

山东主要农作物人工增雨效益评估

薛晓萍 陈文选 陈延玲

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

摘要: 通过分析山东降水与主要农作物产量的关系, 得到降水对作物产量的动态定量贡献, 从而获得人工增雨的最佳作业时间, 并定量评估增雨对农作物的直接经济效益。

关键词: 气象产量; 增雨; 评估

中图分类号: S161.3 **文献标识码:** A

据世界粮食组织报告, 中国是全球 13 个最缺水国家之一, 人均水资源占有量仅为世界平均水平的 $1/4$ ^[1]。山东水资源更为不足, 人均占有量仅为 381 m^3 , 为全国平均水平的 14%, 旱灾年年发生, 缺水已成为山东发展可持续性农业的主要限制因子。随着我国人工影响天气技术进一步发展, 对云体实施催化增雨业务已逐步成熟, 并成为防灾、减灾, 保护农业生产的一项重要措施。

关于人工增雨效益, 国内外部分专家对其作过大量研究, 1961~1967 年以色列的宰渡试验相对增雨 15%^[2], 1974~1985 年内蒙古飞机作业相对增雨量约 21%^[3], 1975~1986 年福建古田高炮作业相对增雨量 26.9% 等等^[4, 1]。所有研究大都注重增雨效果的分析, 而对增雨经济效益(S_c) 的评估仅较为简单地以公式: $S_c = R_z A_s C$ 表示, 其中, A_s 为作业和影响区面积, R_z 为增雨量, C 为每吨水的价格。根据降水与农作物产量之间的关系, 定量评价人工增雨的直接产量效益尚不多见。本文通过分析山东主要农作物(小麦、玉米、甘薯、花生和棉花) 不同生育时段降水与产量的关系, 得到作物不同时段水分对产量的动态贡献, 从而探讨人工增雨最佳作业时间, 并对其农业直接经济效益进行动态评估。

1 作物生育期内水资源概况与开发前景

1.1 主要作物生育期内水资源概况

山东农业用水主要靠自然降水, 根据文献[5, 6] 中关于山东主要农作物对自然降水的需求指标, 对历年不同时段降水量进行统计分析, 各作物生长期内降水达不到需水要求概率为

收稿日期: 1998-09-14; 改回日期: 1999-03-09

基金项目: 由山东省科教处“人工增雨与作物产量关系”和国家“九五”攻关项目“人工增雨农业减灾技术研究”课题资助
第一作者简介: 薛晓萍, 女, 1964 年 5 月生, 学士, 工程师

1) ZHEN GUANGPING: A comprehensive evaluation of the effect of artificial raining in Gutian reservoir area, China. Papers submitted to fifth WMO scientific conference on weather modification and applied cloud physics, Beijing, China, 8—12 May 1989, 551~554

20 % ~ 35 %。另外, 因不同作物、不同生育时段对水分的需求量及敏感度不同, 水分供需矛盾也有差异, 按作物各生育阶段的丰产需水和干旱指标分析得到:

小麦, 播期、苗期和成熟期达不到丰产需水量的概率为 50 % ~ 80 %, 受旱概率为 28 % ~ 52 %。越冬期至抽穗期达不到需水要求概率为 90 % ~ 100 %, 受旱概率为 50 % ~ 85 %。

玉米, 播期有 73 % 的年份达不到丰产需水指标, 受旱概率约 43 %, 其他生育阶段 27 % ~ 37 % 的年份达不到要求, 受旱概率为 19 % ~ 28 %。

甘薯, 栽种期和成熟期有 73 % ~ 81 % 的年份达不到需水要求, 受旱概率为 36 % ~ 43 %, 苗期到薯块形成期有 22 % ~ 28 % 的年份降水达不到要求, 受旱概率 10 % ~ 15 %。

花生, 播期至苗期降水达不到需水指标的概率为 49 % ~ 66 %, 受旱机率为 25 % ~ 45 %, 开花至初见饱果期, 降水达不到其指标的概率约 22 %, 受旱机率约 7 %。饱果成熟期 45 % 的年份降水不能满足要求, 36 % 的年份受旱。

棉花, 播期至苗期 35 % ~ 48 % 的年份需水要求得不到满足, 20 % ~ 34 % 的年份受旱。蕾期、花铃期降水达不到需水量的概率为 35 %, 受旱概率为 9 %。吐絮以后达不到需水指标的年份占 69 %, 受旱年份占 50 %。

由以上分析, 小麦水分供需矛盾最大, 玉米、甘薯、花生和棉花虽大部分生长期处于多雨季节, 但因降水年变率较大, 仍有不同程度受旱。缺水将影响光热资源的充分利用, 人工增雨可为有效的补救措施之一。

1.2 山东空中水资源的开发前景

从历史资料分析, 山东境内的云水资源较为丰富, 王以琳、龚佃利等运用 R D Elliott、P V Hobbs 等人的计算方法, 根据云中的水汽含量, 对影响山东的主要降水天气系统降水效率进行了计算, 得到进入山东各系统的地面降水量约占云中水汽含量的 8.5 %, 仍有 91.5 % 的水汽没有转化为地面降水, 有待于人工开发。另外, 分析山东阴天和降水日数, 在干旱概率最高的 4 ~ 6月 和 9 ~ 10月 5个月期间, 月平均有 7 ~ 12 d 阴天, 阴天降雨日约占阴天的 50.1 % ~ 82.8 %, 若选择有明显系统影响, 且有 5 个站以上降雨量大于 5 mm 的降雨日为可进行人工增雨作业日, 平均每年干旱季节里有 40.4 d 可供选择进行增雨作业, 阴雨天较多的夏季和冬季可进行增雨作业的机会更多, 可见山东人工增雨是一项极具挖掘潜力的重要水利工程, 可用较少资金使更多云水转化为地面降水, 以满足作物不同生育期的需要。

2 产量与降水定量关系及有效增雨期分析

2.1 作物产量与降水量关系的定量分析

作物产量形成是一动态过程, 是作物所处外部环境条件作用于自身生育规律的最终表现。它是由趋势产量和气象产量组成, 其中气象产量是全生育期内每一时段气象因子对其贡献的逐步积累, 且年度间波动较大^[7, 8]。根据山东的气候特点, 常年光、温变化较为平稳, 一般能满足作物各生育阶段需求, 气象产量波动主要是由降水因子引起, 降水变化对产量的影响可用 R A Fisher 的积分回归模式来表示:

$$y_{wi} = C_0 + \int_{ar_j(t)}^{\tau} R_{ij}(t) dt \quad (1)$$

其中 y_{wi} 为气象产量; R_{ij} 为降水因子; C_0 为常数项; $ar_j(t)$ 为偏回归系数; $i = 1, 2, \dots, n$ (样本数); $j = 1, 2, \dots, \tau$ (生物时段)。

为统计方便, 视每一旬为作物一个生育时段, 由 $ar_j(t)$ 便可分析作物生育期内不同时段降

水对产量的影响及其变化特征。根据山东的气候特点以及作物生长期水分供需差,将山东分为鲁东、鲁中和鲁西三大区域,其中鲁东区包括威海、烟台、青岛、和潍坊四市,鲁中区包括淄博、临沂、日照、泰安、滨州、枣庄、莱芜和东营八地市,鲁西包括菏泽、济宁、台儿庄、济南、聊城、德州六地市。各区域作物全生育期逐旬每毫米增雨对产量的动态影响曲线见图 1~5。

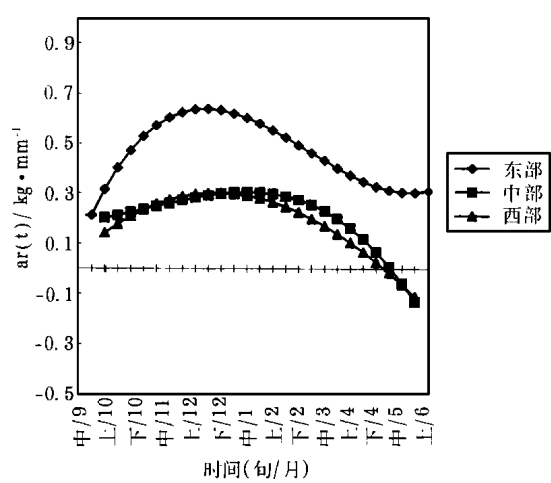


图 1 小麦生育期内增雨对产量的影响曲线
Fig. 1 The impact of artificial raining on wheat yield

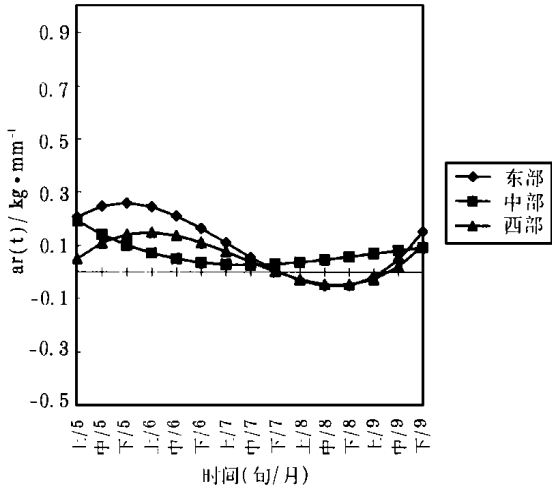


图 2 玉米生育期内增雨对产量的影响曲线
Fig. 2 The impact of artificial raining on maize yield

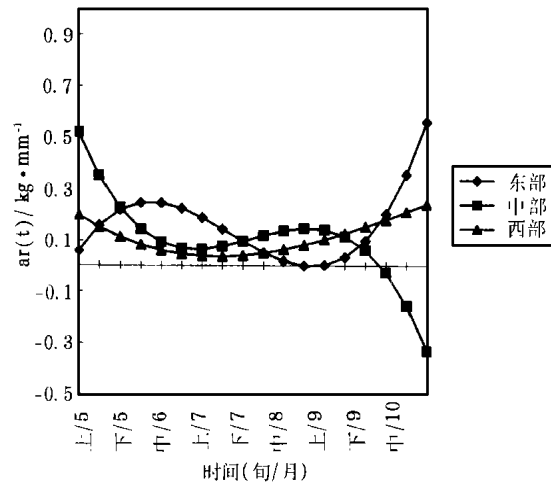


图 3 甘薯生育期内增雨对产量的影响曲线
Fig. 3 The impact of artificial raining on sweat potato yield

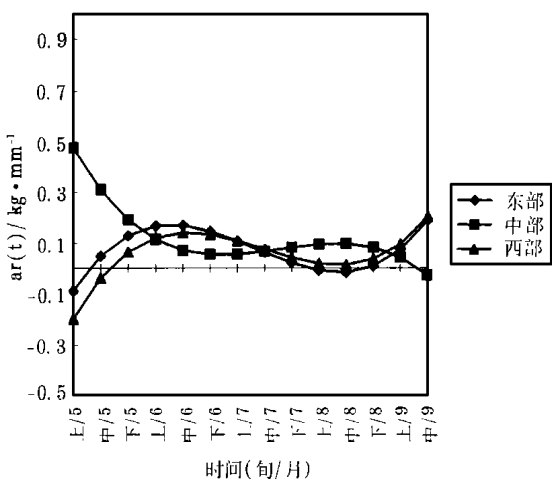


图 4 花生生育期内增雨对产量的影响曲线
Fig. 4 The impact of artificial raining on peanut yield

2. 2 有效增雨期的分析

由图 1~5 可见,并非任何时期增雨都对作物有利,只有其影响为正效益时才为增雨最佳

时期:

小麦, 鲁东麦区增雨对气象产量的效应均为正值, 高峰期处于 11 月下旬至 1 月下旬, 小麦处于分蘖后期和越冬期, 此期实施人工增雨对小麦增产效应最大; 鲁中、鲁西麦区增雨对产量的影响趋势相近, 为一抛物线型, 其峰值变化较鲁东麦区平缓, 且分别于 5 月下旬和 5 月上旬以后增雨的影响为负值, 其余时间均为正值。

玉米, 鲁东、鲁西两区域增雨对玉米产量贡献趋势基本一致, 7 月下旬至 8 月下旬为负效应, 其他时间为正效应, 其中 5 月上旬至 7 月上旬增雨效果最显著。鲁中玉米全生育期内增雨为正效应。

甘薯, 三个区域的变化曲线各不相同, 除中部地区 10 月上旬以后为负效应, 其余时间人工增雨均为正效应, 全省平均 5 月上旬至 8 月中旬增雨效果最好。

花生, 鲁东、鲁西区域变化趋势一致, 高峰值在 5 月下旬至 7 月中旬和 9 月上旬以后。鲁中, 9 月上旬以前增雨均为正效应。

棉花, 主要种植在中、西部地区, 鲁中区域分别于 4 月中旬至 5 月下旬和 8 月上旬至 10 月下旬增雨对产量为正效应。鲁西地区在 4 月中旬至 8 月上旬为正效应, 8 月上旬至 10 月下旬则为负效应。

3 效益评估

3.1 评估模型的建立

人工增雨对作物的直接经济效益是通过其最终形成的产量表现出来, 若某作物生育期内旬增雨幅度以 ΔR_j 表示, 由此产生的气象产量变化为: $Y_w = \sum_{j=1}^{\tau} ar_j \Delta R_j$ 。由于每次增雨作业区及其影响范围(人工增雨影响区范围以作业区下风方 50 km 为限)不同, 要综合评估增雨对农业的效益, 首先要统计影响范围内各作物种植面积, 再建立其评估模型, 而作物种植面积的统计比较困难, 通常以其覆盖范围内各县、市(区)作物种植面积的总和, 做为每次增雨各作物的总受益面积。另外, 由于增雨效益评估是实时的, 一般各县、市(区)当年作物种植面积占全省总面积百分比 $\beta_j(u, l)$ (j 表示作物, u 表示区域, l 表示各区域内的县、市、区数)难以确切掌握, 通常用前 5 年的平均值代替。根据 2.1 中计算所得每毫米增雨对各作物产量的贡献系数 $ar(u, t)$ ($t = 1, 2, \dots, 36$ 旬), 假设第 t 旬内实施了一次作业, 影响覆盖面所包括地市数为 K , 其中, 鲁东区域 K_1 个县、市(区), 鲁中区域 K_2 个县、市(区), 鲁西区域 K_3 个县、市(区), 每毫米增雨对某作物产量直接贡献(kg)为

$$S = M \sum_{j=1}^3 \sum_{u=1}^{K_u} ar(u, t) \beta(u, l) / 100 \quad (2)$$

式中 M 为当年某作物全省播种面积(hm^2), K_u 为各区域增雨作业所覆盖的地、市(区)

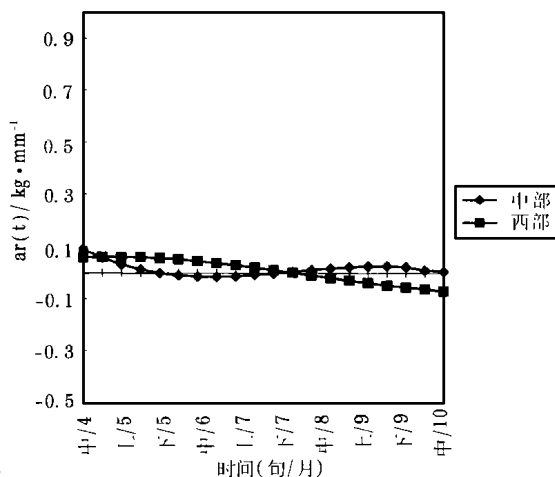


图 5 棉花生育期内增雨对产量的影响曲线

Fig. 5 The impact of artificial raining on cotton yield

数。

若一次人工增雨 R (mm), 每千克作物产量市场价格以 C (元) 表示, 单一作物的直接经济效益(元) 模型为

$$S = CRM \sum_{j=1}^3 \sum_{l=1}^{K_u} ar(u, t) \beta(u, l) / 100$$

(3)

则每次人工增雨作业完成后, 全省 5 种主要作物直接经济效益(元) 模型为

$$S = \sum_{j=1}^5 C_j R_j M_j \sum_{l=1}^3 \sum_{u=1}^{K_u} ar_j(u, t) \beta_j(u, l) / 100$$

(4)

由(2) ~ (4) 式可在每次人工增雨后, 立即对作物直接经济效益进行动态评估, 同时亦能进行年度内总直接经济效益评估。

3.2 评估模型的应用

1998 年 3 ~ 5 月份, 山东省人工增雨办公室在不同范围内进行了 20 架次的增雨作业, 增雨面积 40.0 亿 m^2 , 按区域对比分析法计算, 总增雨量 10.0 亿 m^3 。运用 3.1 中的评估模型, 逐次人工增雨对各作物的直接经济效益见表 1。由此, 3 ~ 5 月份增雨对小麦、玉米、甘薯、花生和棉花产量总效益贡献占全省相应作物总收入百分比分别为: 0.73 %、0.30 %、0.39 %、0.21 % 和 0.65 %, 可见在自然降水达不到作物丰产需水指标时, 实施人工增雨对农作物的增产潜力较大, 尤其在干旱少雨年份, 是减灾增收的有利措施。

表 1 1998 年 3 ~ 5 月增雨对作物的经济效益

Table 1 Economic efficiency of artificial raining during March to May 1998

日期(日/月)	架次	增雨量(mm)	小麦(万元)	玉米(万元)	甘薯(万元)	花生(万元)	棉花(万元)
9/3	1	2.20	1 795.3				
	2	1.80	1 337.1				
10/3	1	0.80	1 069.1				
18/3	1	1.50	2 191.9				
26/3	1	0.80	733.1				
	2	0.80	680.8				
30/3	1	1.20	977.5				
31/3	1	5.10	2 068.8				
	2	2.32	451.4				
11/4	1	4.50	2 744.1				452.4
1/5	1	2.85	185.4	367.9	202.3	304.6	180.2
	2	0.57	49.0	76.3	101.7	223.1	20.7
	3	2.85	1 027.7	1 012.9	207.2	238.3	649.3
	4	1.14	809.3	428.5	201.1	269.8	41.6
10/5	1	1.70	102.2	153.7	61.1	- 34.3	280.1
	2	2.70	1 705.4	954.8	471.4	729.1	98.4
	3	0.60	207.1	186.3	18.4	- 36.5	147.2
21/5 ~ 22/5	1	5.70	333.7	2 331.2	167.0	340.0	846.4
	2	0.50	156.0	174.7	29.6	111.8	11.0
	3	0.40	240.3	147.8	18.8	90.4	

4 小 结

山东为旱灾多发省份, 小麦水分供需矛盾最大, 其他作物也存在不同程度的水分缺乏, 人

工增雨是防旱减灾的有效措施。根据降水对作物产量的动态贡献系数, 可以判断增雨对作物的正负效益, 从而提供人工增雨作业最佳时期, 并对作物由此而获得的直接经济效益进行动态评估。本文是对主要作物的经济效益评估, 以此做为对人工增雨作物产量直接经济效益的评价还不够确切, 要做到精确的评估, 需要对所有作物进行分析研究。另外, 表 1 中所用的增雨量, 是按区域对比分析法计算而得, 而增雨量评估的准确度问题较为复杂; 影响作物生育期内水资源概况的因素很多, 本研究仅采用统计学方法分析降水与需水, 很难完全揭示其内在机制, 还应対前期降水、地下水输送等因素进行分析。上述问题有待于在以后的工作中深入研究, 使增雨效益评估工作逐步得以完善。

参 考 文 献

- [1] 宋 健. 也论“谁来养活中国人”[A]. 中国人口·资源与环境, 1997, 7(4): 1- 4
- [2] 赫斯 W N. 人工影响天气和气候[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 175- 181
- [3] 郭恩铭. 华北地区人工增雨的可行性研究[A]. 北京气象, 1990, 46(3): 5- 9
- [4] 曾光平, 刘 峻. 人工降水试验效果检验的统计模拟方法研究[A]. 气象学报, 1993, 51(2): 241- 247
- [5] 史可琳, 薛晓萍, 金荣兴. 莱州湾沿岸地区作物水分诊断[A]. 山东师大学报, 1996, 11(3): 48- 52
- [6] 薛晓萍, 史可琳, 王玉军. 莱州湾沿岸作物产量与降水通径分析研究[A]. 山东农业大学学报, 1998, 29(2): 176- 182
- [7] 安顺清, 焦仪珍. 京津冀豫地区小麦优化灌溉的农业气候依据[A]. 气象学报, 1992, 50(3): 320- 326
- [8] 王石立, 王馥棠. 气候变暖对黄淮海地区小麦产量可能影响的模拟试验[A]. 气象学报, 1993, 51(2): 209- 215

EFFICIENCY APPRAISEMENT OF ARTIFICIAL RAINING FOR CROPS IN SHANDONG PROVINCE

XUE Xiao-ping CHEN Wen-xuan CHEN Yan-ling

(Shandong Meteorological Institute, Jinan 250031)

Abstract: Relations of staple crops 'yields to precipitation in Shandong Province are investigated. The precipitation's dynamic contribution to the yields is achieved, based on which optimal artificial raining is timely determined. Furthermore, the economic benefit brought about by artificial raining is appraised.

Keywords: meteorological yield; artificial raining; appraisalment