

延安降水对农作物生长适宜性的模糊分析

徐学选, 高 鹏, 蒋定生

(西北农林科技大学, 陕西杨陵 712100)

摘 要: 采用 21 年逐日降水、月径流及作物生育期需水量资料, 运用模糊数学分析了降水对小麦、玉米、谷子、马铃薯等四种作物生长的降雨量、时期、有效程度三种适宜度, 并对三种适宜度累积加权平均得到雨量、雨时、雨效的三个适宜态, 进而得出降雨效能指数, 用来整体评价降水的作物适宜性。其评价结果表明延安地区降雨对玉米、谷子种植效能指数最高, 其次为马铃薯。而小麦种植由于生育期降雨量偏少, 其降雨效能指数很低, 只有在有补充灌溉的情况下, 减轻降雨量偏少的干旱影响, 才是发展小麦种植的有效途径。研究结论对同类地区农业生产有理论上指导意义。

关键词: 延安; 降水; 农作物; 适宜性; 模糊分析

中图分类号: S162.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2000)02-0073-04

Fuzzy Analysis on the Suitability of Precipitation to the Agro-Crops Growing in Yan'an City

XU Xue-xuan, GAO Peng, JIANG Ding-sheng

(Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100, PRC)

Abstract: Based on the fuzzy theory, authors had studied two types of the three indexes which are suitability's in quantity, temporal and effective degree, the results show that corn, potato and millet are more suitable to grow than of wheat in the areas. This study is useful for adjusting the agro-crops plantation in the Loess Plateau region.

Key words: Yan'an city; precipitation; agro-crops; suitability; fuzzy analysis

延安地处陕北黄土高原中部,地貌为黄土丘陵沟壑区,降水在 390~700 mm 之间,气候上属半干旱至半湿润的过渡区。既存在发展旱地农业的气候条件,又是水土流失的重灾区。评价该地区发展粮食生产的利弊,从而按照因地制宜的原则安排农业生产,进而促进林草植被建设的顺利发展,已经是延安生态农业建设的成功经验。为了更好地安排该地作物种植结构,我们分析了延安生态农业试验示范区降水对农作物生长适宜性,从而为调整种植结构和优化农田管理提供理论依据。

1 研究区的基本农业概况

延安生态农业试验示范区包括宝塔区的枣元、

万花、河庄坪柳林和安塞县的沿河湾、楼坪、高桥等,7 个乡镇,总面积约 1 120 km²,降水在 580~480 mm 之间,从南向北递减,农作物主要有小麦、玉米、谷子、马铃薯等。它们占到总粮播面积的 64% 左右,在进入 80 年代后期,更达 70%,我们以宝塔区为例(见表 1),说明四种作物在该地区种植结构中极为重要。因此,分析这四种作物的降水适宜性,并为人调节水利灌溉,调整作物布局提供依据,这无疑将会对延安的粮食生产起十分重要的示范推动作用。

2 降水对农作物生长适宜度的评价指标及适宜度函数的确定

降水是作物水分供应与土壤水分的主要来源,

* 收稿日期: 2000-04-03

国家“九五”科技攻关专题(96-004-05-13)。

农作物生长的好坏、产量的高低与降水有着密切的关系。为了评价降水对农作物生长的影响,我们采用了“适量”、“适时”与“有效程度”三个指标(或称因

素)来度量。并且引入“适宜度”的概念,把它看作是具有模糊意义的量化指标,藉此用来描述这种影响的动态变化过程。

表1 宝塔区四种作物种植面积、总产和所占比例单位

项 目	粮食面积	小 麦	玉 米	谷 子	马 铃 薯
1949~ 1996 年平均面积/hm ²	27707	6060	5513	7547	2833
1980~ 1996 年平均单产/kg·hm ⁻²	1547	730	2751	1173	1464
面积比率/%	100	21.84	19.90	27.22	10.23
总产比率/%	100	10.32	35.39	20.63	9.68
1949~ 1996 年平均面积/hm ²	28261	4621	6891	6673	14.57
1980~ 1996 年平均单产/kg·hm ⁻²	2462	911	4955	1676	4117
面积比率/%	100	16.35	24.38	23.61	12.78
总产比率/%	100	6.05	49.07	16.07	2160

所谓降水“适量”适宜度,是指在作物各生长发育阶段内所降水的某一水量,能使作物获得较好的产量,高于或低于这一降水量的都会导致作物减产。所谓降水“适时”适宜度,是指降水能为土壤蓄纳和作物充分利用的程度。很显然,认为适宜度只能取“适宜”或“不适宜”两个值是不恰当的。为了区分适宜程度的差别,在适宜与不适宜之间引入中间值的方法是可取的。规定适宜度在隶属度区间[0, 1]上取值,使不同的适宜度之间可以比较大小。这类容许有中间状态存在的概念,人们称之为模糊概念,以别于普通集合论中的确切概念。

根据这一观点,降水“适量”的适宜度、“适时”的适宜度和“有效程度”的适宜度等等,都可看作是在[0, 1]上取值的被量化的量。现在,关键在于如何确定适宜度的隶属函数。

今设降水量 M 的定义域为实数区间 $U_1 = [a_1, b_1]$,那么,模糊概念“降水的量适宜”确定了 U_1 上的一个模糊子集 $S_1 \subset [a_1, b_1]$ 。其隶属函数为

$u_{S_1}: [a_1, b_1] \rightarrow [0, 1]$ 或记为

$$S_1 = S_1(M) = u_1(M), M \in U_1 \quad (1)$$

我们以作物正常生长的需水量(根据彭曼公式计算而来)作为作物需水量的适宜水量标准,按照蒋定生(1992)的作物产量与降水量关系曲线图,认为可以用下式表示

$$u_{S_1}(M) = m_1/m \quad (m > m_1) \text{ 或 } m/m_1 \quad (m < m_1) \quad (2)$$

式中: m ——天然降水量(mm); m_1 ——作物需水量(mm);当 m 略大于 m_1 时,且完全可被土壤贮存接纳时,可认为 $u_{S_1}(M) = 1$ 同理,模糊概念“降水的时期适宜”、“降水的有效程度适宜”确定了相应的模糊子集 $S_2 \subset U_2 = [a_2, b_2]$, $S_3 \subset U_3 = [a_3, b_3]$ 。它们的适宜度曲线分别记为

$$S_2 = S_2(T) = U_{S_2}(T) \quad T \in U_2 \quad (3)$$

$$S_3 = S_3(E) = U_{S_3}(E) \quad E \in U_3 \quad (4)$$

其函数值分别为降水的时期 T 的适宜度,和降水的有效程度 E 的适宜度。

降水适时包含有两方面的内容,一是在各生育期内(尤其是作物需水的临界期)降水的量恰到好处,能使作物高产;二是这种降水量出现机率的大小。这里存在一个能使作物获得较好收成的降水区域(曲线峰值左右)。如果在此区间内分布的降水次数多,那么降水的保证率也就高,亦即降水适时的隶属程度高。我们据蒋定生的(1992)的方法,由延安四种作物的降水与产量关系生成降水适时区域。据此,降水适时的隶属函数定义为

$$u_{S_2}(T) = n_1/n \quad (5)$$

式中: n_1 ——降水适时区间内的降水年数; n ——资料样本总数。

降水的有效性,考虑了两个因素:一是无效降水损失,另一为径流损失。粗略地把5mm的日降水量归为无效降水,因为这种降水一部分被作物茎叶截留而直接蒸发,另一部分仅起打湿地皮作用,不能形成土壤水。降水的有效程度隶属度依下式计算:

$$u_{S_3}(E) = (m - m_2 - m_3)/m \quad (6)$$

式中: m_2 ——5mm无效降水量(mm), m_3 ——径流量(mm)。

3 降水资源指标的适宜态

降水的量、时期和有效程度等,都随生育期不同而不同,即是随时间变化的,如果考虑这种前期的适宜度对后期适宜度的影响,采取加权分摊的办法可以得到加权累积平均适宜度,即适宜度随时间的累积加权变化过程。可把这个过程简称为降水资源评价指标的“适宜态”。

我们把时间的参考集取成作物整个生育期的生育期数,记为 $[0, i]$,并以生育期为时间单位。下面,

我们首先讨论降水的量适宜态的确定。

设若对本区的某一作物而言, 降水的量在其整个生育期 $[0, n]$ 内的变化过程

$$M = M(t), t \in [0, n]$$

为已知时, M 表示从 $[0, n]$ 到 U_1 的一个映射, 又 $S_1 \subset U_1$ 。那么适量隶属函数由下式确定

$$\mu_{S_1} M(t) = M \cdot S_1(t) = S_1[M(t)], t \in [0, n]$$

简记为 $S_M(t)$ 。它表示本地的降水的量对作物生长的适宜过程。而降水量的适宜度随时间变化在生育期内的加权平均适宜程度叫做降水的量的适宜态。其权重我们拟定为某生育期需水占前 i 个生育期需水的百分率, 计为 a_i ; 把适宜态离散过程记为

$$S_M = \sum_{i=1}^n S_M(t_i) a_i = \sum_{i=1}^n S_1[M(t_i)] a_i \quad (7)$$

同理, 若降水的时期和降水的有效程度的全生育期内变化过程 $T(t), E(t)$ 为已知时, 可得出降水的时期适宜态和降水的有效程度适宜态。离散过程分别为

$$S_{T_i} = \sum_{i=1}^n S_T(t_i) a_i = \sum_{i=1}^n S_2[T(t_i)] a_i \quad (8)$$

$$S_{E_i} = \sum_{i=1}^n S_E(t_i) a_i = \sum_{i=1}^n S_3[E(t_i)] a_i \quad (9)$$

它们分别表示降水的时期和降水的有效程度对作物生长的适宜度从播种到某个生育期的平均适宜态, 如果 i 为成熟期, 则 S_M, S_T, S_{E_i} 表示全生育期适宜态, 可以用 S_M, S_T, S_E 表示。

4 降水资源的效能指数

降水资源的数学模型应能反映降水在量、时期、有效程度三因素配合起来的总体效能。由于适宜态 S_{M_i}, S_{T_i} 及 S_{E_i} 都是 $[0, n]$ 上的模糊子集, 其总体效能 S_{C_i} 亦应是 $[0, n]$ 上的模糊子集, 并且 S_{C_i} 可看作是 $S_{M_i}, S_{T_i}, S_{E_i}$ 的交集, 即 $S_{C_i} = S_{M_i} \cap S_{T_i} \cap S_{E_i}$, 亦即降水资源的适宜态为降水资源各因素的适宜态的逻辑

乘。依此, 可以得到降水资源的效能模型

$$S_{C_i} = S_M(i) \cdot S_T(i) \cdot S_E(i) \quad (10)$$

这一模型反映了降水资源各因素对作物生长控制的实际效能, 它在降水资源评价中有着很重要的作用。我们把指标

$$C_e = S_M \cdot S_T \cdot S_E \quad (11)$$

称为降水资源的单位效能指数, 或简单称效能指数。该式表示全生育期内降水资源的生育期加权平均适宜度。

5 延安地区四种作物的降水资源适宜性分析

我们根据上述描述降水适宜性的适宜度, 适宜态和效能指标公式, 分别计算了小麦、玉米、谷子、马铃薯等四种作物的适宜性指数, 绘制作物降水对作物适宜度和适宜态, 随生长天数的动态图(图 1、图 2), 而降水效能指数为降水适宜态图的最下的缘部分。

从效能指数上看, 延安地区种四种植优先顺序为谷子、玉米、马铃薯、小麦。小麦在该地区种植其降水适宜性最差。再进一步分析, 降水对小麦的其适宜度最差, 尤其是在自返青始到抽穗的一段时间内, 其量适宜度仅 0.3 左右, 表明降水量偏少, 是其降水效能指数低的最主要原因。小麦种植宜在该阶段进行补充灌水, 这一点与该地春旱的情况非常吻合。其次在小麦越冬期, 降水有效性偏低也是一个原因, 此时, 仅 0.2 左右。而马铃薯降水效能指数低, 主要是生长后期(乳熟-成熟), 其量适宜度低的原因。此阶段量适宜仅 0.36, 导致降水有效指数偏低, 这两种作物生育期的量适宜态均为三个适宜态中的最低的一项。说明, 降水偏少, 是该作物效能指数低的主要原因。

表 2 降水对不同作物随生育期的降水效能指数

小麦	生育期 时 间 效能指数	播种- 越冬前 09- 10- 11- 14 0.714	播- 越冬 - 03- 13 0.544	播- 返青 - 04- 19 0.551	播- 拔节 - 05- 20 0.452	播- 抽穗 - 06- 12 0.413	播- 成熟 - 06- 27 0.447
谷子	生育期 时 间 效能指数	播- 拔节 05- 05- 06- 31 0.680	播- 抽穗 - 08- 02 0.739	播- 灌浆 - 08- 25 0.733	播- 成熟 - 09- 30 0.766		
玉米	生育期 时 间 效能指数	播- 拔节 04- 15- 06- 15 0.619	播- 抽穗 - 07- 25 0.726	播- 灌浆 - 08- 31 0.178	播- 成熟 - 09- 21 0.707		
马铃薯	生育期 时 间 效能指数	播种- 出苗 05- 25- 06- 30 0.762	播- 线蕾 - 08- 10 0.698	播- 膨茎 - 09- 10 0.651	播- 拔节 - 09- 25 0.593		

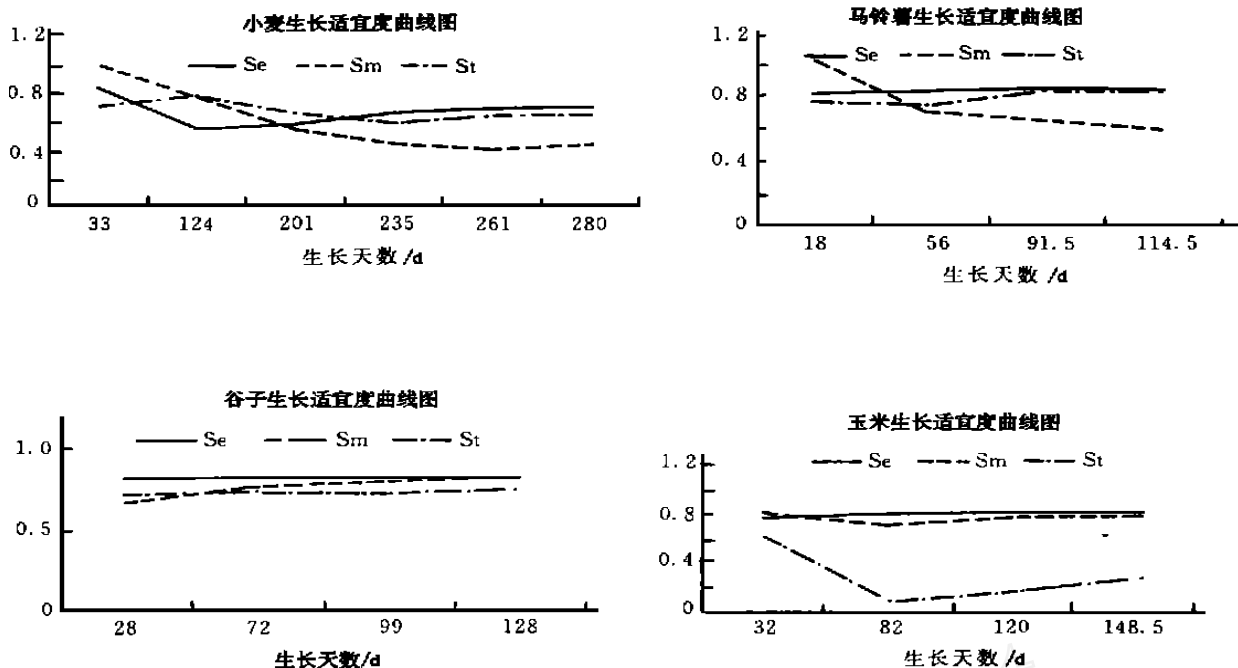


图1 降水对作物生长适宜度曲线

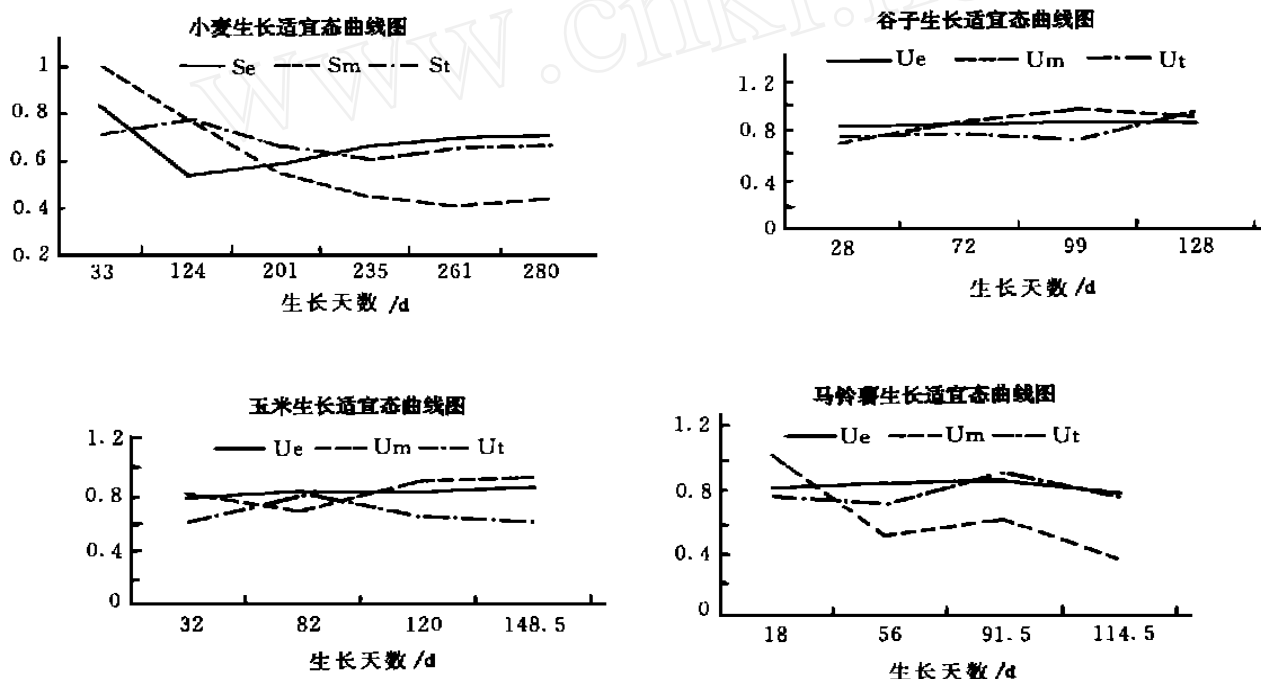


图2 降水对作物生长适宜态曲线

玉米、谷子的降水效能指数较高,在这两种作物的生育期,其降水的有效程度指数 U_e ,降水量适宜度 U_m ,降水适时度 U_t 均保持在0.6以上,保证了其降水效能较高,因此延安地区扩大种植玉米、谷子应成为发展粮食生产的基本走向。

前节已经说明,自80年代至今,玉米、谷子的种植面积率和总产量贡献率均较大,特别是玉米的总

产贡献率比种植面积率高许多,说明了其种植的优越性。而小麦种植面积已从1949~1996平均的21.87%。降为80年代至今的平均16.68%,单产仅占平均单产的不足50%,说明小麦种植在该地区仅从降水角度考虑是不适宜的。如果有灌溉措施,才可适当发展小麦种植。

(下转第118页)

式应很多,但是,其原理是一样的。

4.3.3 经济林 经济林是群众收入的主要来源之一,是今后相当一般时间内发展的主要对象,再加上其周期长,见效需要4~6年时间,所以,在建造经济林时对地类的要求甚高。

适宜的立地条件有沟掌地厚层黄土等,平缓地段,要求光照充足、土层深厚、肥沃,水分条件好而又没有积水的地方,距离村庄较近,便于施肥与管理。

4.3.4 几点说明

(1) 一个小流域地类很多,由于微地形影响,土

壤水肥条件有较大差距,所以应按立地条件类型进行灵活布设,形成一个多层次的防护体系,建立混农林业。

(2) 保护地系水土保持保护地,保护地一般在成林后不再采取任何经营措施,永久性封禁。除陡坡沟坡类型外崩顶与梁崩坡防护林也可以划分为保护地。

(3) 在林种布局完成的基础上,应慎重选择造林树种,尤其是慎重选择用于保护经济林的防护林的树草种,不应选用与其有相同病虫害的树草种。

参考文献

- 1 中国科学院黄土高原科学考察队 黄土高原地区土壤资源及其合理利用[M] 北京: 中国科学技术出版社, 1991
- 2 李玉山, 等 长武王东沟小流域土壤墒情影响因素与分布特征[J] 水土保持通报, 1996, (6)
- 3 郑粉莉 发生细沟侵蚀的临界坡长与坡度[J] 中国水土保持, 1989, (8)
- 4 陕西省水土保持局, 等 水土保持林草措施[M] 北京: 农业出版社, 1979, (5)

(上接第76页)

6 结 语

降水的适宜性模糊评价能比较全面地反映降水与农作物生长的相互关系,有效地刻画了降水特性的全过程,是评价降水资源的一个比较好的方法。通过对降水量与四种作物适宜性评价分析,延安地区玉米、谷子应成为该地区栽培作物,马铃薯种植会在成熟期降水供应偏少,需要一定的土壤供水,才能保证较高收成,事实上,土壤在秋后有大量贮水,因而马铃薯种植也应该成为延安地区主要栽培作物,而

冬小麦情况有很大不同,它在生育期的关键阶段(拔节-抽穗)其时降水严重不足,使得单产不高,降水效能指数很低。因此,该区在种植小麦上,要采取谨慎态度。如能尽量种植在有补充灌溉的地块上,使其产量保持在较高的水平上,才是今后小麦种植的基本思路。本文分析了延安降水对不同作物生长的适宜性评价,可为同类地区生产提供理论上的借鉴作用。但该分析仍存在一个些不足,比如:未考虑作物前期降水(包括土壤贮水)对生育期降水的效能指数的修订作用,今后还应加强这方面的研究。

参考文献

- 1 蒋定生, 等 绥米地区降水资源评价[J] 水土保持通报, 1984, (1)
- 2 蒋定生, 黄国俊, 帅启富, 等 渭北旱塬降水对农作物生长适宜度的模糊分析[J] 中科院水利部西北水土保持研究集刊, 1992, 第16集