域面积的 23.8%。

河流和湖泊。四川江河众多, 共有大、小河流 1 100 余条。流域面积在  $10 \times 10^4 \text{ km}^2$  以上的有长江干流、金沙江、嘉陵江、岷江、雅砻江 5 条, 流域面积为  $1 \sim 10 \times 10^4 \text{ km}^2$  的有 16 条。湖泊主要分布在甘孜、阿坝两州。据初步统计, 水面  $> 400 \text{ m}^2$  的湖泊

收稿日期: 2000-12-25; 改回日期: 2001-02-12.

作者简介: 张世熔(1963-), 男(汉族), 四川泸县人, 副教授, 在读博士生。主要从事农业资源的教学与科研工作。已发表论文 20 余篇。

1 043个, 其中面积 $>1\text{ km}^2$ 的 49 个。水面以泸沽湖最大, 跨川滇两省, 川境内面积 $51\text{ km}^2$ ; 次为邛海, 面积约 $31\text{ km}^2$ ; 再次是马湖和小南海等。

冰川与沼泽。四川省冰川主要分布在西部高山高原地区, 如贡嘎山、雀儿山等海拔 $5\,000\text{ m}$ 以上的高山上, 冰川覆盖面积 $510\text{ km}^2$ , 总储量约  $210\times 10^8\text{ m}^3$ 。沼泽主要分布在川西高原的东北部, 以若尔盖面积最大, 达  $26.7\times 10^4\text{ hm}^2$ 。

1.3 气候

四川位于我国东部季风区与青藏高原的交接地带。冬半年受西风环流控制, 气温较低, 降水很少; 夏半年主要受副热带高压系统控制, 湿热多雨, 由于东南季风和西南季风盛行, 全省形成多雨、高温天气。全省气候特点是地域分异明显, 垂直变化显著, 季节性变化独特, 气候类型多样。其中, 东部四川盆地属亚热带气候, 年平均气温 $16\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 最冷月(1月)均温 $4\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 最热月(7月)气温 $24\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温达 $5\,000\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 6\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 $240\text{ d}\sim 300\text{ d}$ , 全年降水量除盆地西缘达 $1\,600\text{ mm}$ 外, 盆地内多为 $900\text{ mm}\sim 1\,200\text{ mm}$ 。川西南山地基带属亚热带, 冬暖夏凉, 四季不分明。其年均气温 $12\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温持续期 $240\text{ d}\sim 270\text{ d}$ , 积温 $4\,500\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 6\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 $220\text{ d}\sim 330\text{ d}$ , 年降水量多为 $700\text{ mm}\sim 1\,100\text{ mm}$ 。川西高山高原地区气候垂直变化显著, 河谷干暖, 高山冷湿, 冬寒夏凉, 水热不足, 具有温带、寒温带、亚寒带气候特点。其最冷月均温一般 $2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 最热月均温一般 $<14\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 日均温 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续期一般只有 $30\text{ d}\sim 120\text{ d}$ , 积温 $2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 石渠、色达基本无日均温稳定在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时段, 实属长冬无夏; 该区河谷地带日均温 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续日数最多可达 $330\text{ d}\sim 360\text{ d}$ , 积温可达 $3\,000\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 4\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 但垂直方向上冷热变化很大, 无霜期 $60\text{ d}\sim 200\text{ d}$ , 该区年降水量多为 $600\text{ mm}\sim 800\text{ mm}$ 。

1.4 水资源总量

水资源是人类长期生存、生活和生产过程中所需的各种水<sup>[1]</sup>。它不仅包括以河川径流量计算的重力水资源, 而且还包括非重力的土壤水资源<sup>[2,3]</sup>。四川是中国重要的农业生产基地, 境内利用的水资源除以河川径流量计算的水资源外, 还包括土壤水资源。若是以全省实际利用的水资源分析, 土壤水资源不仅是农业供给的主体部分, 也是区域水资源供给的主体部分。因此, 四川省水资源总量  $W$  应为境内自产水资源量(即降水量)  $P$  与境外来水量  $In$  之和, 可表示为

$$W=P+In$$
 (1)

其中境内自产水资源量或降水量  $P$  满足如下水量平衡方程<sup>[4]</sup>

$$P=R+E+U_g\pm\Delta V$$
 (2)

式中  $R$  为河川径流量;  $E$  为地表、地下水总蒸发量;  $U_g$  是深层渗漏量;  $\Delta V$  是地表、土壤、植被和地下水蓄变量。

由于以非可溶岩类为主的山地与丘陵占四川省总面积的 $90\%$ , 加之水文测定资料较少, 可以认为水系的侵蚀基准面是河流, 它是四川地表水和地下水的归宿。因此,  $U_g$  基本上接近于零, 在水循环中可以忽略不计。此外, 对多年平均的水循环中的蓄水量  $\Delta V$  也可忽略不计, 于是

$$W=R+E+In$$
 (3)

表 1 为四川各区域自产水资源的分布统计, 其中河川径流量是 $2\,547.6\times 10^8\text{ m}^3$ , 分布情况为金沙江 $847.0\times 10^8\text{ m}^3$ 、岷(沱)江 $1\,002.6\times 10^8\text{ m}^3$ 、嘉陵江 $427.0\times 10^8\text{ m}^3$ 、长江上游干流 $223.0\times 10^8\text{ m}^3$ 和黄河 $48.0\times 10^8\text{ m}^3$ 。四川全境自产水资源量为 $4\,330.6\times 10^8\text{ m}^3$ , 加上境外来水 $1\,377\times 10^8\text{ m}^3$ , 二者共为 $5\,707.6\times 10^8\text{ m}^3$ 。人均 $6\,918\text{ m}^3$ , 远高全国平均水平, 但仅为世界人均占有量的 $63.99\%$ 。表 1 中的地表水量已包括了进入江河的地下水量, 因此计算河川径流量时需要减去重复水量部分(即地下水量)。

表 1 四川省各区域自产水资源( $\times 10^8\text{ m}^3$ )

Table 1 Water resource quantity of local water systems in the regions of Sichuan( $\times 10^8\text{ m}^3$ )

区 域	地表水量	地下水量	蒸散量	重复水量	水资源量
四川盆地	507.0	166.7	538.5	166.7	1045.5
盆周山地	704.8	209.5	361.7	209.5	1066.5
川西南山地	361.2	94.5	254.4	94.5	615.6
川西高山高原	974.6	239.5	628.4	239.5	1603.0
全 省	2547.6	710.2	1783.0	710.2	4330.6

四川水资源水质原本较好,但近二十来工业废水大量排入江河水体之中,加之水土流失仍较严重,江河水体大多数已受到污染<sup>[5,6]</sup>。据四川省水文局1992年四季度水质监测结果表明,全省主要河流88站次的测定中,水质为二级的49站次,占55.7%;水质为三级的21站次,占23.9%;水质超过三级的18站次,占20.5%。1993年宜宾南溪长江干沉积物中重金属含量为Ti 0.65%、V116 mg/kg、Cr 82 mg/kg、Mn 93 mg/kg、Co 22.9 mg/kg、Ni 40.6 mg/kg、Cu 112 mg/kg、Zn 206 mg/kg<sup>[7]</sup>。多年平均江河泥沙含量多为1 kg/m<sup>3</sup>,最高>5.0 kg/m<sup>3</sup>。

2 农业水资源

农业水资源仅是区域水资源中的一部分。它可看作区域地表水、地下水和土壤水之和与重复水量之差,也可认为是区域水资源量与非农用水资源之差。四川农业水资源总量为4 113.9×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>(见表2),占本省境内自产水资源量的95.00%,占全省水资源总量的72.09%。四川盆地、盆周山地、川西南山地和川西高山高原四个区域的农业水资源量分别为966.2×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>、1 000.3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>、577.9×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>、1 569.5×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,依次占全省农业水资源量的23.49%、24.32%、14.05%和38.14%。表2中区域土壤水资源量是参考刘昌明先生等人建议的方法,根据四川各区域耕地(含田土坎)、林地(含园地,但扣除林冠截流量)和牧草地(含荒草地)的蒸发量进行初步计算,并与区域蒸发量同非农用地(居民点及工矿用地、交通用地、水域和不含田土坎、荒草地的未利用地)蒸发量之差进行平衡修正后所得结果。计算中各区域面积和各类土地面积均采用1998年底的地籍变更调查数据。四川盆地、盆周山地、川西南山地和川西高山高原四个区域的耕地年蒸发量分别为562.9 mm、708.2 mm、610.4 mm和426.4 mm,林地年蒸发量分别为340.9 mm、379.6 mm、310.9 mm和300.0 mm,牧草地年蒸发量分别为426.1 mm、

474.6 mm、388.6 mm和257.6 mm。按上述标准计算,四川全省耕地、林地和牧草地的土壤水资源量分别是506.8×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>、636.1×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>和423.4×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。因此,四川省‘土壤水资源量为1 566.3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,占全省农业水资源的38.07%。

尽管四川水资源总量为5 707.6×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,但出境水量也高达约3 769×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。因此,四川省农业、工业以及居民生活用水等净消耗的水量仅1 938.6×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。1998年,农业灌溉用水量约为130×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,农业耗水总量为1 696.3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,由土壤提供的非重力水资源占其92.34%。由此可以看出,土壤水资源是农业用水的最大供给者,而农业是国民经济中耗水量最大的产业,所以无论是区域水资源总量还是区域农业水资源量的计算,忽略土壤水资源都是不现实的。

3 农业水资源开发利用现状

四川水资源开发利用历史悠久,早在公元前3世纪,蜀郡太守李冰兴建都江堰水型工程,引岷江水进行灌溉,从而使成都平原成为“水旱从人”的天府之国。都江堰水利工程经过大规模的改建、扩建后,灌区范围从建国时的14个县扩大到37个县(市、区),农田灌溉面积也由建国初期的18.8×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>扩大到1998年的67.1×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>。此外,解放后四川还兴建了黑龙滩、鲁班、三岔、升钟4座大型水库和大批中、小型水库,1980年以后动工兴建了被称为“第二个都江堰”的武都引水工程。

近年来,四川更加重视农业水资源的开发利用,除防洪、灌溉外,加大了抗旱、水产养殖方面的开发利用力度。为了提高农业水资源的利用率,减少各种旱灾对农业生产的影响,至1998年底,全省共建成水利工程59.7万处。其中,大、中、小型水库6 612处,渠堰41 854处,江河堤防2 647 km,养殖面积发展到14.643×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,年提供水产品产32.14×10<sup>4</sup> t。全省农田有效灌溉面积由1949年的57.9×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>发展到239.1×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,保灌面积达到166.1×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,分别占全省耕地的36.1%和25.1%,水利工程年实际向农业供水约130×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。江河堤防和大量水库的兴建,对防御常年洪水威胁,减轻大洪水的危害,保证农业的稳粮增产以及国民经济各部门的发展发挥了积极的作用。

四川农业水资源的开发利用在取得很大成绩的同时,也存在许多问题。

表2 四川省农业水资源(×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>)

Table 2 Agricultural water resources in Sichuan(×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>)

区 域	河川径流量	土壤水资源量	农业水资源量
四川盆地	507.0	459.2	966.2
盆周山地	704.8	295.5	1000.3
川西南山地	361.2	216.7	577.9
川西高山高原	974.6	594.9	1569.5
全 省	2547.6	1566.3	4113.9

(1)生态环境恶化, 农业水资源遭受破坏。由于生态环境遭受破坏, 造成林草地涵养水源、保持水土和调节气候功能降低, 加重了旱灾的危害程度, 提高了灾害发生频率(见表 3)。以农业生产集中的川中丘陵区为例, 1990 年代较 1950 年代夏旱、伏旱的发生频率分别提高了 40%和 25%, 加之春旱和冬干也常发生, 几乎年年都有旱灾。1952 年至 1998 年, 全省耕地遭受水、旱灾的受灾面积和成灾面积的总趋势都在增加。其中, 水灾的受灾、成灾面积分别增加了 17.6 倍和 18.5 倍; 旱灾的受灾、成灾面积分别增加了 2.1 倍和 1.7 倍。

表 3 历年耕地遭受水灾和旱灾统计<sup>1)</sup>( $\times 10^4 \text{ hm}^2$ )  
Table 3 Statistics of flood and drought in the history( $\times 10^4 \text{ hm}^2$ )

年份	水灾		旱灾	
	受灾面积	成灾面积	受灾面积	成灾面积
1952	7.6	4.2	46.2	25.9
1962	11.1	6.3	55.9	37.9
1970	13.8	7.5	92.7	51.4
1980	51.8	26.9	83.0	42.3
1990	63.7	33.0	181.5	93.2
1998	141.6	81.9	141.6	71.2

1) 资料来源于《四川统计年鉴》

不合理的工矿企业发展, 破坏了长江上游地区的水源保护。近 15a 来, 尽管四川盆地森林覆盖率有所提高, 但金沙江、大渡河以及岷江的上游地区生态环境仍呈继续恶化的趋势。这些江河上游森林被砍伐, 水土流失加剧, 工厂超标排污, 造成水体污染严重, 水质状况恶化, 加重了水资源的进一步短缺。局部河道任意引水、设障, 导致许多水利工程淤积现象日渐加重, 拦蓄能力降低; 而另一些河道, 则被挖沙取石, 造成洪枯水情变化剧烈和危及水利工程堤坝安全, 长此下去, 都会破坏生态环境, 危及人民生命安全, 减少农业资源供应, 降低灌溉水质。虽然四川从 1998 年开始实施大规模退耕还林还牧, 但未来几年还很难从根本上扭转生态环境恶化的趋势。此外, 四川过去开发利用水资源片面强调工程措施, 单纯追求工程经济效益, 对水源区保护和环境效益没有足够的认识, 缺乏相应的保护措施, 也是农业水资源遭受破坏的原因之一。

(2)水分仍是四川农业粮食生产的主要限制因素之一<sup>[8~10]</sup>。四川省农业水资源丰富, 但水热资源及水土资源组合结构不协调。四川盆地农业水资源占全省农业水资源的 23.99%, 但耕地面积却占全省耕地面积的 69.34%, 特别是川中丘陵区水分不

足, 热量有余, 各种旱灾高频发生, 农业生产潜力不能充分发挥; 其余三个区域仅有全省 30.66% 的耕地, 却拥有全省 76.01% 的农业水资源量, 但除川西南山区外都热量不足, 因而大量农业水资源不能有效利用。

从表 4 可知, 四川盆地区的综合耕地粮食光温潜力为  $31.531 \text{ t/hm}^2$ , 气候潜力为  $23.631 \text{ t/hm}^2$ , 平均水分衰减率是 19.79%; 其中, 成都平原区水资源条件好, 灌溉保证率高, 耕地的综合粮食气候潜力在全省最高, 水分衰减率仅 17.04%。盆地丘陵区耕地的综合粮食气候潜力居全省第二位, 旱地比例增加, 灌溉条件不如成都平原, 水分因素的限制作用增大, 水分衰减率为 22.60%。

表 4 四川各区域耕地粮食生产气候潜力

Table 4 Climatic potentials of regional cropland for food production in Sichuan

区 域	耕地生产潜力( $\text{t/hm}^2$ )		水分衰减率 (%)
	光温潜力	气候潜力	
全 省	30.859	23.613	23.48
四川盆地	31.531	25.290	19.79
盆周山地区	31.195	23.640	24.22
川西南山区	26.192	17.226	34.23
川西高山高原区	14.884	6.467	56.55

盆周山地区耕地粮食综合粮食气候潜力  $23.640 \text{ t/hm}^2$ , 水分因素的限制作用进一步增大, 其原因大致与盆地丘陵区相似, 玉米在粮食作物组合中的比重更大。

川西南山区耕地虽有全省最高的综合粮食光温潜力, 但其综合粮食气候潜力却处于全省的中偏下水平, 水分因素的限制作用突出, 水分衰减率达 34.23%。究其原因一是降水量相对较低、季节分配极不平衡和蒸散强烈。同时, 该区域在粮食作物结构中玉米的比重较大, 需水量多也是原因之一。

川西高山高原区耕地的综合粮食光温水潜力在全省最低, 由于其热量不足, 综合粮食光温潜力本来就低, 加之降水径流损失大, 水分有效系数低, 水分衰减率高达 50% 以上。

(3)地表水和地下水的利用缺乏统筹安排, 利用不协调, 引起局部环境恶化。四川省地下水资源丰富, 约占全国地下水总储量 1/10。目前利用量很少, 多用于工业和生活用水方面; 居于用水量首位的农业用水, 却全部依靠地表水供给, 特别在川中丘陵区等地表水资源紧张而地下水又具备开采利用条件的

地区,地下水仍未能得到合理开采。

(4)水利工程施工不足,尤其缺发大型骨干工程。建国以来,四川虽然兴建了大量水利上程,但迄今为止,全省63.90 %农田面积还缺乏灌溉水源,其中望天田  $89.44\times 10^4\text{ hm}^2$ ,旱地约  $300\times 10^4\text{ hm}^2$ ,分别占全省耕地面积的13.52 %和50.38 %。因此,提蓄引水工程设施的不足是限制四川农业水资源利用的重要因素。

(5)农业水资源利用效率偏低。与农业水资源利用较好的北方干旱、半干旱地区相比,四川农业水资源的利用效率明显偏低,仅达其30 %~60 %的水平。这是由于四川农业水资源丰富,长期不注意利用技术的改进和提高造成的。四川农田采用的灌溉方式多为漫灌、串灌、淹水灌溉或人工担水灌溉,利用效率自然偏低。此外,大气降水的时空分布不均,也影响农业水资源利用效率的提高。不过,若从利用的历史看,四川农业水资源的利用效率特别是降水资源的利用效率仍有较大提高(见表5)。

从表5中可知,1950年代以来,四川主要粮食作物大气降水的水分生产效率成倍增长。其中,耕地综合粮食的水分生产效率从1952年的 $2.45\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ 提高到1998年的 $10.16\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ ,增加了3.15倍;小麦、水稻、玉米和薯类的水分生产效率分别从1952年的 $4.61\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ 、 $4.39\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ 、 $1.38\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ 和 $1.35\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ 提高到1998年的 $20.43\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ 、 $10.33\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ 、 $6.17\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ 和 $3.75\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ ,分别增加了3.41、1.43、3.91和1.89倍。因此,四川主要粮食作物中,小麦和玉米的水分生产效率提高较快,而水稻和薯类的水分生产效率提高较慢。

4 农业水资源开发利用的战略措施

1. 优化配置农业水资源 综合考虑环境—人口—粮食问题,兼顾生态环境建设和可持续发展目标,搞好长江中上游地区生态重建工作,植树造林,种草养畜;把  $70\times 10^4\text{ hm}^2$  陡坡耕地坚决退耕还林,退耕还草。农业水资源优化配置包括广辟水源和优化配水两个方面。广辟水源、多种水源综合利用是在兼顾生态环境和可持续发展目标的前提下,最大限度地利用天然降水,并合理开发地表水、地下水等多种水源,谋求整体水资源利用率最高,实现水资源的合理调控开发,防止和减少水土流失。建设

土壤水库,提高土壤蓄水能力充分利用降水。减少品质差,市场滞销且耗水量大的冬小麦、早稻和甘薯面积,适当扩大市场需要、水分利用率较高的饲料玉米面积,促进农业的产业化发展。

优化配水可将有限供水在不同作物之间分配,应保证灌区内各作物总产值最高,如采取玉米在大喇叭口期灌关键水,在玉米—甘薯间套作中主灌玉米等措施。

表5 四川耕地及主要粮食作物大气降水的水分生产效率( $\text{kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ )

Table 5 Water use efficiency of cropland and main cereal crops for atmospheric rainfall in Sichuan( $\text{kg/hm}^2\cdot\text{mm}^{-1}$ )

年份	耕地综合粮食	小麦	水稻	玉米	薯类
1952	2.45	4.61	4.39	1.38	1.35
1962	2.35	4.63	3.78	1.64	1.89
1970	3.98	9.80	5.38	2.88	2.65
1980	5.87	12.58	7.18	5.15	3.35
1990	8.41	19.04	9.89	5.68	2.45
1998	10.16	20.32	10.68	6.78	3.87

农业是四川水资源的主要消耗者,根据近年的农业生产结构分析,年需耗水  $1438.9\times 10^8\text{ m}^3$ 。其中,耕作业需水  $634.6\times 10^8\text{ m}^3$ ,林业需水  $510\times 10^8\text{ m}^3$ ,畜牧业中牧草地(含荒草地等)  $293.7\times 10^8\text{ m}^3$ 。结合前面土壤水资源的供水情况分析,四川林、草地的水资源的供需平衡有余,达  $169.1\times 10^8\text{ m}^3$ ,但耕地土壤水资源供给不足,供需缺口有  $127\times 10^8\text{ m}^3$ 。若考虑到水利设施的供水损失,四川耕地水资源实际的供需缺口应为  $200\times 10^8\text{ m}^3\sim 250\times 10^8\text{ m}^3$ 。这一供需缺口较大,水利设施建设在较长的时期内也是难以满足。因此,四川农业水资源紧缺问题,将会长期制约农业的发展。要解决这一问题,四川农业的发展必须走节水农业之路。

2. 治水兴蜀,大力兴修水利工程 在兴修水利工程的过程中,特别应注意大中小微相结合、蓄引提相结合和新建与挖潜相结合。大中型水利工程调控能力大,可作为扩大灌溉面积、改善农业生产条件、增加抗灾能力的重要手段。小型和微型水利工程投资少、周期短、见效快和产权明晰,适宜在没有或难建骨干工程以及水源不足的地区建设。川中丘陵区由于地貌条件的限制,小微型水利工程非常适宜。它可拦截地表径流就地利用,解决山丘区坡耕地的灌溉问题。近年来,巴中、南充、绵阳、德阳等地

大力推广微型水利工程,取得了显著成效。根据作者在川中丘陵区的调查,若旱地具有 $500\text{ m}^3/\text{hm}^2 \sim 800\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 微型水利蓄水工程,就可抗御中等程度的旱灾。

**3. 调整作物播期** 四川属亚热带湿润地区,农业水资源总量充足,但因降雨时空不均,才造成成旱涝灾害不断。各区域可根据夏旱、伏旱出现的时间以及降雨的高频时段,调整作物播期,使降雨高峰与作物的需水高峰尽量重迭一致或接近。川中丘陵夏旱区,可将玉米播期从常规的4月上、中旬推迟到4月下旬或5月上旬,使玉米的需水高峰与6月下旬至7月上旬的降水高峰一致,且不影响小春的播种。同样川东北、川北的伏旱区则宜提早播种,使玉米能在7月中、下旬伏旱来临前收获。

**4. 控制水分无效损失** 四川发展节水农业的关键在于控制从水源到作物产量形成过程中的水分无效损失,包括工程输水损失、田间储水损失和作物蒸腾损失三部分,在充分利用降水的基础上,采取农业和水利措施,合理开发利用与管理农业水资源,提高区域农业水资源利用的整体效率。除优化配置农业水资源外,各区域可以根据其实际的自然和社会经济条件,采用不同的水肥耦合技术和农艺节水技术,进行优化组合。

采用水肥耦合技术或同施技术。在冬小麦、玉米和甘薯播种和生长管理过程中采用有机肥、无机肥和微肥的施用和浇水同步进行,或者粪肥与化肥混合施用,可以改善作物的光合功能,提高水分的生产效率。四川中江等地的试验表明,在水稻、小麦、玉米等作物上,水肥耦合同施比单纯灌水不施,土壤水分消耗量节省30%,产量可增加5%~8%。

**5. 推广农艺节水技术** 从作物水分生理特性出发,除选用抗旱品种外,对耕作方式、种植结构和农田覆盖等方面进行优化调控,达到既能排涝,又能节水的目的。①调整作物种植结构,增加生育期内与降水时间匹配较好的作物种植比例,提高降水利用率。如适当减少丘陵区品质较差的小麦播面,小春为大春预留空行;将常年易受干旱的望天田改作两季旱作。改革种植制度,实行大麦和小麦、玉米和红苕或花生等作物间套和粮、饲或粮、果间套种植,充分有效利用自然降水和光热条件,提高土地的

综合生产力。②采用秸秆或地膜覆盖也是减少农田水分无效蒸损失的一项有效措施,1998年全省推广面积达到 $100 \times 10^4\text{ hm}^2$ 。但四川属湿润的亚热带气候,农田覆盖与北方地区有所不同,在考虑覆盖节水时,还要注意不能影响雨水过多时的排涝作用,覆盖面积最好不超地块面积的60%。例如玉米地膜覆盖时应盖作物所在行间,而不是两行作物之间的空地。由于地膜透水性极弱,能隔断土壤水与大气的交换通道,使土壤水只能在膜下循环,降低自然蒸发量,但在雨水过多时,地膜也有减少雨水进入土体的作用。据作者参加的雨养农业综合抗旱技术配套研究课题组在中江县 $66.6\text{ hm}^2$ 坡耕地的试验示范结果,地膜覆盖与其它抗旱技术配套后的玉米—甘薯套作中的玉米产量达 $8\,250\text{ kg}/\text{hm}^2 \sim 9\,750\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,水分生产效率达 $25\text{ kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{mm}^{-1} \sim 30\text{ kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{mm}^{-1}$ ,增产幅度达20%~50%;相同情况下,秸秆覆盖的玉米—甘薯套作中的玉米产量达 $6\,000\text{ kg}/\text{hm}^2 \sim 8\,250\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,水分生产效率达 $16\text{ kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{mm}^{-1} \sim 25\text{ kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{mm}^{-1}$ ,增产幅度达15%~30%;两种覆盖方式的甘薯产量比对照增产3%~8%。

## 参考文献:

- [1] 叶锦昭, 卢如秀. 世界水资源概论[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 1~6.
- [2] 由懋正, 王会肖. 农田土壤水资源评价[M]. 北京: 气象出版社, 1996. 45~80.
- [3] 唐绍忠, 蔡焕杰. 农业水管理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 71~78.
- [4] 陈传友. 西南地区水资源及其评价[J]. 自然资源学报, 1992, 7(4): 312~328.
- [5] 中国自然资源丛书编撰委员会. 中国自然资源丛书(四川卷)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 179~182.
- [6] 汤奇成, 熊怡, 等. 中国河流水文[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 121~142.
- [7] 张朝生, 章申, 王立军, 等. 长江与黄河沉积物金属元素地球化学特征及其比较[J]. 地理学报, 1995, 50(3): 179~182.
- [8] 罗湘成. 中国基础水利、水资源与水处理实务[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 504~513.
- [9] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993. 70~90.
- [10] 程根伟. 我国西南地区的水供应和粮食生产潜力[J]. 山地学报, 2000, 18(5): 408~414.

## Study on the Exploitation of Agricultural Water Resources in Sichuan Province

ZHANG Shi-rong<sup>1</sup>, LIAO Er-hua<sup>1</sup>, DENG Liang-ji<sup>1</sup> and ZHANG Su-lan<sup>2</sup>

(1. Department of Land Resources, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014 China;

2. Institute of Land Resources, Chengdu, Sichuan 610037 China)

**Abstract:** From the broad sense of water resources, the quantity, quality and distributive characteristics of agricultural water resources in Sichuan were discussed in the paper. The results indicated that agricultural water resources with  $4\,113.9 \times 10^8 \text{ m}^3$  are 72.09 % of total water resources in Sichuan. Soil water resources are one of the major sources because they are 36.57 % of agricultural water resources. Soil water resources of cropland, forest land and pasture land are  $506.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $636.1 \times 10^8 \text{ m}^3$  and  $423.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ . The utilization of agricultural water resources was confronted with ecological degradation, low use efficiency and deficit of water conservancy projects so this paper puts forward some ways to optimize disposition of agricultural water resources, build new water conservancy works, adjust sowing times and economize agricultural water etc.

**Key Words:** agricultural water resources; soil water resources; rational utilization.

### 《山地学报》征订征稿启事

《山地学报》由中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所和中国地理学会山地分会主办,系中国自然科学核心期刊之一,被评为全国优秀地理期刊、中国科学院优秀期刊、四川省优秀科技期刊。

《山地学报》是目前我国唯一专门报道山地科学研究理论与山区开发、整治、建设实践相结合的综合科技期刊。内容涵盖自然科学与人文科学两大门类中与山地研究、开发有关的多学科知识,重点报道山地资源开发与山地生态环境演变、山区工程建设与山地灾害防治(滑坡、泥石流、水土流失、山洪等)、山区社区发展与城镇规划、山区持续发展与产业结构调整等领域的理论文章、应用技术、研究和实验方法、管理经验等内容。适合于从事上述工作的科技人员、决策者、管理干部和大专院校师生阅读、参考;适合于各级综合图书馆(室)、政府的国土资源、水利电力、农林牧等部门的资料(情报)室收藏。

《山地学报》为双月刊、大开本(210mm×297mm)。2002年正文改为铜版纸印刷,同时根据需要配彩色插图,但定价不变,仍为每期10.00元(国内定价)。由四川省德阳市邮政局总发行,全国各地邮局均可订购,也可来函或径直到编辑部整订、零购。

欢迎订阅,欢迎赐稿(来稿务必严格按照本刊规范格式打印,特别是辅文部分,如参考文献的编排、英文摘要的内容、作者简介等须符合要求)。

联系地址: 610041 成都市一环路南二段10号中科院成都山地所《山地学报》编辑部

联系电话: 028-5223826; E-mail: Hyfeng@imde.ac.cn.