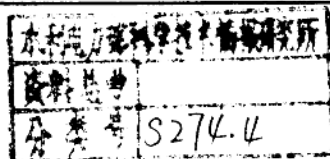


040029-15 $\frac{1}{2}$

灌溉农业中的 有效雨量



联合国粮食及农业组织 罗马



灌溉农业中的 有效雨量

N. G 达斯塔内编著

粮农组织顾问

印度新德里农业研究所项目协调员

联合国粮食及农业组织
1974年 罗马

本书中所用名称和所提供的材料并不意味着联合国粮农组织对于任何国家、领土、城市或地区或其当局的法律地位或对于其边界的划分表示任何意见。

M-56

ISBN 92-5-500272-4

本书版权属于联合国粮农组织所有。如未经版权所有者书面许可，不得以任何方式或程序全部或部分翻印本书。申请这种许可应写信给：意大利 罗马 Via delle Terme di caracalla 00100 联合国粮农组织出版处处长，并说明希望翻印的目的和份数。

© 粮农组织 1978 年

水在人类生活中起着极端重要的作用，因而要做到经济、有效地利用水资源就有必要准确地掌握总降雨量和有效雨量，或者说可利用的雨量的有关知识。有关总降雨量这一课题的研究文献是很丰富的，但有关有效雨量这一课题的研究工作却始终没有引起足够的重视，这是因为有效雨量要涉及几个不同的学科领域。关于有效雨量这一课题的文献资料，特别是关于有效雨量在农业中的作用的论述和研究更是十分有限的。

联合国粮农组织土地及水利开发处主持召开的作物需水量特别磋商会议建议编写这部有关灌溉农业中有效雨量的概念、评价和应用的专著。粮农组织顾问，印度农业研究学院项目协调员Dr. N. C. Dastane欣然接受了撰写此文的任务。下列顾问小组成员为此文提供了有益的建议，他们是黎巴嫩的Messrs. A. Aboukhaled，荷兰的G. van den Berg和P. E. Ritjema，法国的J. Damagnez，日内瓦世界气象组织的O. M. Ashford，美国的W. O. Pruitt，罗马联合国粮农组织的C. E. Houston和J. Doorenbos。

本文论述了目前所使用的有效雨量的一系列概念，并就有效雨量和雨水的有效利用率这两个不同的概念进行了区别。本文对有效雨量的定义进行了检验，提出了适用于灌溉农业的有效雨量的概念。本文简要地回顾了有效雨量的历史并对评价有效雨量的标准和影响有效雨量的诸因素进行了论述。此外文中还描述了测量有效雨量的各种方法及构成有效雨量的哪些因素，并对各种测量方法的优缺点进行了评论。本文还提出了如何将获得的有效雨量的数据付诸于实践，并列举了有效雨量的计算方法及参考数据，这对于在水利管理和规划中完善和运用有效雨量资料无疑起到了指导作用。本文在最后还列举了一些提高有效雨量的技术措施。

借此机会，我愿向为本书出版花费了心血和时间的Dr. Dastane以及粮农组织作物需水量顾问组的成员表示我衷心的感谢。

土地及水利开发处处长

爱德华·萨乌马

	页 次
序 言	I
目 录	II - III
表 格	IV
图 例	V
第一章 前 言	1
1 有效雨量及其重要性	1
2 雨水流经的路线	2
3 有效雨量的概念	4
4 有效雨量的定义	6
5 降雨有效利用率	7
6 影响有效雨量的诸因素	10
第二章 有效雨量测定法	14
1 有效雨量的组成及其测定	14
1.1 雨量和灌溉	14
1.2 地表径流	14
1.3 根系深度	14
1.4 深层渗透损失	15
1.5 蒸发蒸腾	15
2 测定有效雨量的经验方法	17
2.1 土壤水变化法	17
2.2 土壤水分日平衡法	18
2.3 计量器	19
2.4 Ramdas 法	20
2.5 渗漏测定计	20
2.6 水稻的筒测法	22
3 测定有效雨量的公式法	23
3.1 Renfro 式	24
3.2 美国垦务局法	24

3 · 3	可能蒸发蒸腾量/降水量比法 (印度)	2 5
3 · 4	美国农业部水土保持局方法	2 6
3 · 5	经验方法的共性	2 7
3 · 5 · 1	不包括水稻在内的各类作物	2 7
3 · 5 · 2	水 稻	2 9
4	对各种方法的评价	3 1
第三章	灌、排工程中有效雨量数据的应用	3 4
1	灌溉工程设计	3 4
2	灌溉工程供水作业上的使用	3 8
3	排水工程设计的使用	4 0
3 · 1	多余水的排水	4 0
3 · 2	盐分的淋洗排水	4 5
4	水稻的栽培	4 9
5	地下水的作用	5 1
6	非灌溉地区和缺雨地区的有效雨量	5 4
第四章	增加有效雨量、提高雨量有效利用率以及扩大工作范围	5 8
1	增加有效雨量	5 8
1 · 1	减少地表径流	5 8
1 · 2	提高入渗率	5 8
1 · 3	修建蓄水工程	5 8
1 · 4	最低限度减少深层渗漏损失	5 9
2	提高雨量的有效利用率	5 9
3	农业有效雨量领域中有待开展的工作	6 0
3 · 1	通过建立作物渗水计收集数据	6 0
3 · 2	验证经验法	6 0
3 · 3	各地区经验方法的发展使用	6 0
3 · 4	把有效雨量的数据应用于农业实践之中	6 0
3 · 5	提高田间有效雨量	6 1
3 · 6	提高雨水有效利用率	6 1
	参考书目	6 2

表 格

表

页 次

1	印度小麦生长的不同阶段中降雨对小麦的影响	1 0
2	由于渗透、地表径流和蒸发蒸腾而影响有效雨量的诸因素	1 0
3	预测作物蒸发蒸腾量的公式	1 6
4	用 Renfro 等式测定有效降雨量使用的耗水与生长季节降雨之比	2 4
5	月降雨量逐渐增值下的有效雨量利用量	2 5
6	不同土壤类型和气候条件下计算天数	2 5
7	从表8 灌溉净水深 (d) 计算月有效雨量值的系数	2 7
8	通过月平均降雨量、耗水量求月平均有效雨量	2 8
9	测定有效雨量的各种方法的相对优点	3 3
10	按照出现 5 0 % 和 9 5 % 降雨保证率进行灌溉需水量取样计算 (mm)	3 7
11	用于计算有效雨量的要素	3 8
12	土地在不同利用的条件下含水状况 II 的 CN 值	4 2
13	不同含水条件下的 CN 值和 S 值	4 3
14	不同 CN 值和不同降雨强度下的径流量	4 3
15	用于表 8 中未修改的有效雨量值的因素, 求出浅层地下水位条件下的有效雨量	5 3

图	页 次
1 雨水流经路线	3
2 实际蒸发蒸腾量和可能蒸发蒸腾量与土壤含水量的关系	1 7
3 测量有效雨量的计量器	1 9
4 Ramdas 的测定有效雨量的手提装置	2 0
5 排水渗漏 测定计	2 1
6 吸水式排水渗漏测定计	2 1
7 测定水稻有效雨量的容器法 (筒测法)	2 2
8 降雨量频率的分布	3 6
9 第二类小型集水区暴雨分布洪峰流量率 缓坡 / 第 7 5 号曲线 (美国农业部水土保持局, 1969 年)	4 5
10 不同温度和降雨条件下的地表蒸发 (美国土木工程师学会实 用水利手册)	4 7
11 蒸发影响下的地下水位昼夜变动情况	5 2

1 有效雨量及其重要性

雨水是世界上绝大部分地区农业用水的基本来源。雨水的三个主要特性是降雨量、降雨频率和降雨强度。这三项的值因地而异因时而异。准确地掌握住雨水的这三个主要特性是达到充分利用雨水之目的的基础。

目前已基本获得了世界上一些主要地区年、月降雨量、降雨强度和降雨分布的资料,关于日降雨量多年来也有记载。降雨标准和标准差也已计算出来。关于洪水和干旱的定义已明确。在雨型和作物研究的基础上绘制成不包括降水在内的可能蒸腾蒸散气候带图。目前利用电子计算机对未来雨水发展趋势进行调查和预测不断取得新的进展,这些进展使得对雨水利用的规划精益求精。

尽管有关气候的资料丰富至极,然而有关降水所必知的资料尚不可知。至今,有些简单的普通存在的现象仍使规划者们困惑不解,有效雨量即是其中之一。

从最简单的意义上讲,有效雨量指有用或可利用的那部分雨水。雨水在时间、数量和强度上未必都是有用的。有些雨水不可避免地要浪费掉,有些甚至有害无益。有效雨水量同年降雨总量一样是会发生变化的。需详细阐述有关有效雨量知识的重要性,积蓄雨水的有用部分提供给使用者,而不需要的那部分雨水需迅速排掉。

在农业生产中,雨水主要用于作物生长。因此需要首先提出的问题是用于作物生长的有效雨量是否充沛,分布是否均匀。如雨量不足能否通过及时灌溉来补足?如果不能通过及时灌溉来补足欠缺的雨水,那么应从事什么类型的农业?如果灌溉可以补足欠缺雨水,又应怎样进行灌溉和维持灌溉水量?作物在生长季节及不同生长、发育阶段的需水量各是多少,雨水能满足多少作物需水量?如何处理过量雨水?如何改进管理方法,减少雨水的损失浪费?所有这一切都需要多大的成本?不掌握这些基本的资料就无法对灌溉项目进行规划并使之经济有效地发挥作用。有关各类雨型的长期记录数据越是精确,越是注意区分不同雨型,水利管理效率才能越高。

Pharande 和 Dastane 两位专家(1964)列举了下列有关农业生产中实际运用有效雨量数据的关键性问题:

- 灌溉工程设计要有一个健全牢固的经济基础。
- 确定耕作方式,计算作物灌溉需水量。
- 灌溉工程要保证年年发挥作用。
- 制定灌溉农业中其他农田作业规划。
- 确定非灌溉地区即雨育地区的耕作方式。

- 规划排水工程及土地改良工程。
- 水土保持规划。
- 准确整理田间实验成果。
- 划分农业气候区。

对于气象学家来说, 仅仅从降雨频率、数量及强度, 或是从大气物理现象中都无法解决和评价有效雨量的问题。这是一个综合学科的课题并涉及不同学科的不同分支。例如就农业范围而言, 土壤类型、耕作方式、社会、经济、管理各方面因素都直接影响着有效雨量和无效雨量的程度。

正是由于这一复杂性, 造成了在有效雨量的概念、定义、测定和解释等方面存在的混乱现象。有关有效雨量的术语及测量法需要统一标准化, 并需要一个更明确的解释。同时还应力求最大限度地总降雨量转换为有效雨量。

在这篇专述有效雨量的文章中, 对有效雨量的现行概念进行了研究, 作了明确规定, 对现行的有效雨量测量法进行了检验, 提出了应用领域内, 特别是灌溉农业中估计有效雨量的计算程序。本文还对今后在有效雨量方面需进一步开展的工作提出了意见。

2 雨水流经的路线

图1说明的是雨水流经的路线以及对雨水径流有影响作用的各种因素。雨水在落地之前有些在空气中蒸发掉, 蒸发掉的这一部分是无法测算的, 但蒸发的雨水提高了空气湿度, 降低了气温, 减少了田间作物的蒸腾蒸发量。风还可将水蒸气吹入周围地区。图1 A部分中的所蒸发掉的雨水是有用雨水, 但这部分雨水在任何计算中都没被考虑进去。

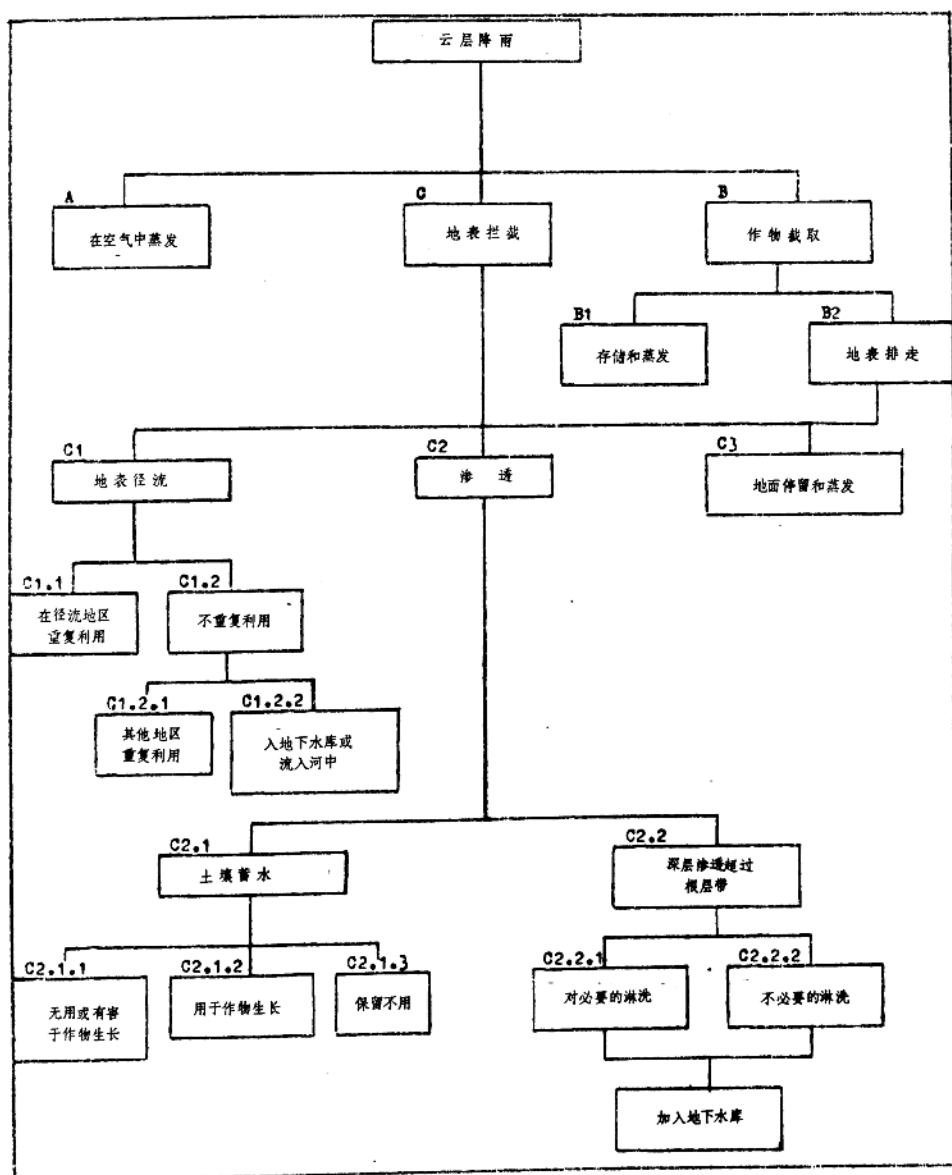
植物可以截取雨水(图1 B), 其中被截取的雨水被植物叶吸收并保留在植物叶中, 而后以蒸发的形式损失掉(B1)。植物叶面吸收的雨水中也有一部分降落到地面(B2)。初始时植物吸水率很高, 而后随着时间的推移而降低。B1和B2被认为是总降雨量, 它们对于作物生长十分有用, 有利于减少土壤水分蒸发及亏耗。遇有小阵雨时, 植物可截取全部雨水。在许多研究中, 小阵雨被视为无效雨水是不对的。

雨水降落地面后(C)有些渗入土壤中(C2), 有些滞留在地表(C3), 还有些流经地表(C1)。影响地面渗透和地表径流的因素有许多并且互相影响。

在雨水径流的地区, 径流损失掉的雨水可以被抽回地面再使用(C1.1)也可以在下游地区被利用(C1.2.1)。在水利发展综合规划中地表径流中被再使用的部分仍是有效雨水的一部分。

滞留在地表的雨水(C3)在一定时候蒸发或渗入地下, 这部分雨水可以用来满足作物需

图 1: 雨水流经的路线



水量。但有时这部分雨水也会造成排水困难。

在渗入土壤中的雨水中(C2)，一部分存留在土壤颗粒周围，形成薄膜，蓄存在根层地带(C2·1)其余部分则渗入根层地带以下的地带(C2·2)。

在非作物生长季节中积蓄于土壤中的那一部分雨水是无效雨水。作物生长季节期间的有些降雨有时也会有害于作物，如造成植物花、果脱落，延误收割，影响作物质量。这部分无用或有害雨水(C2·1·1)也是无效雨水。蓄存在根层地带的雨水可用于作物生长，如用于作物蒸发蒸腾或其他形式(C2·1·2)。一部分积蓄在土壤中的水由于收获季节而不被作物利用(C2·1·3)，可作为用于下一生长季节的剩余水分。

深层渗透而损失掉的水加入地下水储量或地下径流。其中一部分是有用的，特别是对于干旱或半干旱地区的洗盐来说是很宝贵的。(C2·2·1)如果不存在盐渍问题，那么深层渗漏而损失掉的水只有用于地下含水层的补给。

3 有效雨量的概念

无论是不同学科的专家们还是同一学科的技术人员对有效雨量都做了各种各样的解释。

城市土木工程师所关心的是从水库或蓄水池得到饮用水。从这一点出发，他们认为只有蓄入水库或蓄水池的那部分降雨才是有效雨量(图1 C1·2·2)。

灌溉专家认为直接流入蓄水库或通过地表径流间接进入水库的雨水才是有效雨量，(图1 C1·2·2)虽然二者有关有效雨量的概念是一致的，但关于降雨总量中有效雨量的值是不同的。

对于一个水利发电工程师来讲，只有能够用于进行水利发电的那部分雨水才是有效雨水(图1 C1·2·1)所示。

水文地质学者则认为能够增加地下水储蓄的那一部分雨水是有效雨水。地下水位或井水位提高部分即是有效雨水部分，相当于图1 C1·2·2和C2·2那一部分。

排水专家认为地面径流或深层渗漏所损失的雨水是很重要的。

有些规划者认为一地区地表径流在流出集水面积以前可以用于高程或低程，用于高程要靠抽水。这些水对于工、农业、航海和娱乐都是有用的。在水资源综合开发规划中所有这些不同用途的水都是有效水。相当于图1中的B，C1·1，C1·2·1，C2·1·2，C2·2·1，C3。

在森林里地面常被铺上厚厚的一层干树叶和干树枝。这一层干树叶或干树枝被称为特有地层。这个特殊地层截取了大量雨水，提高了土壤水分储量，是蒸发蒸腾量中的一个重要因素。从林业角度看，这部分雨水也应是有效雨水。

灌溉农业方面反映在灌溉工程、农场及田间范围方面的有效雨量的概念是不同的。一些渠道专家认为能够用于灌溉的雨水是有效雨水。有些则认为不足10mm的小阵雨对灌溉进度不会

造成什么影响，因此是无效雨水。

农学家认为总降雨量中能直接满足作物需水量的那部分雨水，以及从水池或井里抽出来满足作物生长用水的地面径流是有效雨水。这部分雨水相当于图1中的B，C1.1，C2.1.2和C3。

对于旱作物来说，休耕地中为来年作物生长而保存的雨水是有效雨水。

在一个农民看来对他管理下的土地上的作物有用的雨水就是有效雨水。如果雨水通过径流离开了他的土地或渗透到他种植的作物根层以下的地带那就是无效雨水。另一方面，他的土地周围高地处的水还可以流入他的土地，增加水分储蓄有利于作物生长。因此种植不同作物的农民们在评价有效雨量时会得出不同的结论。有效雨量概念与其说是个静止的不如说是个能动的概念。图1中的B，C2.1.2和C3所代表的雨量就属于这一类概念中的雨量。

由于对有效雨量的解释是多种多样的，因此很难确定一个适合于各类用途的有效雨量的定义。在这一学科看来是无效雨水对另一学科而言就是有效雨水。规划者在规划中对有效雨水有一个广义的解释，即对任何部门有用的雨水都是有效雨水，而一个具体使用者对有效雨量的解释则是狭义的，即只有能满足他具体需要的雨水才是有效雨水。就作物需水量而言，不同的管理人员会从不同角度做出解释。

1955年Hayes和Buell曾解释说有效雨量是指能满足作物生长的那部分雨水，是减去径流和蒸发量的降水总量。但这个定义是不确切的，这个定义忽视了播种前的前期降水，定义中所说的蒸发一词在概念上也是含糊不清的。

1964年Ogrosky和Mockus对有效雨量的解释是作物生长季节期间的降水总量减掉土壤饱和和灌溉后的降水量即为有效雨量，这是考虑到土壤饱和和后以及灌溉后的额外降水通过径流或深层渗透而损失掉。播种前和土地平整都需要水，而Ogrosky的定义却忽视了这一点。此外，收获前的降水即使土壤处于非饱和状态也是无效雨水。这个定义也不适用于水稻生长。对水稻来说土壤饱和后的降水也是有效雨水。

1964年Hershfield给有效雨量下的定义是，作物生长季节期间能够满足作物耗水量的那部分降水是有效雨水。这只是一个狭义的解释，降水不仅是满足作物耗水需要，也要满足非耗水需要如土地平整，粘土夯实及淤盐。

1967年美国农业部土壤保持局对有效雨量的解释是，作物生长期间能够满足作物需水量的降水是有效雨水，这个解释中不包括地表径流和深层渗透，近似于Hershfield的解释，有同样的局限性。

1970年Miller和Thompson认为有效雨量指一具体地区降水与蒸发的比率。这一概念使人误解。事实上降水与蒸发的比率指的是降水的有效率而不是有效降水。有效雨水与降水有效率并非同义词，而是两个意义完全不同的概念。有效率一词是就一地区干燥程度而言的雨水利

用程度或降雨效率。有效雨水是指总降水量中有用的那一部分雨水。1931年Thornthwaite曾详细论证了降水有效率的概念,提出了对世界气候进行分类的公式,一定量的降雨在不同的干旱条件下以及在作物生长的不同阶段其有效率是不同的。

1973年De和Ray在制订季节性大田作物的农业方法时,使用了含水指数这个概念。含水指数包括两个因素一个是年降雨量,一个是可能蒸发量。这个方法是错误的,因为应当考虑的因素是季节性有效降水或生长季节的有效降水而不是年降水量。

显然,上述有关有效雨量的概念说法不一,而且从作物生产的角度来讲,上述概念都存在着严重的缺陷。

解释有效雨量这一概念需要特别注意的几点是:

首先哪些阶段应在考虑范围之内,是仅仅限于生长季节还是也包括有耕种准备和初始水分保持活动在内的播前期。

其次有效雨水都应满足哪些需要,仅仅作物耗水需要还是包括淋洗、土地平整和粘土夯实的用水需要。

再则,假如在土壤处于非饱和状态下的降水引起植物脱落,对某些作物有害,这些降水是否应被认为是有效雨水。

第四,有效雨量是指普遍对任何作物有用还是指对某一具体作物而言的有效雨量。

第五,如果同时种植几种不同特性的作物应如何计算雨水补给和灌溉条件下的降水。

第六,有效雨量概念是否适用于需要充足水分的水稻作物。

第七,对不同用途而言的降水值,如工程设计,工程使用,是否应一致。

第八,如何计算降雨量的年变化。

4 有效雨量的定义

在给有效雨量下定义之前,首先应澄清作物需水量的概念。作物需水量是指满足作物生长所需要的水量。作物需水量包括作物耗水量和其他用水量如土地平整、浸泡、淋洗等等。鉴于目前作物需水量这一概念,我们可以得出这样的结论:从生产角度看,就作物需水量而言的年或季节性有效雨水应指年或季节性总降雨量中直接或间接对降雨地区的作物生产有用的那一部分雨水。不包括抽水。根据这一定义,有效降雨中应包括被生长的或干枯的植物截取的雨水(B),从地表蒸发掉的雨水(C3),作物生长期间蒸发蒸腾掉的降水(C2·1·2),淋洗和渗透用水(C2·2·1)以及播种前后无损于作物产量、质量,而有助于其他耕作作业的那部分降水。

有效雨量 = $B + C2 \cdot 1 \cdot 2 + C2 \cdot 2 \cdot 1 + C3$ 。无效雨量 = 地表径流损失部分C1 + 不必要的

深层渗透损失 $C2 \cdot 2 \cdot 2$ + 作物收获后, 土壤中保持的对来年作物生长无用的水分 $C2 \cdot 1 \cdot 3$ 。

有效雨量定义中不包括降雨对于降低气温增加湿度所起的作用, 也不包括由于大气对流产生的降雨对于旱地区的影响。

在有效雨量的定义中, 不仅包括了生长季节, 同时也包括了从耕种准备工作开始到作物收获之全部阶段, 这一定义中还排除了土壤饱和的概念。因此, 这也适用于水稻作物, 只要雨水对作物生长的某一方面有用, 就应看作是有效雨量的一部分。有效雨量的定义, 不可能照顾到每一具体作物, 解释有效雨量的概念是以生长季节中种植数量最多的作物为参考依据。可以说承受降雨的面积越小, 有效雨量的精确度就会越大。

根据对作物的产量、质量不能有丝毫有害出发, 定义中对降雨的有害雨水部分也进行了说明, 如果降雨引起雨水积存, 或其他形式的损害, 那么即使在土壤干旱的情况下, 这一部分雨水, 也不应看作是有效雨量部分。雨水应当是有益于作物生长需要, 而不能有丝毫损害作用。

有效雨量的概念不仅可用于灌溉工程的规划和运行, 而且经济学家在根据气象资料来估计农业生产情况时也可以使用这个概念。在一具体年内, 灌溉是计划用来补充雨量的不足, 同时由于历年降雨情况是不同的, 因此规划灌溉工程时, 不能以一年的降雨量为依据, 而需按照长期降雨的纪录资料来计算降雨的有效雨量。应强调指出的是, 有效雨量值在用于不同的对象时, 将发生些变化, 如工程规划、工程运行、旱地耕作、排水设计等方面。同时在浅地下水水位和盐碱地等具体情况下的有效雨量值也是要有变化的。有效雨量是指对作物生产的任何方面都是有用的雨水, 对这一概念, 必须有一个清楚的认识。

5 降雨有效利用率

降雨有效利用率或降雨效率是指一具体地区内降雨的利用程度, 从生产出发, 多少降雨量才是恰到好处, 温带地区 100 mm 降雨比热带干旱地区对农业更有用, 更充足。评价降雨有效利用率有三种方法:

- (1) 与其他气象变化有关。
- (2) 从满足作物需水讲, 可做为输入量。
- (3) 从单位水的产量讲, 可做为输出量。

在估价雨量有效利用率时, 已从水分指数的角度确定出气候和作物之间的关系。

Transeau (1905年) 用计算出的自由水分蒸发除年降雨量之商, 作为水分指数。

Lang (1920年) 使用的是用温度除降雨量。

De Martonne (1926年) 使用了干燥指数这一术语(A)。这个指数等于用温度 $t^{\circ}\text{C}$ 除降雨, 或者是 $A = P/10(t^{\circ}\text{C} + 10)$

Meyer (1926年) 提出有效土壤水分与用空气饱和差 (水银 mm) 除以降雨 (mm) 成比例。

Thornthwaite (1931年) 采用了降雨有效利用率指数这一概念, 降雨有效利用率指数, 是根据降水和蒸发的月值 (PE) 来计算的。这里说的蒸发是以温度的概念来表示的。

$$PE \text{ 指数} = \sum_{i=1}^{n=12} 115 (P / T - 10)^{10/9}$$

公式中: P = 月降水量, 单位吋

T = 温度 °F,

n = 月 - 12 个月

气候带根据上述值可划分为:

PE 指数	气候
大于 128	潮湿
64-127	湿润
32-63	半湿润
16-31	半干旱
少于 16	干旱

1948年 Thornthwaite 修改了降雨有效利用率指数的概念, 他将蒸发参数改为根据气温推算出来的可能蒸发蒸腾量 (PET)。Thornthwaite 所指的可能蒸发蒸腾量的定义是指水量供应充足情况下, 作物有效生长期间尚未成熟的作物田间的水分损失量。

$$PET = 1.6 (10t/I)^a$$

PET = 月可能蒸发蒸腾量 单位 cm

t = 平均月气温 °C

I = 年热量指数为 $\sum_{i=1}^{12} i$;

i = 月热量指数为 $(t/5) 1.514$

a = 随热量指数而发生变化的系数, 得出系数的公式是:

$$a = 0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$$

这样原有之值改为一天内和一月内数日之值, 使用图表可简化复杂的计算程序, 在水分平衡法中运用这一概念, 可为制定灌溉计划计算出日土壤水分平衡。然而不足的是, 这种方法并没有满足农业生产的需要, 从农业生产的角度看, 雨水不仅要满足作物的耗水需要, 还要满足

淋洗、渗透（对水稻而言的渗漏）土地平整等需要。因此，在计算降雨利用率的过程中，使用作物总需水量的概念，比只使用蒸发或可能蒸发蒸腾量值更为准确适当。

$$\text{降雨有效利用率} = \frac{\text{雨量可获量}}{\text{生产潜力需水量}} \times 100$$

例如，月降雨、储存雨水、PET和总需水量分别为100mm、60mm、120mm和180mm，

降雨有效利用率应是 $(\frac{60}{180} \times 100) = 33\%$ ，而不是 $(\frac{60}{120} \times 100) = 50\%$ 。

从气象和农业角度来说明雨量有效利用率时，不同数量的有效雨量会影响降雨量在农业和气象中的有效利用率，如下表所示：

参 数	实际状况					
	1	2	3	4	5	6
月降雨量 (A)	0	10	10	10	10	10
贮存/有效降雨量 (B)	0	1	3	6	8	10
可能蒸发量 (C)	6	6	6	6	6	6
需水量 (D)	8	8	8	8	8	8
有效降雨量 (B/A)	0	10	30	60	80	100
气象中降雨有效利用率 (B/C) %	0	16	50	100	过量	过量
农业中降雨有效利用率 (B/D) %	0	12	37	75	100	过量

降雨有效利用率，还能以货币利润的形式来确定。但这要进行极其复杂的分析，影响投资利润的因素除了降雨、发展地区基础设施、农田管理效率及市场价格外，还包括生产形式、利用化肥等其他投入、作物保护措施、土壤肥力、气象参数等。所有这些因素又都随时变化，随着不同技术的应用而变化。因此在特定的情况下，以资金利润的形式来计算降雨有效利用率需要对所有上述有关因素进行认真分析。

降雨有效利用率出现正负值的变化，取决于作物生长阶段有关的降雨时间，不合时宜的降雨会从几方面直接损害田间作物。

- (1) 延误播种、中耕、脱谷、晒田。
- (2) 造成某些植物的花、果脱落。
- (3) 造成作物倒伏。
- (4) 降低作物质量。

请看下表实例。