

雨水资源以及在农业生态中的应用*

刘昌明

(中国科学院石家庄农业现代化研究所 石家庄 050021)

牟海省

(中国科学院地理研究所 北京 100101)
国家计委

摘要 本文根据国际雨水研究动态以及五水转化的理论,提出了雨水利用与雨水资源的概念,并以华北地区为例阐述了农业生态中雨水资源的作用和地位。指出有效降水是农业生态系统中可以直接利用的雨水资源,建立土壤水库是农业生态系统利用雨水资源的有效方法。

关键词 雨水资源 雨水利用 有效降水 农业生态 土壤水库 评价方法

降水是一种分布广泛、可直接利用的水资源。千百年来,人类社会的农业生产就是依靠雨水补给才维持和发展下来的。随着现代社会水资源紧张局面的日益发展,目前所有的发展中国家都在利用建筑物的房顶、铺砌地面以及天然地面等微流域来收集雨水,为家庭及农业提供水源。

1 雨水利用与国际研究的进展

各国对于雨水利用研究都处在发展阶段,到目前为止还没有统一的概念来描述雨水资源问题。所有论及该问题的文献都使用 Rainfall 一词,汉译为雨水或降雨较为合适。对于雨水利用,美国早期称之为 Rainwater Cistern System(雨水收集系统),英国称为 Rainwater Collection 或 Rainwater Harvesting(雨水收集)⁽⁵⁾,泰国用作 Rainwater Storage(雨水存储),日本用作 Rainwater Resources(雨水资源化),在台湾召开第五届国际雨水利用大会以后用作 Rainwater Catchment System(雨水蓄积系统),而我国有关文献称作“雨水利用”(Rainwater Use)及“雨水集流系统”等⁽¹⁾。

作者认为上述概念都是各国在开发利用雨水资源时结合本国特点提出的,比较恰当地反映了各国雨水开发利用的情况。如美国使用 Rainwater Cistern System 或 Rainwater Catchment System 一词,是因为雨水利用活动首先在夏威夷、维尔京群岛开展的,上述淡水缺乏的岛屿,雨水利用的重要内容是扩大集流面、建设高效的雨水收集工程;泰国地处多雨地区,降水季节变化大,雨水利用的难点是雨水的存储;日本不但在农业生产、家庭生活方面利用降水,在城市绿化、防洪、卫生等方面也综合开发利用雨水,故泛意地称为雨水资源化;我国有关部门应用“雨水利用”一词,也恰当地反映了我国水利工作者对待雨水利

* 该研究项目由国家自然科学基金委资助,由刘昌明执笔定稿,牟海省参加研究。

用的认识,因为在我国干旱、半干旱地区解决水源贫乏的主要措施是开渠调水,利用雨水只不过是一种辅助手段。另外,雨水利用也有较广泛的含义,不但包括雨水的家庭利用、农业利用,也包括了水土保持、水源地涵养、城市开源等各个方面。所以结合我国实际情况,我们将所有直接利用雨水水源的活动定义为雨水利用,雨水利用中应用的集流、汇流、存储设备称之为雨水集流系统;雨水集流系统收集到的水资源定义为雨水资源。

目前,国际上谈到雨水利用都是指雨水集流的直接利用和农业应用两方面的含义。我们认为这是狭义的雨水利用概念,或称之为雨水的直接利用或雨水一级利用。除雨水集流系统收集到的雨水以外,流域产流汇集到河流、湖泊、水库、地下水中的水资源,被人类开发利用,称之为雨水再利用,这是更广义的雨水利用。我们在以往的水利工作中加强了后者,实际是雨水再利用。

1982年6月在美国夏威夷召开的第一届雨水集流利用的国际会议是Yushi Fox博士组织的,其时为国际饮水及卫生10年的伊始(1981—1990年),该会及时地配合了世界卫生组织的计划,受到了广泛的注意。随后,分别在维尔京群岛(Virgin Islands, 1984年6月)、泰国(1987年1月)、菲律宾(1989年8月)、台湾(1991年8月)等地召开了四届国际大会以及一些区域性会议(日本京都, 1992年10月)。每次会议都吸引了许多有关的科学家、规划决策人员、政府官员等,并成立了国际雨水集流利用联合会(International Rain water Catchment Systems Association, IRCSA),推动雨水资源家庭应用和农业应用技术的发展。会议成果及出版物受到广泛的接受。以往历届会议的重点是雨水集流系统的规划、设计、开发以及社会、经济、管理等方面的问题。第六届大会于1993年8月在肯尼亚内罗毕召开,其重点是雨水利用的系统工程、雨水灌溉工程的持久性、妇女对雨水利用的参与及远郊等不发达地区雨水工程的开发应用等。

2 雨水资源与五水转化关系的探讨

我国农业用水主要依靠水利工程来解决,而在半干旱、半湿润的广大北方地区,水资源十分短缺,水利工程难以满足各种用水的需要,开辟农业用水的水源时,需要对雨水利用、五水转化以及农业有效水分关系重新认识。

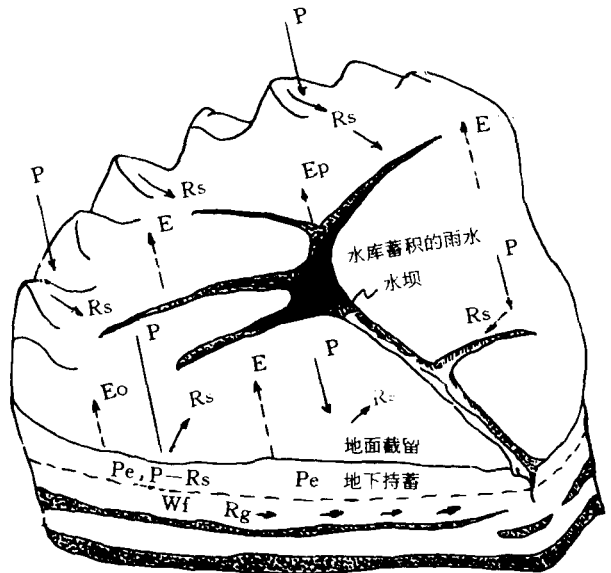


图1 农田生态系统中五水水分转化的关系图

Fig. 1 The interrelationship of five-water interaction in eco-agricultural system

在农田生态系统中,雨水、地表水、地下水、土壤水和植物水是相互转化的,这一水分循环过程称之为五水转化。五水转化可以看作是水分界面的变化,例如蒸发、散发、凝结、下渗等是根据不同的热力条件,由雨水转化为气态、液态或固态的水,所以地表水、土壤水和地下水都是来源于雨水。雨水是五水转化中其他形式水分最根本的来源(见图 1)。

这些不同状态的水体都是开放的系统,相互之间进行着频繁的物质和能量交换。水分转化的综合过程构成了宏观的全球水分循环⁽⁹⁾。农田生态系统中五水的转化,是局地微水分循环。但无论何种气候条件下,雨水都是最基本的水循环因子。雨水利用的实质是调控大气、地表水分转化过程中水分的状态变化,增加可供家庭生活、农业灌溉的水资源。

根据中国近百个山区小流域年水量平衡因子资料统计绘制了中国主要地带水分转换结构图(见图 2)。

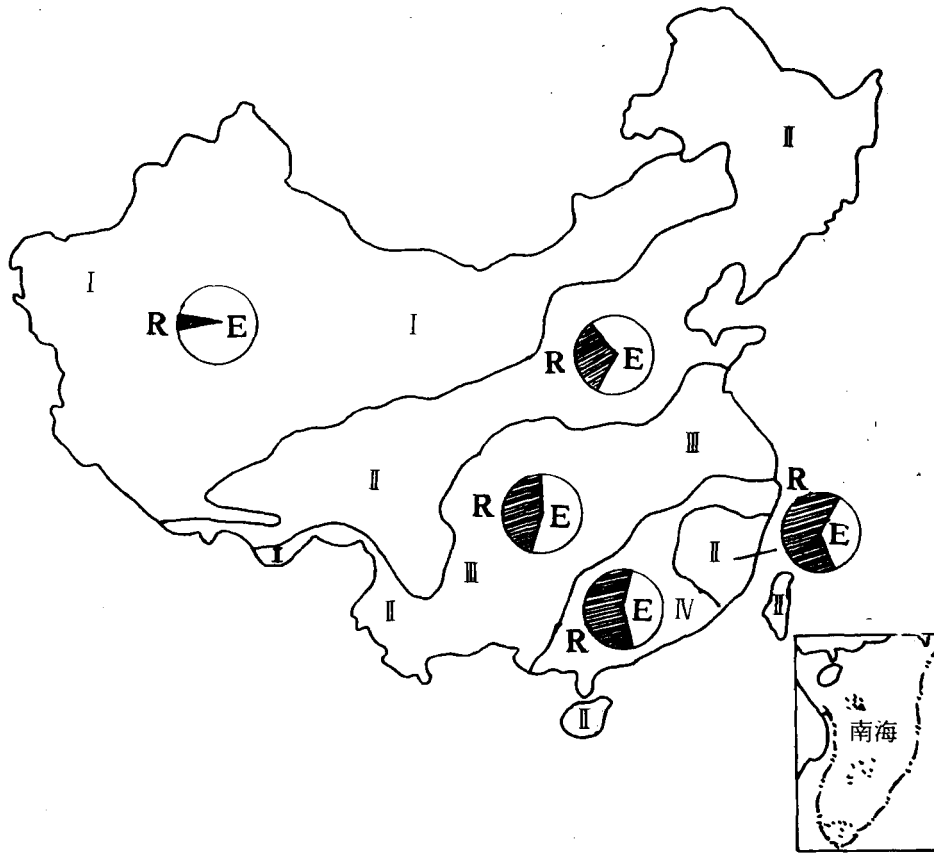


图 2 中国不同降水地带水分转换结构图

Fig. 2 The structure of water interaction in different precipitation zones of China

图中,罗马数字代表中国不同降水量的水文地带:“I”——干旱区;“II”——半干旱区;“III”——半湿润区;“IV”——湿润区;“V”——非常湿润区。从图 2 中我们可以很明显的看出不同降雨条件下水分转化情况,即水分在水平方向和垂直方向上运动的情况,其主

要结论见表1。

从五水转化的过程来看, 雨水利用的目的就是要在大气和地表水分转化中增加液态水的数量, 提高集流面产流的效率, 或者说减少水分因垂直交换的消耗, 增加水平方向水的汇集, 为家庭用水和农业用水提供水源。

表1 中国不同降水地带水分运动方向的变化

Tab. 1 The change of water interaction between different precipitation zones of China

降水量(mm)	水分水平运动	水分垂直运动	备注
Rainfall	Runoff	Evaporation	Characteristics
P<400	微弱	强烈	蒸发能力远远大于降水量
400-800	逐渐增加	仍占主导	蒸发能力一直大于降水量
800-1200	增强	减缓	水平与垂直水分交换相等
1200-1500	强烈	稳定	土壤过饱和、产流增加
P>1500	绝对优势	稳定	降水量远远大于蒸发能力

图2中, 中国的干旱、半干旱、半湿润地区由于水分垂直运动强烈, 降水很快通过蒸发消散到空中, 造成地面水储贫乏。在这些地区通过雨水集流系统的建设, 提高产流和水源存储能力, 具有巨大潜在的社会经济效益。

3 农田生态系统中的雨水资源及其评估

降落到地面渗入地下的雨水有一部分被农作物直接吸收利用, 这是雨水资源的直接利用或一级利用。如何扩大雨水资源对农业生产的有效性, 其主要措施在于建立“土壤水库”。图3所示为土壤水库有效供水量评价步骤。

图中降水量(P)的有效量(Pe), Rs, Rg 地表径流与地下径流, $R = R_s + R_g$; Wf 为渗漏或潜水补给量; E, Eo, Ep 为蒸散量、雨期蒸发及潜在蒸发量。

图3的左列各方框表示了雨水资源的直接利用, 显然, 对于农作物用水的有效降水(Pe)来说, 地表径流(Rs)与雨期蒸发(包括作物枝叶截留在内)以及深向渗漏到地下水层的雨水补给(Wf)是不予计入的, 而只有在作物根层而可为根系吸收的渗蓄降水才能为农作物直接吸收利用。但是, 对于Rs与Wf来说, 仍可予以再利用。图3的下方给出了3个雨水转化系数:

$$a_r = \frac{Wf}{P}, a_g = \frac{R_g}{R}, a_e = \frac{E}{E_p}$$

分别说明雨水资源的调控指标。

限于篇幅, 仅就雨水的直接利用进行探讨, 雨水资源的家庭利用与计算参阅参考文献^[2]。对于雨水资源的直接利用, 是借助于土壤层对雨水的调蓄。实际上把土壤层当作蓄水场所, 即常谓的土壤水库, 其深度一般认为是从土表至潜水的包气带, 也有人定义为潜水面到作物根系层之间的特定非饱和带。从土层水接蓄渗的水量上看, 可能前者更加实用。因为不同的作物与不同生长季节, 他们的根系是变动的, 因此, 同时存在着时间尺度(t)与空间(深度)尺度(z)的计算问题。根据质量守恒定律, 可采用通用的水量平衡方程:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial F}{\partial z} - \frac{\partial E}{\partial z} - \frac{\partial F_p}{\partial z} \quad (1)$$

式中,时间为t土层为Z的土壤湿度(θ)是随进入土层(Z)中的水量(F)和土层水分消耗于农田用水的蒸发(E)与作物吸水(E_p)而变化的。把地中水在空间(深度)上的分布分为作物根系层,根系层至潜水以及潜水面以下的地下水层三个层次,并对上式(1)进行积分计算,按通和系统可以得出各层次蓄水量的集总表达等式:

$$\frac{dS_r}{dt} + \frac{dS_a}{dt} + \frac{dS_w}{dt} = P - R_s - E - R_g \quad (2)$$

式中,S为三个层次(r,a与w)的蓄水变量;P,R_s,R_g与E为雨量、地表径流、地下径流及蒸散发。显然上式(2)简化了雨水资源利用的评估方法。

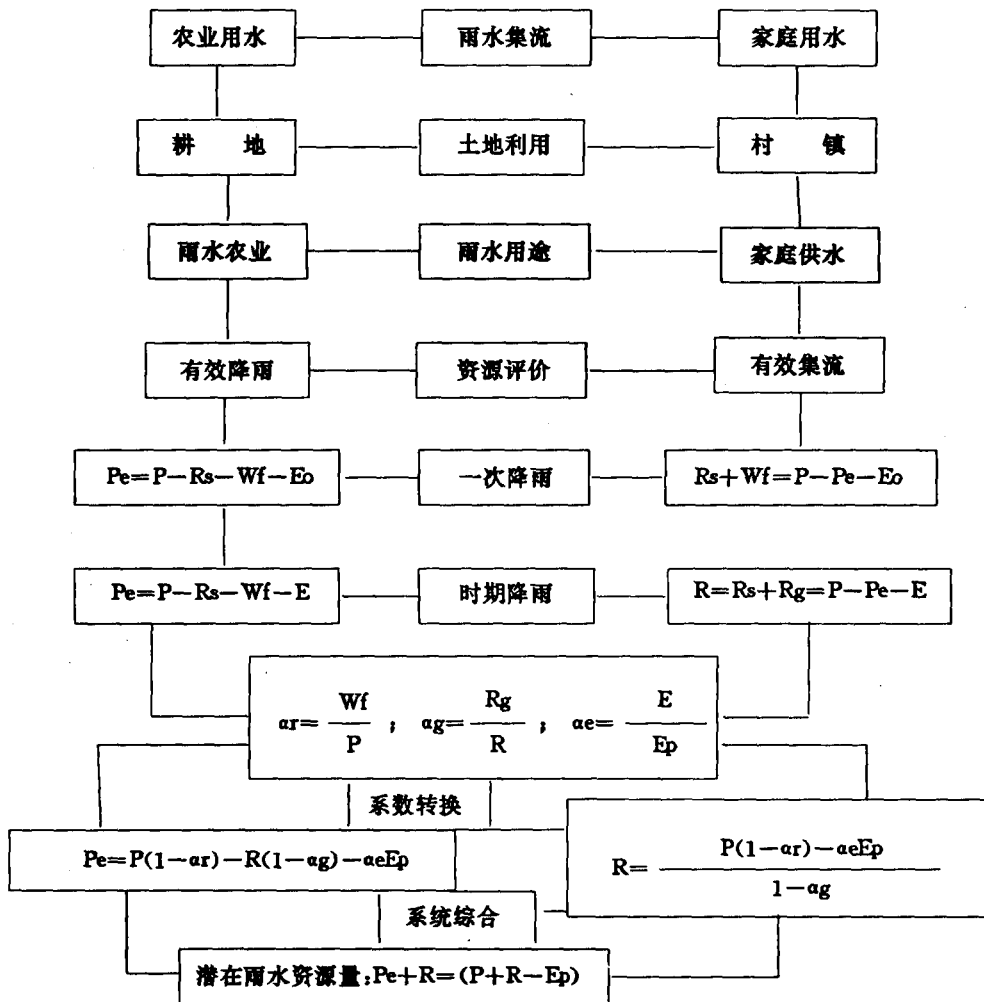


图3 雨水资源评价系统图

Fig. 3 The systems for rainwater resource assessment

按任一厚度土层(H)蓄留雨水形成的土壤水分对农作物利用的有效性,我们采用土壤水分有效库容(W_e)的概念,并定义其为:

$$W_e(h) = \int A \cdot [\theta_{i(h)} - \theta_{k(h)}] \cdot dh \quad (3)$$

式中, h ——土壤水库的垂直空间; A ——计算区的面积; $\theta_{i(h)}, \theta_{k(h)}$ ——土壤的田持与凋萎含水率, 因不同的土壤质地而异。另外, 不同的生长期以及不同的作物其适宜土壤含水量 $[\theta_{o(h)}]$ 也不同, 我们定义一个系数 Le 来表示土壤水库的有效性:

$$Le = \frac{\theta_{(h)} - \theta_{k(h)}}{We} \quad (4)$$

式中, $\theta_{(h)}$ 是某一土壤水含量, Le 称之为有效储水系数, 当 $Le=1$ 时, 有效库容是满的, 当 $Le=0$ 时, 它意味着土壤有效储水为零。

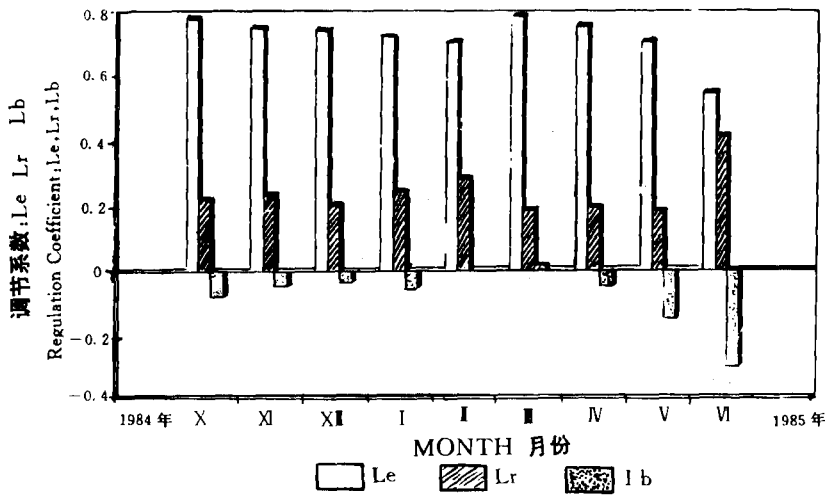


图4 山东禹城实验站土壤水分调节系数柱状图

Fig. 4 Soil water regulation coefficient, 1984—1985, Yucheng, Shandong

因此, 土壤的调水能力可以表示为:

$$Lr = 1 - Le \quad (5)$$

考虑到某一作物的适宜水分, 可用适宜水分度 (Lo) 表示为:

$$Lo = \frac{\theta_{(h)} - \theta_{k(h)}}{\theta_{o(h)} - \theta_{k(h)}} \quad (6)$$

这里作物的适宜水分是根据不同的作物和生长期来定的。若适宜含水量与田间持水量的比值用下式表示:

$$\beta = \frac{\theta_{o(h)}}{\theta_{i(h)}} \quad (7)$$

方程(6)可以写作:

$$Lo = \frac{\theta_{(h)} - \theta_{k(h)}}{\beta \cdot \theta_{i(h)} - \theta_{k(h)}} \quad (8)$$

很明显, 当 $\theta_{(h)} = \theta_{o(h)}$ 时, 即 $\theta_{(h)} = \beta \cdot \theta_{i(h)}$, 那么 $Lo=1$, 说明土壤水无需调控。雨水可以满足作物生长的要求。

适宜水分调节率为:

$$L_b = 1 - L_o \quad (9)$$

根据山东禹城实验站小麦不同生长期水分监测资料绘出的 L_e 、 L_r 、 L_b 见图 4。

图 4 中表示,从 10 月至 3 月 L_e 接近于 1,有效土壤水库蓄水接近饱和,灌溉不是绝对必要的。但是从 3 月至 5 月,土壤水库中的储水逐渐下降,需要补水。如果地面水不能满足土壤水库,就不得不抽取地下水。所以,农田灌溉的合理方案应当是各种有效水资源的综合利用。地面水资源可以作为雨水资源的补充,地下水资源作为地面水的补充⁽⁴⁾。

4 结 语

在农田生态中,雨水是人类可以利用的最基本的水资源,一般来讲,作为雨水资源的一种转化形式,雨水资源的利用是根据人类的需求来开展的。本文所称的土壤有效容水具有很大的时空可变性,在评价计算时要考虑时空尺度。

参 考 文 献

- 1 雒鸣嵩,干旱地区雨水利用问题,《甘肃水利水电技术》,(1)1990
- 2 牟海省,刘昌明:雨水资源评价方法,《资源开发与保护》,9(3)1993
- 3 刘昌明,任鸿尊:《大气、地表、土壤和地下水转化》,科学出版社,1988 年
- 4 刘昌明,魏忠义:《华北平原农业水文以及水资源》,科学出版社,1989 年
- 5 J. E. Gould, Rain water Harvesting, IRCSA 1992, Japan Toyko
- 6 L'vovitch M, I., 1975, World Water Balance, Selected Work in Water Resources, Asit K Biswas(ed), IWRA.

Rainwater Resource And Its Utilization in Eco-agriculture

LIU Chang-ming

(Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization,
CAS, Shijiazhuang 050021)

MOU Hai-sheng

(Institute of Geography, CAS, Beijing 100101)

Abstract Based on the recent progress in international rainwater studies and the theory of five-water interaction, the authors analysed a context of rainwater resource and its utilization. A case study from the North China was given to indicate the importance and function of rainwater in eco-agriculture. Rainwater can be used by direct and indirect ways. For ecological agriculture the direct user of rainfall is of great significance in building up a retention capacity of a soil layer where the crop root system are active. On basis of effectiveness of rainwater use, authors laid emphasis on a coupling system of rainwater catchment and soil reservoir. In addition to this, the authors also suggested controlling the rainwater through soil water regulation indexes. Finally, an example of rainwater regulation taken from Yucheng comprehensive experimental station was given in the present paper.

Key Words Rainwater Resource; rainwater; Use; Effective rainfall; Eco-agriculture; Soil Reservoir; Assessment Method