

浅析灌溉效益计算的长系列法

韩 健

张 晨

(水利部西北水利科学研究所·陕西杨陵·712100)(陕西省咸阳市杨陵区水政水资源办公室)

摘 要 针对北方干旱、半干旱农业的特点,综合分析农业技术措施、水利措施等对农业增产的作用,根据陕西省宝鸡灌区开灌前后社会经济发展状况,探讨了适合该地区实际情况的灌溉效益分析计算的长系列法。

关键词 分摊系数 灌溉效益 产品价格 农业生产结构

An Elementary Analysis on Series Method of Calculating Irrigation Benefits

Han Jian

(Northwest Hydrotechnic Research Institute, Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Zhang Chen

(Water Policy and Water Resource Office, Yangling, Xianyang, Shaanxi)

Abstract In accordance with the characteristic of north arid and semi-arid agriculture. The effects of agriculture technique and water conservancy on increasement yield of agricultural production was comprehensively analyzed. Meanwhile, according to the conditons of social and economic developments of the irrigation district of Baoji gorge, Shaanxi province, before and after the region begins being irrigated, long series method of analysing and calculating irrigation benefit fitting for actual condition of the region was probed into.

Key words allotment coefficient irrigation benefit price of product structure of agriculture production

水是万物之源,世界上一切生物离开了水就不能够生存。农作物也是一样,水分不足,就会因不能满足作物在生理和生态上的需水要求,使之正常生长受到抑制而引起农业欠收。甚至因缺水严重,致使农作物凋萎、死亡而绝收。这就是所谓的干旱灾害。

供作物吸收利用的土壤水分的主要来源有大气降水和人工灌溉。大气降水是供作物吸收利用不需任何支出的天然水体,当大气降水不能满足作物的需水要求时,为了不使其产生干旱灾害,就必须进行人工灌溉,以调节农田水分不足之状况,保证作物的稳产高产。这种因灌溉因素(与未灌相比较)而增加的农业产量称为灌溉效益。灌溉效益是灌溉工程的主要经济效益,在进行灌排工程经济分析时,必须先弄清灌溉效益。目前计算灌溉效益的方法概括起来有用长系列产量资料计算和长系列水文资料计算等方法。下面结合宝鸡峡灌区的自然条件,应用灌区内积累的长

系列产量资料对长系列产量资料计算灌溉效益的方法进行分析。分析计算的步骤为:

- (1) 根据当地气象条件和作物耗水量分析灌溉在农业生产中的作用;
- (2) 产量资料的选用和处理;
- (3) 根据开灌前、后,种、肥、管等措施的改进情况及灌溉在农业生产中的作用确定灌溉分摊系数 ϵ ;
- (4) 农业产品结构及其价格;
- (5) 灌溉增产效益 $B_{\text{增}}$ 的计算;
- (6) 灌溉扩产效益 $B_{\text{扩}}$ 的计算;
- (7) 灌溉效益计算。

1 灌溉在灌区农业生产中的作用

扶风段家地区位于宝鸡峡灌区上游,面积约30km²,行政属扶风县段家乡。多年平均降水量600mm,且大多集中在7~10月,占年降水量60%左右,最大年降水量是1983年,为926mm,最小年降水量是1977年,为394.4mm,多年平均水面蒸发量1200mm。由于年平均降水量小,且在年内、年际间的分布不均匀,使得自然降水量远不能满足作物需水要求。根据扶风县历年气象资料和小麦、玉米、油菜3种主要作物全生育期的耗水量资料分析结果如表1。

表1 几种主要作物全生育期耗水状况

作物类别	全生育期 耗水量(mm)	全生育期 降水量(mm)	缺水 量 (mm)	干旱年频率(%)		
				一般干旱	特旱	合计
小麦	435.7	249.0	186.7	36.4	54.6	91.0
玉米	414.7	301.6	113.1	59.1	18.2	77.3
油菜	402.1	308.1	94.0	63.3	27.3	90.9

由表1可以看出:干旱灾害是影响当地农业发展的主要因素。灌溉工程将在90%以上的年份发挥效益,人工灌溉是当地农作物稳定高产的关键因素。

2 产量资料的选用与处理

2.1 资料的选用

由于当地属大陆性季风气候,降水量在年内、年际间变化较大,灌溉效益更加呈现出年际、年内及不同作物生长期间的不稳定性。如果用短期的统计资料或短期试验资料来计算灌溉效益,精度及可靠性均较差。为了提高成果的可靠性,接近和符合客观实际,根据段家地区积累的开灌前后共38年,约4个水文周期的社经资料^[3],分析了各时期灌溉措施和农业技术措施在农业生产中的作用情况和改进情况,可将38年系列资料大概分为三个阶段:第一阶段(1949~1969年)灌区开灌以前的时期,为旱地农业,且农业技术措施改进不大,可代表在没有灌溉和农业技术措施无改进时的产量资料;第二阶段(1970~1979年),灌区开灌后的前一段时期,此时期灌溉措施发挥了较大的作用,但农业技术措施尚未跟上,改进不大,可代表只有灌溉因素影响时的产量资料;第三阶段(1980~1986年),此时期为党的三中全会以后,农业技术措施有了较大的改进,农业生产有了较大的提高,可代表灌溉和农业技术措施发生综合作用时的产量。按照以上划分的三个阶段,采用多年平均值计算灌溉效益(见表2~4)。

2.2 水、旱地混合产量的处理

灌区在开灌后水浇地面积不一定达100%,或者是灌溉工程在开始投入运行的前几年(本灌

区为1970~1972年),由于配套工程尚不完善,使得工程应有的效益不能完全发挥,只能随着配套工程的不断完善而逐年增大,直到完全发挥效益才进入基本稳定阶段。在此几年中,水浇地逐年增多,旱地逐年减少。此时当统计的社经资料中的产量在开灌后没有区分水浇地和旱地,近年的农业产量实际上是水浇地和旱地的混合产量。为了使这几年的宝贵资料能够应用,并保证资料的连续性和系列的长度,应对其进行处理,分清水、旱地产量。

表2 第一阶段灌溉效益计算表

年份 (年)	小 麦		玉 米		油 菜	
	面积 (hm ²)	产量 (kg/hm ²)	面积 (hm ²)	产量 (kg/hm ²)	面积 (hm ²)	产量 (kg/hm ²)
1949	1527.1	2377.5	293.9	2542.5	32.7	562.5
1950	1579.1	1687.5	323.6	1785.0	34.0	577.5
1951	1599.7	1725.0	325.9	1762.5	37.3	577.5
1952	1603.4	1792.5	328.3	1732.5	36.7	562.5
1953	1571.1	1605.0	355.7	1702.5	34.0	577.5
1954	1595.7	1905.5	387.0	1747.5	36.7	577.5
1955	1637.3	1657.5	417.4	1687.5	34.0	600.0
1956	1671.1	2377.5	477.5	1687.5	40.0	675.0
1957	1485.1	2070.0	478.3	2955.0	33.3	667.5
1958	1603.1	1492.5	498.1	1252.5	32.3	675.0
1959	1568.1	1882.5	591.7	1447.5	29.6	592.5
1960	1566.9	1702.5	591.3	802.5	27.6	532.5
1961	1842.5	1237.5	773.7	1762.5	26.5	292.5
1962	1660.1	1410.0	511.7	1327.5	14.9	315.0
1963	1626.1	1582.5	681.3	1012.5	30.3	682.5
1964	1652.7	1050.0	817.8	1012.5	35.1	352.5
1965	1564.6	2160.0	750.3	1785.0	31.0	637.5
1966	1556.5	2160.0	784.6	832.5	80.6	727.5
1967	1563.3	2092.5	684.3	1215.0	67.9	832.5
1968	1601.5	2340.0	649.2	1177.5	60.5	930.0
1969	1707.6	2280.0	263.5	1807.5	72.3	1125.0
合计	33782.5	38587.5	10984.9	32287.5	827.3	13072.5
平均	1608.7	1837.5	523.1	1537.5	39.4	622.5

表3 第二阶段灌溉效益计算表

年份 (年)	小 麦		玉 米		油 菜	
	面积 (hm ²)	产量 (kg/hm ²)	面积 (hm ²)	产量 (kg/hm ²)	面积 (hm ²)	产量 (kg/hm ²)
1970	1786.0	2782.5	737.3	2155.5	72.2	1428.8
1971	1479.0	4207.5	790.1	2505.0	79.0	2655.0
1972	1597.4	2850.0	1243.7	1492.5	96.1	1601.3
1973	1410.3	1627.5	892.2	2857.5	131.7	937.5
1974	1458.8	3037.5	864.1	2760.0	143.1	1530.0
1975	1483.2	3292.5	1037.1	2494.5	148.6	2317.5
1976	1487.7	3225.0	1280.7	1755.0	164.9	1230.0
1977	1461.3	2115.0	1295.9	2775.0	202.2	2077.5
1978	1488.3	3412.5	1436.5	2887.5	182.3	1245.0
1979	1426.6	4425.0	1292.8	4417.5	287.9	1627.5
合计	15078.5	30975.0	10870.3	26100.0	1508.0	16650.0
平均	1507.9	3097.5	1087.1	2610.0	150.8	1665.0

表4 第三阶段灌溉效益计算表

年份 (年)	小麦		玉米		油菜	
	面积 (hm ²)	产量 (kg/hm ²)	面积 (hm ²)	产量 (kg/hm ²)	面积 (hm ²)	产量 (kg/hm ²)
1980	1516.1	3435.0	1465.9	3172.5	249.1	1747.5
1981	1580.7	4755.0	1397.6	2617.5	266.8	2040.0
1982	1638.2	4530.0	1386.1	3765.0	242.0	2482.5
1983	1725.8	4125.0	1432.4	4402.5	252.7	1800.0
1984	1635.0	4297.5	1510.9	4500.0	244.9	2700.0
1985	1719.1	4657.5	1432.4	4065.0	266.0	2782.5*
1986	1725.8	4965.0	1432.4	5407.5	266.8	2460.0*
合计	11540.7	30765.5	10057.7	27930.0	1788.3	16012.5
平均	1648.7	4395.0	1436.8	3990.0	255.5	2287.5

注: * 表示调查、实验得数据。

开灌前的旱地产量。根据近年的水浇地和旱地的耕种总面积,首先计算旱地总产量,然后以总混合产量减去旱地总产量,求得水浇地总产量,进而求出此期各年水浇地产量。计算过程与结果见表5

表5 灌溉效益计算表

项	目	1970年	1971年	1972年	
水旱混合	小麦	面积(hm ²)	1793.8	1479.0	1597.4
		总产(10 ⁴ kg)	387.6	445.4	395.4
	玉米	面积(hm ²)	737.3	790.1	1243.7
		总产(10 ⁴ kg)	129.6	159.5	185.7
	油菜	面积(hm ²)	72.2	79.0	96.1
	总产(10 ⁴ kg)	6.6	12.9	11.9	
		产量(kg/hm ²)	1837.5	1837.5	1837.5
旱地	小麦	面积(hm ²)	1155.0	747.0	593.1
		总产(10 ⁴ kg)	212.2	137.3	109.0
		产量(kg/hm ²)	1537.5	1537.5	2985.0
	玉米	面积(hm ²)	474.4	399.1	461.8
		总产(10 ⁴ kg)	73.0	61.4	68.9
	产量(kg/hm ²)	1245.0	1245.0	1245.0	
水浇地	油菜	面积(hm ²)	46.7	39.9	35.7
		总产(10 ⁴ kg)	2.9	2.5	2.2
		总产(10 ⁴ kg)	125.4	330.6	286.2
	小麦	面积(hm ²)	631.0	732.0	1004.3
		产量(kg/hm ²)	2782.5	4207.5	2850.0
浇地		总产(10 ⁴ kg)	56.7	98.1	116.7
	玉米	面积(hm ²)	262.8	391.1	782.0
		产量(kg/hm ²)	2155.6	2505.0	1492.5
		总产(10 ⁴ kg)	3.7	10.4	9.7
	油菜	面积(hm ²)	21.9	39.1	60.4
	产量 kg/hm ²	1428.8	2655.0	1601.3	

3 灌溉效益分摊系数(ϵ)的确定

农业增产效益是水、肥、土、种、管等措施综合作用的结果。所以应根据诸项措施所起的作用进行合理分摊,灌溉效益占农业增产效益的比重称为灌溉效益分摊系数。

从灌溉在该地区农业生产中的作用可以看出,由于该地区十年九旱的半干旱气候特征,水利在农业增产中起着关键性作用。另一方面,近年来(主要是党的三中全会以后)由于农业科学技术

有了较大的发展和普及,因此应将农业增产效益进行合理分摊。要进行合理分摊,关键在于分摊系数的确定,而此分摊系数的确定是一个较为复杂并有争议的问题。目前关于灌溉效益分摊系数的确定方法众说不一,根据灌区实际资料,本文先采用公式计算,然后综合分析确定之。所采用的公式为:

$$\epsilon = \frac{\Delta Y_{\text{灌}}}{\Delta Y_{\text{综}}} = \frac{Y_{\text{灌}} - Y_{\text{旱}}}{Y_{\text{综}} - Y_{\text{旱}}}$$

式中: $\Delta Y_{\text{灌}}$ ——因灌溉因素而增加的产量; $\Delta Y_{\text{综}}$ ——农业措施和灌溉综合作用下的增产量; $Y_{\text{灌}}$ ——只受灌溉因素影响时的产量; $Y_{\text{综}}$ ——在灌溉和农业措施综合作用下的产量; $Y_{\text{旱}}$ ——无灌溉措施时的产量(即旱地产量)。

表6 灌溉效益分摊系数的计算(kg/hm²)

农产品种类	$Y_{\text{旱}}$	$Y_{\text{灌}}$	$Y_{\text{综}}$	$\Delta Y_{\text{灌}}$	$\Delta Y_{\text{综}}$
小麦	1837.5	3097.5	4395.0	1260.0	2557.5
玉米	1537.5	2610.0	3990.0	1380.0	2452.5
油菜	622.5	1665.0	2287.5	622.5	1665.0

根据表6的结果,以播种面积为权,计算因灌溉因素影响的平均增产量 $\Delta \bar{Y}_{\text{灌}}$ 和灌溉与农业技术措施综合作用下的平均增产量 $\Delta \bar{Y}_{\text{综}}$:

$$\Delta \bar{Y}_{\text{灌}} = \frac{1260 \times 1507.9 + 1380 \times 1087.1 + 622.5 \times 150.8}{1507.9 + 1087.1 + 150.8} = 1272.5 (\text{kg/hm}^2)$$

$$\Delta \bar{Y}_{\text{综}} = \frac{2557.5 \times 1648.7 + 2452.5 \times 1436.8 + 1665.0 \times 255.5}{1648.7 + 1436.8 + 255.5} = 2444.1 (\text{kg/hm}^2)$$

故: $\epsilon = \frac{\Delta \bar{Y}_{\text{灌}}}{\Delta \bar{Y}_{\text{综}}} = \frac{1272.5}{2444.1} = 0.52$ 取 $\epsilon = 0.50$

4 农业产品结构及其价格

4.1 农业产品结构

段家地区主要农业产品的种植情况见表7:

表7 段家地区主要农产品的种植情况

品 种	种植面积(hm ²)	夏 粮		秋 粮		棉花	油菜	蔬菜	果园	林木
		总值	小麦	总值	玉米					
面积(hm ²)	3885.9	1846.0	1554.1	1469.1	1296.9	271.3	217.8	61.3	13.7	6.6
百分率(%)	100	47.5	40.0	37.8	33.4	6.9	5.6	1.6	0.35	0.17

由表7看出:粮、棉、油占总种植面积的98%,又以段家统计资料来看,棉花产量多年低而不稳,主要受气象条件影响,灌前、灌后产量无明显变化,因此,灌溉对棉花的产量影响甚微,故只对小麦、玉米、油菜进行增产效益分析。

4.2 产品价格

灌溉效益分析中要涉及到农产品的价格问题,采用的价格是否合理对灌溉效益的计算影响较大。扶风是陕西省粮油生产基地,属农产品调出地区,故在效益分析中采用国家现行的超购价格。可参考下式进行计算:超购价格=1.5×收购价格

上式中的收购价格为1983年的收购价格,各农产品的超购价格为:小麦49.5元/hkg,玉米32.04元/hkg,油菜93.6元/hkg。

5 灌溉增产效益计算

5.1 农业增产效益

将段家社经资料分析、整理得灌区开灌前后三个阶段作物的历年产量,历年种植面积,多年平均产量,多年平均种植面积见表2~4。

根据公式: $\Delta\bar{Y}_{\text{综}} = \bar{Y}_{\text{综}} - \bar{Y}_{\text{旱}}$

式中: $\Delta\bar{Y}_{\text{综}}$ ——作物多年平均增产量(即农业增产效益); $\bar{Y}_{\text{综}}$ ——采取灌溉措施后各种因素综合作用下的作物产量; $\bar{Y}_{\text{旱}}$ ——采取灌溉措施前的作物产量。

从而可计算各种农产品的多年平均增产量,然后由增产量乘以多年平均播种面积得多年平均总增产量,计算结果见表8。

表8 主要农产品多年平均总增产量

农产品种类	平均增产量(kg/hm ²)	播种面积(hm ²)	总增产量(kg)
小麦	2 557.5	1 648.7	4 216 550.3
玉米	2 452.5	1 436.8	3 523 752.0
油菜	1 665.0	255.5	425 407.5

以各种作物总增产量为权,计算农产品的平均超购价格为0.452元/kg。

由前面已知,农产品的平均增产量为2 444.1kg/hm²。故农业增产效益为 $2444.1 \times 0.452 = 1104.73$ (元/hm²)。

5.2 灌溉增产效益

由计算可得灌溉增产效益为511.95元/hm²。因灌区多年平均综合灌溉定额为2 460m³/hm²,折算成每立方米水的增产效益为: $511.95/2460 = 0.208$ (元/m³)

6 灌溉扩产效益分析

灌区开灌后,其对农业生产的影响不仅是亩产量增加,而且还会扩大种植面积。因灌溉使种植面积扩大而产生的效益在此称做灌溉扩产效益。在进行灌溉效益分析时,应计入此部分。种植面积增加的原因主要有两方面:(1)因灌溉而减少干旱弃种;(2)心理作用。有灌溉保证,农业生产的风险性变小,使农民有信心扩大种植面积。

对于灌溉扩产效益的计算问题很少有资料谈及,我们认为:

- (1)因为扩产效益是由灌溉产生,与其它农业措施无关,所以在计算时不应分摊;
- (2)在进行灌溉扩产效益分析时,应扣除农业生产费用(不包括供水成本),但仍为毛效益。

灌溉扩产效益的具体计算过程如下:

- 1)多年平均扩种面积:由表2至表4看出,多年平均种植面积灌后比灌前增加为:

$$1648.7 + 1436.8 + 255.5 - (1608.7 + 523.1 + 39.4) = 1169.8\text{hm}^2$$

- 2)多年平均综合产量:以播种面积为权,计算各种作物多年平均综合产量为:

$$\frac{1648.7 \times 293.0 + 1436.8 \times 266.0 + 255.5 \times 152.5}{1648.7 + 1436.8 + 255.5} = 270.6(\text{kg}/\text{hm}^2)$$

- 3)农业生产费用

(1)多年平均农业生产费用,计算结果如下:

年份	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1984	合计	平均
农业生产 费(千元)	543	618	809	700	780	929	1029	907	998	1342	1351	1450	1436	1565	14457	1032.643

(2)平均每公顷农作物的生产费用:

$$\frac{\text{多年平均农业生产费用}}{\text{农作物种植面积}} = \frac{1032643}{3865.5} = 267.1(\text{元}/\text{hm}^2)$$

4)灌溉扩产效益:

每公顷农作物的产值—农业生产费用(元/hm²)=0.452×270.6×15—267.1=1567.6(元/hm²)折合成每立方米水产生的效益为: $\frac{1567.6}{2460}=0.637(\text{元}/\text{m}^3)$

7 灌溉效益计算

由前已知,按每立方米水产生的效益计算,灌溉增产效益为0.208元/m³,灌溉扩产效益为0.637元/m³,我们分别以开灌前多年平均种植面积和开灌后平均增加的种植面积为权,计算平均每立方米的水产生的灌溉效益:

$$\frac{0.208 \times (1608.7 + 523.1 + 39.4) + 0.637 \times 1169.8}{2171.1 + 1169.8} = 0.358(\text{元}/\text{m}^3)$$

需要说明的是,以上所计算的灌溉效益为毛效益。如果要求灌溉净效益,尚需扣除水的成本。

本文在写作过程中,承蒙张英普同志悉心指导,谨此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 许志方主编. 灌排工程经济. 武汉水利电力学院, 1983年
- [2] 许志方等编著. 水利工程经济学. 北京: 水利电力出版社, 1987年
- ~~~~~
- (上接第7页)
- [22] Wallsch R. A linear cascade model for predicting soluble chemical transfer to surface runoff. J. Hydrol., 126: 207—224, 1991
- [23] Rinaldo A *et al.* On mass function, Water Resour. Res., 25(7):1603—1617, 1989
- [24] Jamieson C A and Clausen J C. Test of the CREAMS model on agricultural fields in Vermont, Water Resour. Bulletin, 25(4), 1989
- [25] Roka F M *et al.* Economic effects of soil conditions on farm strategies to reduce agricultural pollution. Water Resour. Bulletin, 24(6), 1989
- [26] Prato T and Shi H. A comparison of erosion and water pollution control strategies for an agricultural watershed. Water Resour. Res., 26(2), 1990
- [27] Prato T and Dauten K. Economic feasibility of agricultural management practices for reducing sedimentation in a water supply lake. Agricultural Management, Vol. 19, 1991
- [28] 朱萱等. 农田径流非点源污染特征及负荷量化方法探讨. 环境科学, 1985年, 第5期
- [29] 刘枫等. 流域非源污染的量化识别方法及其在于桥水库的应用. 地理学报, 1988年, 第4期
- [30] 陈西平, 黄时达. 涪陵地区农田径流污染输出负荷量化研究. 环境科学, 1991年, 第3期
- [31] 陈西平. 计算降雨农田径流污染负荷的三峡库区模型. 中国环境科学, 1992年, 第1期
- [32] 辜来章, 郝淑英. 滇池流域农田非点源负荷量化研究. 水资源保护, 1992年, 第1期