

雨水集蓄方式和利用研究

王志坚

(山西省水保生态建设中心, 山西 太原 030002)

摘要: 随着全球性干旱加剧与水资源问题的日益突出, 雨水利用已成为世界范围内的一个课题。采取定位观测的方法, 在山西省岚县香沟小流域研究集雨场的规划设计, 地表处理技术, 观测其集流量和集流效率, 并对梯田作物有无补灌措施的生产效益进行对比试验研究。结果表明, 集流量与降雨量和降雨强度之间是乘幂关系, 降雨量越大, 集流量越多; 降雨强度越大, 集流量也越多。水泥硬化小区的集流率较高; 节水措施生产效益明显。雨水集流技术已成为解决水土流失和提高旱作农业生产力的一个结合点。

关键词: 雨水利用; 增产效益; 集流系数

文献标识码: A 文章编号: 1000—288X(2008)05—0176—04 中图分类号: S275, TU991.64

A Study on Manners and Utilization of Rainfall Collection

WANG Zhi-jian

(Centre for Water Conservation and Ecological Construction of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi 030002, China)

Abstract: With the intensification of the global shortage of water resources and drought, utilization of rain water has become a worldwide issue. In order to make a better study of the collection and utilization of rainfall so as to achieve the spatial and temporal redistribution of precipitation, the experiment adopted the method of fixed point observation and observed the outcomes by different surface processing techniques. It was found that the relation of the amount of collected rainfall to rainfall intensity was a power relationship, namely, the more the rainfall, the more the amount of collected rainfall was; and the greater the intensity of rainfall, the more the amount of collected rainfall was. The cement hardened area had a higher rate of collected rainfall with nearly zero content of silt, while the rate of collected rainfall on grassland was very low with a higher level of sediment. In fitting the curve of the relationship between the amount of collected rainfall and rainfall intensity like, it was found that with the increase in the ratio of the cement hardened area to the area of grassland, collection coefficient, increased, but rainfall index, and rainfall intensity index, decreased. In comparison of the effectiveness of the terrace crops that have or do not have irrigation measures, it is concluded that we should guide farmers to readjust industrial structure and plant economic crops for a higher economic efficiency.

Keywords: rainfall utilization; increasing yield benefit; collection coefficient

发展雨水高效利用是世界范围内面临的共同课题。雨水利用是一个外延较广的概念, 一般包括雨水的就地入渗利用和人工汇集利用两种。前一种指雨水直接入渗到土壤, 通过土壤的调蓄而为作物利用, 即传统的雨养农业方式; 后一种是指通过工程措施, 如山前冲积扇地下的地下水, 地表的沟坝库塘或水窖等收集雨水, 人工调配雨水在时空的在分配, 并通过各种节水农业措施为农业生产所利用, 即现代旱作节水农业方式。

人工收集雨水利用在我国源远流长。早在 2 700 a

前春秋时期黄土高原地区已有引洪漫地, 早在 600 a 前已有水窖^[1-3]。现行的池塘、隔坡梯田、庭院集水供人畜引用、水窖水窖、保水耕作、覆盖及农作技术等都属于雨水集蓄利用范畴^[4]。

近年来, 随着全球性干旱加剧与水资源的问题突出, 国际上成立国际雨水利用协会 (IRCSA), 并召开了 8 届国际会议。以色列、澳大利亚、美国、印度、伊朗等国家已将雨水利用作为面向未来的战略选择^[5]。日本等一些工业化发达国家用雨水补调城市供水, 并制定了《旱田地区雨洪利用》指南^[6]。

20世纪80年代以来,我国北方一些省区人工汇集雨水利用进展很快,并取得了一批有意义的成果。甘肃“121工程”、宁夏“窑窖工程”、内蒙“112”和陕西“甘露工程”共新增水窖100余万眼,已形成具有一定区域特色的旱区农业模式。甘肃省“121”工程,已解决25万户农民生活用水和庭院经济需水^[7-8]。20世纪90年代,我省实施的“123”集雨利用工程[1户建2眼旱井补灌0.2 hm²(3亩)农田],也收到了良好效果。但在坡地雨水的引导汇集、贮存和蓄水窖(池)的合理调蓄及高效利用上,缺乏系统化的研究,特别是未能把雨水汇流和解决水土流失问题统一考虑,未形成农地雨水集蓄与利用的整体规划及与之相配套的高效利用技术和作物栽培模式^[9]。借鉴各地雨水集流工程的成功经验,把雨水集流工程延伸到农田,开展大田作物集雨灌溉的试验示范,以水窖汇集雨水的形式作为调节、转换降水、地表水、土壤水、植物用水这“四水”的桥梁,进行科学的协调利用,最大限度提高雨水的利用率,已被认为是解决水土流失和提高旱作农业生产力的一个结合点。

1 香沟小流域自然概况

香沟小流域位于山西省岚县城北约3 km,是岚河的一级支流,属黄土丘陵沟壑区第一副区。该流域日照充足,太阳生理辐射总量达7 580 ×4.17 kJ/(cm²·a)。年平均气温6.8℃,年平均风速为3 m/s,无霜期134~180 d。该流域多年平均年降雨量为490 mm,年内与年季之间变化大,年最大降雨量817.30 mm(1977年),最小降雨量仅为231.00 mm(1999年),降雨量年内分配差异也很大,6—9月降雨量占全年降雨量的74.8%,且降雨过程多呈历时短,强度大的特点,绝大多数以地表径流形式沿沟坡向下流泄,带走了大量的肥田沃土。

2 集流试验研究设计

研究采用调查研究与定位试验相结合,以定位试验观测为主的方法进行。确定农地集雨工程布设的基本参数,研究集雨场的规划设计,集流场地表处理技术,观测其集流量和集流效率,并对有无补灌措施梯田作物进行对比研究。

2.1 试验场设计

根据山西省水土保持科学研究所王家沟流域径流试验场的观测,坡面径流泥沙含量一般为160 kg/m³左右,而作硬化处理(水泥抹面、砌砖)后,泥沙含量为8 kg/m³左右,集流率为汛期降雨量的67%左右。为了减小径流中的泥沙含量,需进行地表处

理。一种是工程措施,另一种是生物措施,或者是两种措施的综合利用。研究采用人工压实土壤水泥抹面和人工草地组合的方法,分5种处理进行试验。试验区面积为750 m²,建水窖一个,水窖埋设在集水区下部。集流试验小区根据地形设计纵坡为*i*=3°,水泥覆盖厚度为30 mm,草种为牧场草。

将该集水试验场各小区从右到左编号分别为1[#]、2[#]、3[#]、4[#]和5[#]。1[#]小区为全部水泥抹面硬化处理,其面积为150 m²;2[#]小区硬化面积为120 m²,草地面积为30 m²;3[#]小区硬化面积为100 m²,草地面积为50 m²;4[#]小区硬化面积为80 m²,草地面积为70 m²;5[#]小区不作硬化处理,全部为草地面积为150 m²。试验场平面布置见图1。

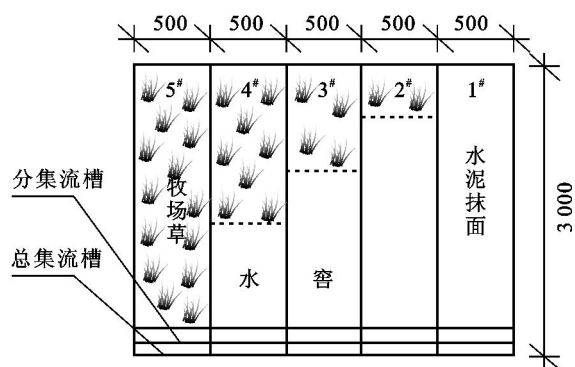


图1 集流节水试验场平面示意图(单位:cm)

2.2 水窖容量

试验区面积为750 m²,多年平均降水量为490 mm,汛期降水量占年降水量的74.8%。水泥护面渗水量折减系数按0.1计算,考虑到有效降水和跨年度调节,水窖容量取250 m³。

2.3 工程结构

水窖、集流槽、沉沙池均采用M7.5砖砌体,水窖墙厚为24 cm,集流槽、沉沙池墙厚为12 cm,表面用M10水泥砂浆抹面,水泥抹面厚度为4 mm,沉沙池设在分集流槽与总集流槽之间。

3 降雨径流观测

本试验主要研究各集流小区实际集流情况。因此,试验以降雨量与降雨强度为因子,分别观测了2000—2002年的降雨量与降雨强度以及各小区的实际集流量,以此来研究不同降雨量和不同降雨强度下各集流小区集流量及集流率的大小。在观测小区周边共布置雨量计两个,一个是自记雨量计,另一个是普通雨量筒。由于各集流小区护面措施不同,因而实际集流量和集流率也就不同。集流率为实际集流量与最大可能集流量的比值。水泥护面渗水量折减系数通常在

0.15~0.1 之间。本试验取 0.1 来计算各集流小区的渗水量。所以水泥护面最大可能集流量为 0.9 倍的降

雨量与各集流小区面积的乘积。根据实际观测,各小区降雨径流观测资料见表 1(以 2002 年为例)。

表 1 2002 年降雨实际集流量与最大可能集流量对比观测

| 降雨量/ mm | 降雨强度/ (mm·h ⁻¹) | A _I / m ³ | 1 [#] | | 2 [#] | | 3 [#] | | 4 [#] | | 5 [#] | |
|------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|
| | | | A/m ³ | I/% | A/m ³ | I/% | A/m ³ | I/% | A/m ³ | I/% | A/m ³ | I/% |
| 65.00 | 3.824 | 8.775 | 8.282 | 94.38 | 6.622 | 75.46 | 5.518 | 62.88 | 4.412 | 50.28 | 1.248 | 14.22 |
| 18.00 | 4.286 | 2.430 | 1.971 | 81.11 | 1.468 | 60.41 | 1.246 | 51.28 | 0.842 | 34.65 | 0.000 | 0.00 |
| 31.00 | 4.306 | 4.185 | 3.674 | 97.79 | 3.136 | 74.93 | 2.682 | 64.09 | 2.010 | 48.03 | 0.698 | 16.68 |
| 13.00 | 3.333 | 1.755 | 1.100 | 62.28 | 0.624 | 35.56 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 |
| 14.00 | 3.590 | 1.890 | 1.354 | 71.64 | 0.782 | 41.38 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 |
| 13.00 | 3.171 | 1.755 | 0.995 | 56.70 | 0.826 | 47.07 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 |
| 21.00 | 3.621 | 2.835 | 1.811 | 63.88 | 1.464 | 51.64 | 1.026 | 36.19 | 0.462 | 16.30 | 0.000 | 0.00 |
| 33.00 | 4.648 | 4.455 | 3.874 | 86.96 | 3.202 | 71.87 | 2.542 | 57.06 | 1.623 | 36.43 | 0.122 | 2.74 |
| 26.00 | 4.063 | 3.510 | 2.561 | 72.96 | 1.828 | 52.08 | 1.032 | 29.40 | 0.571 | 16.27 | 0.000 | 0.00 |

注:S 为泥沙含量; A 为实际集流量; A_I 为最大可能集流量; I = A/A_I。

4 雨水集流试验分析

从表 1 可以看出,在坡度一定的情况下,降雨量越大,集流量就越多;降雨强度越大,集流量就越多。从集流率的角度来看 1[#] 小区的集流率(实际集流量与最大可能集流量之比)较高,最低 56.70%,最高 99.25%,而 5[#] 小区的集流率最差,多数情况下集流率为零;从泥沙含量的角度来看,1[#] 的处理方法泥沙含量基本为零,5[#] 小区的处理方法泥沙含量较高。因此,从以上两个方面可以看出,1[#] 小区的处理方法最为理想。

因为集流量与降雨量,降雨强度以及各小区的坡度有关。在降雨量与降雨强度一定的情况下,集流量与各小区的坡度有关,坡度越大,集流量越多。在降雨量与各小区坡度一定的情况下,集流量与降雨强度有关,降雨强度越大,集流量越多。在降雨强度与各小区坡度一定的情况下,集流量与降雨量有关,降雨量越大,集流量越多。

本试验各小区坡度 $i = 3^\circ$,即各小区坡度一定,在这种情况下,集流量与降雨量和降雨强度有关,拟合集流量与降雨量和降雨强度之间的关系曲线,采用乘幂拟合,即 $A = kPF$ 。根据表 1 中的试验数据,拟合 2002 年的集流量与降雨量和降雨强度之间的关系曲线见图 2—4(其余年份的关系曲线图形与此相似),得到回归方程及相关系数见表 2。

从表 2 可以看出,在降雨量与降雨强度相等的情况下,1[#] 小区集流量较高,5[#] 小区集流量较差,一般情况下集不到水;在集流量相等的情况下,1[#] 小区的降雨量与降雨强度的乘积较小,5[#] 小区的降雨量与降雨强度的乘积较大,也就是说,要集蓄到相同的流量,5[#] 小区比 1[#] 小区必须要有较大的降雨量或较大

降雨强度。因此,1[#] 小区的集流方法较为理想,5[#] 小区的集流方法不可取。

从图 2—4 可以看出,随着水泥与草地面积之比 N 值的增大,集流系数 K 随之增大,降雨指数 σ 和雨强指数 β 随之减少。

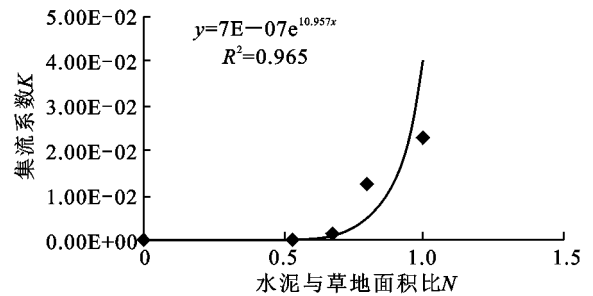


图 2 2002 年 N 与 K 的关系曲线

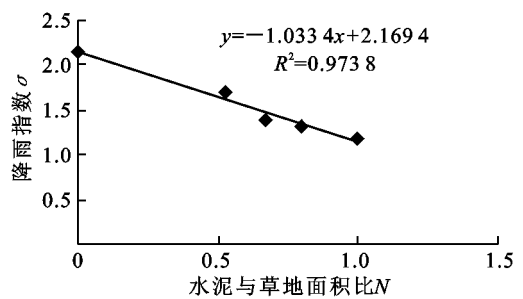


图 3 2002 年 N 与 σ 的关系曲线

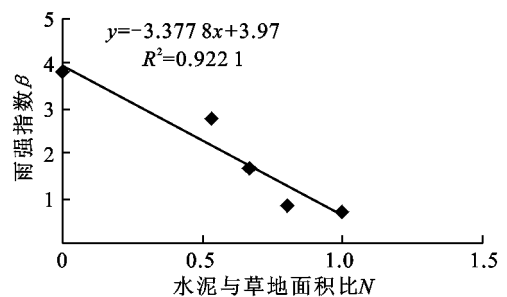


图 4 2002 年 N 与 β 的关系曲线

表 2 2002 年实际集流量与降雨量降雨强度的关系

| 小 区 | <i>N</i> | <i>K</i> | | | | 回归方程 | <i>R</i> |
|----------------|----------|-------------------------|---------|---------|--|---|----------|
| 1 [#] | 1.00 | 2.2797×10^{-2} | 1.176 4 | 0.692 2 | | $A = 2.2797 \times 10^{-2} P^{1.1764} F^{0.6922}$ | 0.995 2 |
| 2 [#] | 0.80 | 1.2799×10^{-2} | 1.307 2 | 0.828 3 | | $A = 1.2799 \times 10^{-2} P^{1.3072} F^{0.8283}$ | 0.912 9 |
| 3 [#] | 0.67 | 1.6952×10^{-3} | 1.394 6 | 1.636 2 | | $A = 1.6952 \times 10^{-2} P^{1.3946} F^{0.6362}$ | 0.939 5 |
| 4 [#] | 0.53 | 7.8940×10^{-5} | 1.703 3 | 2.743 5 | | $A = 7.8940 \times 10^{-5} P^{1.7033} F^{2.7435}$ | 0.921 1 |
| 5 [#] | 0.00 | 8.1437×10^{-7} | 2.165 4 | 3.816 2 | | $A = 8.1437 \times 10^{-7} P^{2.1654} F^{3.8162}$ | 0.908 6 |

注:*N* 为水泥硬化面积与草地面积之比; *R* 为相关系数; *K* 为集流系数; 为降雨指数; 为雨强指数。

5 投资分析

若把小区全部硬化的投资比假定为单位 1,把不作硬化处理的小区投资比视为零(近似值)。集流试验场 5 个小区的投资比和集流率(年度平均值)相对应关系见表 3。

表 3 小区表面处理投资比与集流率关系

| 小 区 | 1 [#] | 2 [#] | 3 [#] | 4 [#] | 5 [#] |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 投资比 | 1.00 | 0.80 | 0.67 | 0.53 | 0.00 |
| 集流率/% | 84.97 | 66.35 | 47.30 | 20.24 | 1.43 |
| | 84.23 | 62.57 | 46.92 | 33.08 | 6.34 |
| | 75.34 | 56.71 | 33.43 | 22.44 | 3.74 |

用投资比作为纵坐标,集流率作为横坐标,得出图 5。从图 5 可以看出,随着投资的增加,集流率也随之增大。根据实际的观测研究,集流率在 62% 为最佳。若大于 62%,投资的增加量将大于集流率的增加量。最大可能集流率(100%)与此时的集流率的差值为一定值 *d*(38%)。就水泥抹面作为集流技术,*d* 值不会因投资的增加而减少。影响 *d* 值的因素可能与集流材料的选择有关,如果这种材料的透水性很差的话,*d* 值会很小,反之会很大。如果找到一种材料,这种材料比水泥的透水性还差的话,*d* 值肯定小于 38%。由此可见,敏感地影响 *d* 值变化的因素是集水材料的选择,而不是水泥抹面技术上增加投资的办法。就目前来看,水泥抹面作为雨水集流技术还是成功的。

表 4 2002 年节水梯田与普通梯田对比观测

| 作 物 | 补 灌 | | 苗全率/ % | 产量/ kg/hm ² | 产出效益/ 元 | 投入/ 元 | 净效益/ 元 |
|------|-----|--|-----------|---------------------------|------------|----------|-----------|
| | 次数 | 用水/(m ³ ·hm ⁻²) | | | | | |
| 节水玉米 | 3 | 570 | 100 | 9 262 | 10 188 | 5 235 | 4 953 |
| 普通玉米 | | | 87 | 5 310 | 5 841 | 4 425 | 1 416 |
| 节水葵花 | 3 | 420 | 95 | 3 960 | 12 672 | 4 695 | 7 977 |
| 普通葵花 | | | 95 | 2 520 | 8 064 | 4 155 | 3 909 |

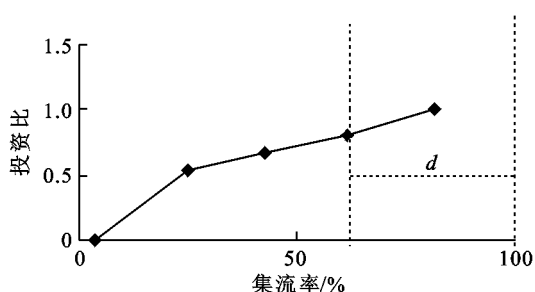


图 5 投资比与集流率关系曲线图

6 节水梯田的增产效益

利用 2000—2002 年收集的雨水,在 2001—2003 年对 0.133 hm² 的梯田玉米和 0.067 hm² 的梯田葵花进行补灌试验。并与同样面积普通梯田的苗全率、产量及净效益等进行对比研究。玉米和葵花的单价按当地市场价,分别按 1.1 元/kg 和 3.2 元/kg 计算,投入按当地实际调查情况,以 2002 年为例,试验

研究情况见表 4。从表 4 中可以看出,节水梯田玉米比普通梯田玉米增产 3 952 kg/hm²,产出效益增加 4 347.2 元,净效益增加 3 537.2 元。节水梯田葵花比普通梯田葵花增产 1 440 kg/hm²,产出效益增加 4 608 元,净效益增加 4 068 元。可见,葵花的效益最高,引导农民种植经济作物,调整农业产业结构是提高农民收入的最佳方法。

7 结 论

(1) 集流量与降雨量和降雨强度之间是乘幂关系,降雨量越大,集流量就越多,降雨强度越大,集流量也越多。

(2) 1[#] 小区的集流率(实际集流量与最大可能集流量之比)较高,最低 56.70%,最高 99.25%,而 5[#] 小区的集流率很差,一般情况下集不到水,集流率为 0。

(下转第 191 页)

政策,调整作物结构,增加杂粮杂豆、薯类作物种植面积,改良品种,改进栽培技术,提高品质,在小杂粮优生区域发展适度规模的名、优、特小杂粮产业,发挥陕北地区农业资源优势。

(2) 十几年来,中国特产之乡推荐暨宣传活动组委会着力推进的“中国特产之乡”宣传活动,由于顺应农业产业结构调整的方向和市场需求,使这一活动一直蓬勃发展。要制定特色农业计划,广泛宣传地方特色的产业,提高广大农民群众的文化水平,科技意识和市场观念。

(3) 鼓励农户大力发展订单农业,形成利益共享、风险共担的贸工农、产供销、种养相结合的农业产业化经营体系。

(4) 建立健全规范的法规制度,通过合同约束参与农业产业化各方的权利与义务,保障各方特别是处于弱势地位农户的合法权益,以加快特色农业的发展。

[参 考 文 献]

- [1] 陕西省统计局. 1999—2007年陕西统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,1999—2007.
- [2] 高照良,张晓萍,穆兴民. 黄土丘陵区参与式生态环境现状及未来建设调查研究:以陕西省安塞县大南沟流域为

例[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(4):67—72.

- [3] 肖占文,闫吉治,王多成. 河西走廊玉米制种产业现状分析及可持续发展对策[J]. 中国种业,2006(6):13—15.
- [4] 刘秉正,吴发启. 黄土高原经济林(果)建设与开发[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003.
- [5] 陈志杰,梁银丽. 陕西设施蔬菜产业发展中的几个问题[J]. 西北园艺,2002(4):12—13.
- [6] 陈印军,杨瑞珍,尹昌斌. 西部地区特色农业优势、问题与对策[J]. 中国农业资源与区划,2003,24(1):21—24.
- [7] 徐勇. 黄土高原中部丘陵区(中尺度)农村经济特征制约因素与发展对策[J]. 水土保持研究,2000,7(2):14—21.
- [8] 魏建功. 中国阜阳特色农业的理论与实践[M]. 北京:中国农业科技出版社,2006.
- [9] 姜英,汤国安. 陕西省生态环境现状及防治对策[J]. 水土保持通报,2002,22(1):76—78.
- [10] 朱文兴,白明. 西部大开发:农业、农村、农民[M]. 北京:经济管理出版社,2007.
- [11] 姚蓉,延军平. 陕北地区生态与经济互动发展初探[J]. 生态经济,2007,22(8):55—57,62.
- [12] 姚蓉. 完善的后续政策是巩固退耕还林成果的重要前提[J]. 水土保持研究,2005,12(6):268—270.
- [13] 易敏利,唐雪梅. 我国水资源的管理困境及其解决思路[J]. 生态经济,2007,22(12):19—21.

(上接第179页)

(3) 1# 的处理方法泥沙含量基本为零,5# 小区的处理方法泥沙含量较高。

(4) 在拟合集流量与降雨量和降雨强度之间的关系曲线 $A = k_p F$ 中,随着水泥硬化面积与草地面积之比 N 值的增大,集流系数 K 也随之增大,降雨指数和雨强指数随之减少。

(5) 通过对梯田玉米、葵花进行补灌试验得出,引导农民种植经济作物,调整农业产业结构是提高农民收入的最佳方法。

[参 考 文 献]

- [1] Gao Jianen, Gu Binjie, Bin L. The Representative Patternsof Rainwater Catchment Utilization (RWCU) and Their Economical Analysis[C]// Proceeding of Chinese Israel Bilateral Workshop of Water Saving Agriculture. 北京:中国水利水电出版社,2001.
- [2] Gao Jianen. Artificial collecting Rainwater and Utilizing Modes in the Loess Plateau China[C]. 10th International Rainwater Catchment System Conference. Germany: Mannheim, 2001.
- [3] 刘润堂,李仰斌. 山西水土保持志[M]. 郑州:黄河水利出版社,1999:315—317.

- [4] Huang Zhanbin, Shan Lun. Study on agricultural use technology development of rainwater harvesting in dry area of China [C]// Economic and Environmental Sustainable Development in Middle and Western Region of China in 21st Century. Hohhot: Inner Mongolia People's Publishing House, 1999.
- [5] 吴普特,杨新民. Rainwater Collection Utilization System on the Loess Plateau in China[C]// 第17届国际灌排会议论文集(西班牙). 1999:151—155.
- [6] 黄占斌. 第8届国际雨水收集利用大会概况[J]. 水土保持通报,1997,7(4):42—45.
- [7] Huang Zhanbin, Assouline S, Zilberlan J, et al. Moving Irrigation Methods and Soil Management Effects on Yield, Water and Salt Distribution in corn field [C]// Proceedings of 99 - ICAE, Beijing, 1999.
- [8] Huang Zhanbin. Rainwater Management for Dryland Farming in Northwestern China[C]// Edited by John M Laflen Junliang Tian, Chir-hua Huang: Soil Erosion and Dryland Farming, New York, 2000:45—50.
- [9] Huang Zhanbin. Model of Rainwater use in Loess Plateau of China[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1998.