

试论华北半湿润半干旱地区降水资源的 农业气候评价——以海河平原为例*

袁 育 枝

(河北省地理研究所)

提 要

本文从农田水分平衡观点出发,用农业气候-水文-水文地质方法计算了有效降水量,并且分析了它的时间分布结构。在此基础上,我们进行了农作物需水盈亏分析,并指出:在海河平原地区,冬小麦(400斤/亩)亏水290毫米左右,夏玉米(500斤/亩)亏水100毫米左右。

一、引 言

评价一个地区农业生产的水分条件,通常使用的指标有降水量、土壤湿度和水分平衡指标^{[1], [2]}。

各种指标都有其优缺点。但是需要指出的是,水分平衡指标,如各种水热系数、湿润度和干燥度,以及用空气动力学方法(Thorntwaite)、能量平衡法(Будыко)和两者结合的方法(Penmen)计算的综合指标,在考虑水分收支时,将大气降水补给地下水——入渗补给量与潜水蒸发量两项相互抵销,并且不计算径流量支出,是不合适的。因为事实上农田水分平衡关系远非如此简单。

降水量是目前用得较多的指标之一,它的优点在于比较直观,资料易于取得,计算简单。但是,对于农作物的生长来说,它所能利用的仅是大气降水中的一部分,而另一部分却是无效水分。因此,降水量的农业气候意义,一方面要看它能提供多少有效水分,另一方面还要看降水的时间分布结构是否适合于农作物当时对水分条件的要求,两者缺一不可。显然,单纯运用农业气候学的研究方法,不易圆满地解决这些问题。

为此,本文从农田水分平衡观点出发,应用农业气候-水文-水文地质方法,计算大气降水中的有效降水量,并且分析它的时间分布结构,试图改进降水量指标的效能。

二、农田水分平衡机制及其计算方法

农田在自然状态下的水分平衡,大致是这样的过程:大气降水(R)到达地面后即进入包气带²⁾,当这些水量超过包气带的最大持水能力时,产生补给地下水——入渗补给(f)和地表径流(Q),在降雨过程中同时发生蒸发——雨期蒸发(Z);另外,在一定条件下,地

* 本文于1983年1月22日收到,1983年7月25日收到修改稿。

1) 南京气象学院农业气象研究室,地区农业水分资源鉴定方法的讨论,(单行本),1979。

2) 包气带指地面至地下水面之间的土层和土壤母质层,是水、汽混合层。

下水又可以通过包气带的毛细管作用发生潜水蒸发(U), 供给农作物。从农作物可以利用的有效水分和不能利用的无效水分来区分, 还有当日降水量小于某一界限而致使农作物无法吸收的降水量(V)。因此, 对于某一时段, 农田水分平衡方程可以写成:

$$R + U - Z - f - Q - V = W \quad (1)$$

显然, W 就是农作物所能利用的有效水分, 用农作物需水量与之对比, 就可以作出某地降水资源的农业气候评价。

如前所述, 目前许多水分平衡指标大都是认为入渗补给项(f)和潜水蒸发项(U)是互相抵销的。如果时段以年为单位, 那么从多年平均来看, 这种平衡模式在某些地区大体上是可以成立的。但是在华北地区, 在一个较短的时段, 例如要鉴定某种作物生育期, 甚至每一个生育期的水分条件的时候, 情况又是如何呢?

本地区夏季降水集中, 是降水补给地下水时期。据我们计算, 海河平原 6—9 月的入渗补给量大者可占年降水量之 20% 以上, 达一百多毫米。此时潜水蒸发量却很小, 可忽略不计。冬春季降水稀少, 气候干燥, 降水一般不能补给地下水。春季又逢农作物根系迅速发育, 如地下水位较高, 潜水蒸发值可达到相当数量, 大者可占小麦此时需水量的 30%^[2]。由此可见, 入渗补给和潜水蒸发并不是简单地平衡抵销掉了。起码, 这两种过程在数量上不一定是相等的, 在时间上不一定是同步的。水分平衡指标对在不同时段内这样大量的水分收支不予考虑, 正掩盖了水分平衡关系的年内动态特征, 而且加上相当数量的径流支出, 当然要影响到这些指标的准确性。因此, 给某种作物作供水评价, 必须考虑水分平衡的这种年内动态过程。

本文在计算海河平原农田水分平衡时, 将潜水蒸发(U)和雨期蒸发(Z)两项舍去, 因为:

决定潜水蒸发量大小, 主要是看有无植物影响和地下水埋藏深度两个因素。据河北省的观测表明, 在无作物影响下, 当地下水埋深为 1 米时, 年潜水蒸发量为 310 毫米; 而埋深为 3.1 米时, 仅为 22 毫米。按观测资料推断, 当地下水埋深在 3.7 米以下时, 作物对潜水蒸发量便无影响; 埋深在 4—5 米以下时, 潜水蒸发量接近于零^{[3], 1)}。有些研究^[4]甚至认为, 当地下水埋深大于 3 米时, 潜水蒸发量就已小到不易测出。

本区地下水由于长期以来连年超量开采, 致使埋深大幅度下降, 并且形成几个大“漏斗”区。整个海河平原目前地下水埋深大都在 3—4 米以下^[5], “漏斗”区更深达十几米。按上述推断, 潜水蒸发量几近于零。鉴此, 本文舍去此项。

雨期蒸发。在华北地区, 雨热同期, 降雨季节气温较高, 湿度又不是很大, 降雨时常伴有阵风, 所以雨期蒸发也还是一个不可忽视的数量。据河北省水利勘测设计队计算, 年累计量约在 25 毫米左右。唯本文最终目的是用农作物需水量与有效降水量对比, 而在田间测定作物需水量时, 本身已经包括了雨期蒸发量。所以这项也不能考虑, 否则就会重复计算。

于是, 在计算海河平原农田水分平衡时, 式(1)变成如下形式:

$$R - f - Q - V = W. \quad (2)$$

1) 地质部文件, 黄淮海平原的地下水资源及对南水北调东线方案的意见, (单行本), 1980。

下面讨论入渗补给量(f)、径流量(Q)及日降水量小于某一界限时的无效降水量(V)的计算方法。

1. 入渗补给量

大气降水是地下水补给的主要来源。入渗补给量与大气降水量的比值,称为入渗补给系数。当降水量小于某个临界值时,被完全容纳在包气带内,不发生补给作用。这个临界值,称为“临界补给值”。

海河平原气候干湿期分明,每年6—9月是汛期,集中全年降水量的70%以上¹⁾。10月到次年5月,降水量很少,土壤干旱。因此只有汛期才具备大气降水补给地下水的条件。冬春季节,除极个别外,些微的降水均为干燥的包气带所涵养,不发生补给作用。

根据入渗补给条件的差异,将海河平原分为西部冲积洪积高原区、中部低洼冲积平原区及滨海平原区。关于“临界补给值”和入渗补给系数的确定,参考有关研究工作^[3,6,7]的结果,以6—9月为降水补给地下水时期,并将各参数拟定如下:

表 1 海河平原入渗补给系数

地 区	临 界 补 给 值	次 入 渗 补 给 系 数
西部高原	$R_{次} > 30$ 毫米 且 $R_{日} > 10$ 毫米	0.25
中部低平原		0.36
滨海平原		0.27

入渗补给量按降水过程逐次计算,然后再按各时段来统计平均。

2. 径流量

在降雨过程中,当包气带容纳不了或者来不及下渗过多的水分时,就产生地表径流。海河平原非汛期(10—5月)一般不产生径流。全年径流几乎全部集中在6—9月汛期时段,而且往往是集中在几次暴雨之中。影响产流的因素主要是地下水埋深和前期影响雨量。由于目前相当多地区缺乏地下水位资料,所以本文计算径流量时仅考虑前期影响雨量。

按下页注1)提出的海河平原次降雨径流相关图(图1),可以根据当日降雨量(R)及前期影响雨量(R_a)来查得径流量(Q)。这个相关关系是建立在蓄满产流理论的基础上,即认为在当日雨量和前期影响雨量超过某一数值(I_{max})以后,才能开始产流。根据西部高原、中部低平原和滨海平原在产流条件上的差异,图1分别给出三条相关关系曲线并使 I_{max} 值依次取为100,80和60毫米。前期影响雨量 R_a ,按下式计算:

$$R_{a,t+1} = (R_{a,t} + R_t)K \quad (3)$$

式中: $R_{a,t+1}$ 为当天的前期影响雨量; $R_{a,t}$, R_t 分别为前一天的前期影响雨量和降雨量; K 为保水系数,即对土壤水分自然消耗的估计。并且6—7月, K 取值0.91; 8—9月, K 取值0.95。

本文计算时,以每年6月1日为零起算,按式(3)逐日连续计算。当某日 $R + R_a > I_{max}$,即算产流,在相应的相关关系曲线查得次径流量。

1) 河北省地理所气候室,海滦河流域降水分析,河北省地理学会论文集刊,第1集,70—71,1980。

如果连续降雨,则可能有 $R_{a_i} > I_{\max}$, 此时式(3)改写为:

$$R_{a_{i+1}} = (I_{\max} + R_i)K \quad (4)$$

如遇特大暴雨,超出相关关系曲线而无法查得 Q 值时,可作特殊处理,按入渗补给量对径流量作出相应估计。

3. 日降水量小于某一界限时的无效降水量

当降水量很小时,就不能渗入农作物的根系分布层,只能停留在作物的表面和土壤的表层,并且很快地被蒸发掉。这些微量降水,对农作物也基本是无效的。

我们将日降水量小于 5 毫米作为这种无效雨量的界限。因为以当地主要农作物而论,冬小麦根系的主要部分位于 0—60 厘米的土层,最深的可达 1 米以下;玉米根系的主要部分位于 30—60 厘米的土层,小根则可达 1.5—2 米。据在海河平原测定,在裸地上一

次降雨量小于 5 毫米时,入渗深度不超过 40 厘米。如果考虑到地面农作物枝叶对降雨的截留作用,入渗深度还要大大减少。按理论计算,微雨——降雨量在 3 毫米以下时,截留量接近于降雨量^[8]。通常将 2—6 毫米作为无效雨量,根据上述微雨的入渗和截留情况,将 5 毫米定为无效雨量是适宜的。

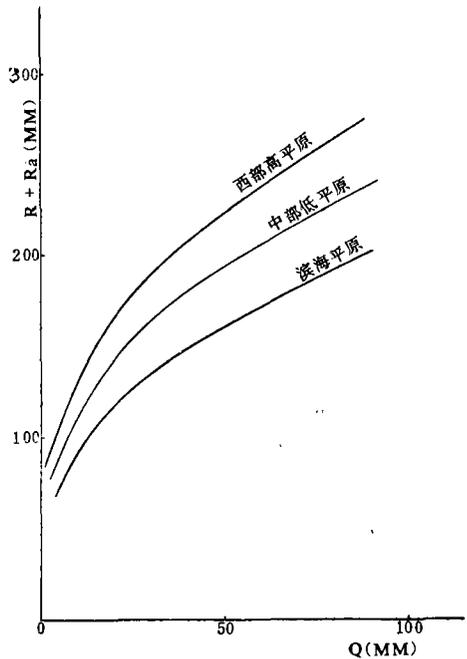


图 1 海河平原次降雨径流关系¹⁾

三、海河平原农作物需水盈亏分析

我们选取了石家庄、束鹿、曲周(以上代表西部高平原)、文安、德州(以上代表中部低平原)和黄骅(代表滨海平原)六个站点,按照农田水分平衡公式计算了年和作物生育期的有效降水量,并作出需水盈亏分析。使用资料时段为 1956—1980 年,气象、水文资料兼用。

1. 年有效降水系数

年降水量扣除了汛期产生的入渗补给量、径流量和全年 $R_{日} < 5$ 毫米无效降水量以后,就是全年的有效降水量。有效降水量与降水量之比,称为有效降水系数。年有效降水系数可以表征某地全年对降水资源的利用效率。

表 2 给出各站年有效降水系数,全区大致为 60—70%。入渗补给量最大的是低平原区,因为这里地势低洼,降水易于积聚,造成入渗补给的有利条件。滨海平原产流条件较好,除了 I_{\max} 值较小外,主要原因是这里暴雨多,其暴雨量占年降水量的 30% 以上,为海河平原之冠²⁾。以对降水的利用率比较,高平原最好,一般在 70% 左右,低平原次

1) 海滦河流域年径流分析协作组,海滦河流域年径流分析报告,(单行本),117—120,127,1976。

2) 河北省地理所气候室,海滦河流域气候暴雨特征,(单行本),2—7,1979。

表 2 海河平原年有效降水系数

站 名	降 水 量 (毫米)	$R_{日}<5$ 毫米降水量 (毫米)	入 渗 补 给 量 (毫米)	径 流 量 (毫米)	有效降水量 (毫米)	有效降水系数 (%)
石 家 庄	549.5	71.3	58.7	43.8	375.7	68.4
束 鹿	480.5	51.2	54.8	30.8	343.7	71.5
曲 周	557.7	54.3	66.0	39.9	397.5	71.3
文 安	573.4	54.6	108.6	61.9	348.3	60.7
德 州	589.4	60.4	105.3	52.1	371.6	63.0
黄 骅	620.4	52.8	90.7	105.8	371.1	59.8

之,滨海平原最差,在60%以下。

2. 冬小麦、夏玉米需水盈亏

本文用作物生育期来作为时段的划分单位。农作物需水量的确定,参照有关资料来综合。取中上产量水平计算,冬小麦全生育期需水量定为400毫米(400斤/亩),夏玉米定为350毫米(500斤/亩)^{1),2),[9]}。

本区冬小麦由10月上旬播种,到次年6月上旬收获。此时正是海河平原少雨季节,8个多月时间降水量只有120—160毫米,除去无效降水,实得有效降水100—120毫米,有效降水系数不足80%。全生育期各站亏水290毫米左右(表3),仅能满足需水的1/4—1/3。从各生育期看,冬小麦也全都处于缺水状态。尤其是在拔节以后,植株已迅速发育生长,需要大量水分,同时又值春季气温回升和全年风速最大的时候,蒸腾和蒸发量都

表 3 海河平原农作物需水盈亏(毫米)(括号内为有效降水量/需水量×100%)

站 名	冬 小 麦 (400斤/亩)						夏 玉 米 (500斤/亩)				合 计
	苗 期 上/10— 下/11	越 冬 上/12— 下/2	返 青 上/3— 上/4	拔 节 中/4— 上/5	抽穗— 成熟 中/5— 上/6	全生育期 上/10— 上/6	播 种— 拔 节 中/6— 上/7	一抽雄 中/7— 上/8	一成熟 中/8— 中/9	全生育期 中/6— 中/9	
石家庄	-24.9 (61.1)	-16.9 (29.6)	-34.5 (28.1)	-95.5 (20.4)	-112.7 (21.7)	-284.5 (28.9)	-18.2 (74.0)	16.3 (115.5)	-101.5 (42.0)	-103.4 (70.5)	-387.9
束 鹿	-32.1 (49.8)	-18.5 (22.9)	-37.6 (21.7)	-97.8 (18.5)	-113.6 (21.1)	-299.6 (25.1)	-15.8 (77.4)	14.4 (113.7)	-120.0 (31.4)	-121.4 (65.3)	-421.0
曲 周	-16.8 (73.8)	-16.6 (30.8)	-34.0 (29.2)	-95.1 (20.8)	-119.1 (17.3)	-281.6 (29.6)	1.1 (101.6)	30.9 (129.4)	-113.1 (35.4)	-81.1 (76.8)	-362.7
文 安	-41.3 (35.5)	-18.1 (24.6)	-40.7 (15.2)	-98.5 (17.9)	-110.8 (23.1)	-309.4 (22.7)	-4.2 (94.0)	13.0 (112.4)	-107.4 (38.6)	-98.6 (71.8)	-408.0
德 州	-25.9 (59.5)	-16.1 (32.9)	-35.9 (25.2)	-93.6 (22.0)	-105.5 (26.7)	-277.0 (30.8)	-5.6 (92.0)	5.1 (104.9)	-109.7 (37.3)	-110.2 (68.5)	-387.2
黄 骅	-35.6 (44.4)	-16.1 (32.9)	-38.2 (20.4)	-94.7 (21.1)	-110.5 (23.3)	-295.1 (26.2)	-7.6 (89.1)	22.9 (121.8)	-106.6 (39.1)	-91.3 (73.9)	-386.4

1) 河北省气象局气候区划办公室尹祥林,河北省农业气候资源及其区划,(单行本),19,1980。

2) 中国科学院、河北省栾城自然资源考察队,栾城县农业自然资源调查和农业区划报告:气候资源,(单行本)。

迅速增加。此时雨水不多,而且经过一冬春的消耗,土壤水分含量已经到达全年的最低值,所以这时是冬小麦最缺水时期。拔节及抽穗-成熟两个生育期,各站都亏水 200 毫米,甚至更多,占总亏水量的 2/3 以上(图 2)。由此可见,在海河平原种植冬小麦,完全要在灌溉条件下才能进行,旱地不宜种植。

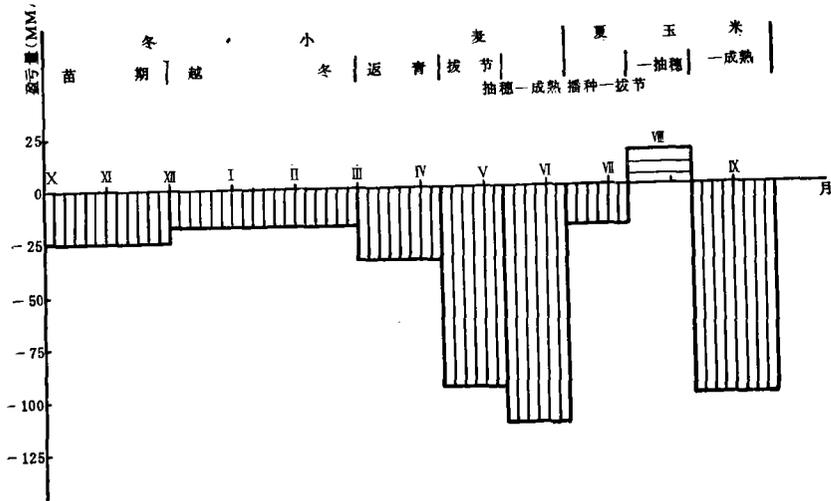


图 2 石家庄农作物生育期需水盈亏

过去许多工作认为,海河平原种植夏玉米的水分条件,由大气降水已可满足。本文通过有效降水分析,发现并非如此。夏玉米自 6 月中旬播种至 9 月中旬收获,各站降水量有 340—470 毫米,此数似乎可以满足夏玉米 350 毫米的需水要求并有盈余。但此时有三项无效水分支出,各站降水的有效系数都只有百分之五、六十,实得有效降水 230—260 毫米,只能满足夏玉米水分要求的 70% 左右。并且由于降水的时间分布结构与夏玉米各生育期对水分的要求并不完全相一致,形成有盈有亏。从夏玉米播种到拔节时期,本区已开始进入汛期,有效降水量有 50—70 毫米,对需水要求已相差无几。从 7 月中旬到 8 月中旬的拔节-抽穗生育期,是这里雨量集中的时候,各站有效降水量都可达 110—130 毫米,是本区全年各生育期中大气降水唯一能满足农作物需水要求并小有盈余的时期。夏玉米唯一缺水的是抽穗-成熟期,此时需要大量水分(占全生育期的 50%),而且暴雨期已过,雨量大减,各站有效降水量只有 50—70 毫米,只能满足需水量的 40% 左右,亏水 100—120 毫米。

冬小麦和夏玉米两茬作物合计,本区全年总亏水量为 360—420 毫米,折合每亩 240—280 立方米。有效降水量仅能满足需水量的 45% 左右。

3. 需水关键期的水分条件

海河平原不但全年降水量少,而且恰恰在两种农作物的需水关键期也十分缺乏。冬小麦因为是各生育期均缺水,所以在 4 月下旬到 5 月上旬的孕穗期缺水也自不待言。此时各站的有效降水量仅能满足需水量的 20% 上下,缺水 60 毫米左右。夏玉米的关键期在抽穗前 10 天至后 20 天,即 8 月上旬到下旬,需水量占全生育期的 60%。但从 8 月上旬以后,暴雨期基本已过,降水量减少,加上这时的有效降水系数也只有 50% 左右,愈见亏水

表 4 关键期需水盈亏

单位: 毫米

站名	冬小麦 (下/4—上/5)			夏玉米 (上/8—下/8)		
	有效降水量	盈亏量	有效降水量(%) 需水量	有效降水量	盈亏量	有效降水量(%) 需水量
石家庄	18.5	-61.5	23.1	91.3	-118.7	43.5
束鹿	13.8	-66.2	17.3	83.2	-126.8	39.6
曲周	20.9	-59.1	26.1	73.7	-136.3	35.1
文安	16.1	-63.9	20.1	78.1	-131.9	37.2
德州	15.9	-64.1	19.9	72.3	-137.7	34.4
黄骅	15.7	-64.3	19.6	84.7	-125.3	40.3

注: 关键期需水量, 冬小麦——80毫米; 夏玉米——210毫米。

严重, 多数站点还不能满足需水量的 40%, 缺水 120 毫米以上。

4. 水分条件的年际变化

华北地区降水量不仅年内分配不均匀, 而且年际变化也大。但是如果只用降水量系列的离散程度来评价农业水分条件的年际变化, 往往会有所夸大。尤其是这里的夏季, 由于有三项无效水分支出, 致使有时降水量相差很大, 其有效部分却很接近(表 5)。显然, 按降水量系列计算年际变化只适于一般气候学和水文学意义, 而用有效降水量系列计算则会有较实际的农业气候意义。

表 5 石家庄两种降水量系列比较 (中/7—上/8)

年	降水量(毫米)	有效降水量(毫米)
1956	416.7	215.3
1963	766.5	231.7
1970	257.8	175.4
1976	302.6	184.5

表 6 给出并比较了降水量和有效降水量两种系列的标准差

($\sigma = \sqrt{(\sum x^2 - n\bar{x}^2)/(n-1)}$)。从表中可以看出, 夏玉米生育期有效降水量系列的标准差比降水量系列的小得多; 而冬小麦生育期则由于降水量小和有效降水系数大, 两者比较接近。将冬小麦和夏玉米两个生育期的有效降水量系列对比, 标准差值相差二、三十毫米; 但其变差系数($C_v = \sigma/\bar{x}$)相差颇大, 前者为 0.50 左右, 后者为 0.30 左右。

表 6 两种降水量系列标准差比较 (毫米)

站名	冬小麦生育期		夏玉米生育期	
	降水量	有效降水量	降水量	有效降水量
石家庄	64.9	62.4	157.6	73.9
束鹿	58.5	53.2	156.1	90.7
曲周	60.9	55.3	172.1	77.9
文安	46.8	39.3	144.2	57.8
德州	61.9	53.8	158.6	64.3
黄骅	62.5	57.1	205.6	77.3

表 7 给出各种保证率的需水盈亏量。表中全为负值, 即全为亏水。冬小麦全生育期常年(以保证率 50% 计)亏水 300 毫米左右, 枯水年(75%)亏水 330 毫米, 丰水年(25%)也亏水 250 毫米左右; 夏玉米则分别亏水 100, 150 和 50 毫米。

表 7 各种保证率的需水盈亏量(毫米)

站 名	冬 小 麦 生 育 期			夏 玉 米 生 育 期		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
石 家 庄	-252.7	-279.0	-339.1	-50.4	-109.3	-178.5
束 鹿	-272.0	-310.2	-342.3	-56.1	-108.9	-175.3
曲 周	-266.1	-292.9	-327.8	-66.4	-92.7	-126.9
文 安	-277.5	-319.6	-334.9	-42.7	-100.5	-155.6
德 州	-221.3	-285.7	-321.5	-69.9	-102.2	-160.3
黄 骅	-256.9	-303.5	-347.5	-15.5	-73.3	-107.6

在 25 年(1956—1980 年)逐年全生育期有效降水量系列需水盈亏计算中, 冬小麦年亏水; 夏玉米各站分别有 1—3 年为正值, 可满足需水要求。

四、结 论

1. 降水资源的农业气候评价, 必须考虑其有效性和时间分布结构。目前的水分平衡指标有一定的局限性。

2. 海河平原年有效降水系数为 60—70%。冬小麦全生育期亏水 290 毫米, 夏玉米全生育期亏水 100 毫米; 两茬合计只能满足需水量的 45% 左右。两种农作物的需水关键期都处于亏水状态, 因此对有限的灌溉用水要注意掌握运用, 以期发挥最大的产量效益。

致谢: 在本文工作过程中, 承本所俞开衡、吴金祥, 河北省水利勘测设计队王开棣和河北省气象局游景炎、袁希博诸同志予以帮助, 仅致谢忱。

参 考 文 献

- [1] 齐来福, 国内外农业气候区划中的水分指标, 气象科技, 1980, 4, 33—37。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所, 中国土壤, 280 页, 科学出版社, 1980。
- [3] 张酒让, 河北省地下水资源的探讨, 海河科技, 1980, 第 8, 9 期合刊, 45—53。
- [4] 王玉珂, 河北平原地下水资源及开发利用现状分析, 水利建设在河北平原农业发展中的作用论文选编, 57—73, 1982。
- [5] 韩化俊, 就河北平原地下水开发利用现状谈机井建设上的几个问题, 水利建设在河北平原农业发展中的作用论文选编, 74—98, 1982。
- [6] 胡学华, 海河流域平原地区有效降雨和地下水资源量的探讨, 海河科技, 1980, 第 8, 9 期合刊, 45—53。
- [7] 王焕榜, 河北省地表水资源概况及平原降雨入渗系数的初步认识, 海河科技, 1980, 第 8, 9 期合刊, 122—127。
- [8] 施成熙, 陆地水文学(上册), 231—234, 科学出版社, 1959。
- [9] 河南省农业科学院, 河南小麦栽培学, 187, 农业出版社, 1959。

**A COMMENT ON THE PRECIPITATION
RESOURCES IN THE SEMI-WET AND
SEMI-ARID REGIONS IN NORTH
CHINA—TAKE THE HAI RIVER
PLAIN FOR AN EXAMPLE**

Yuan Yuzhi

(Institute of Geography of Hebei Province)

In this paper, from the view point of water balance, we calculated the effective precipitation and analyzed its time distribution. Based on that, we analyzed the profits or losses for the water need of the plants. It is found that in the Hai River plain, the winter wheat (in the case of 400 Jin/Mu) and the summer corn (in the case of 500 Jin/Mu) are short of water for 290 mm and 100 mm respectively.