

水利科技译丛之十五

作物产量与水的关系

水电部西北
陕西省水利科学研究所

一九八二年五月

说 明

本译文集中的文章，均为联合国粮农组于1981年在我国举办《黄土高原土地资源利用培训班》时，专家组带来的有关“作物生长和产量与水之关系”、“灌溉设施及灌溉效率”等方面的论文以及与上述主题有关的讲课内容。

文中第一篇第一章由陕西省农林科学院梅福生同志根据讲课内容编写；第二章由西北水利科学研究所于雪萍同志和梅福生同志编译；第二篇第一章第一节由梅福生和于雪萍根据讲课内容及有关外文资料编译；其余部分均由于雪萍编译，由西北农学院外语教研组亢树森及西北水利科学研究所袁 伟校核。

1982年5月

目 录

第一篇 农业气候条件利用.....	(1)
第一章 气象资料.....	(1)
第一节 有关农业生产的气象考数.....	(1)
第二节 气象参数对农业生产的作用.....	(2)
第二章 农业气候资源的实际应用.....	(3)
第一节 作物最高产量 (Y_m)	(3)
第二节 最大蒸发蒸腾量 (ET_m)	(16)
第二篇 水资源利用.....	(42)
第一章 作物产量与水的关系.....	(42)
第一节 水资源的调查.....	(43)
第二节 实际蒸发蒸腾量 (ET_a)	(52)
第三节 实际产量 (Y_a) 的计算.....	(63)
第四节 产量反应系数 (k_y)	(66)
第二章 灌溉布设.....	(71)
第一节 进行灌溉布设的要求.....	(71)
第二节 充裕供水情况下的灌溉规设.....	(72)
第三节 供水受限时的灌溉布局与计算方法.....	(79)
第四节 灌溉实施中的一些其他措施.....	(87)
第三章 灌溉设施的选择 (二级因素)	(91)

第一节	重要性	(91)
第二节	进行灌溉设计应考虑的因素	(91)
第三节	灌溉方式的选择	(95)
第四章	合理灌溉	(102)
第一节	田间灌溉效率	(102)
第二节	灌溉效率和灌水量的估计	(102)
第三节	高效率灌水指导原则	(105)
第五章	灌溉效率计算	(106)
第一节	灌溉中常用的术语	(106)
第二节	灌溉效率的计算公式	(108)
第三节	灌溉效率的计算方法	(111)
第三篇	作物生长与水的关系	(119)
第一章	小麦	(119)
第二章	玉米	(125)
第三章	棉花	(128)
第四章	稻谷 (水稻)	(132)

第一篇 农业气候条件利用

第一章 气象资料

气象资料的收集对生产队一级是非常重要的。调查的资料要详细，而且需要各方面的特殊资料，以便与省和国家一级的资料进行对比。

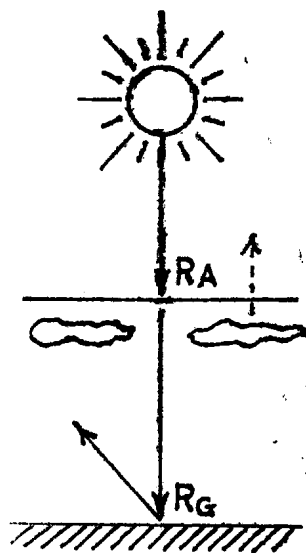
第一节 有关农业生产的气象参数

(一) 降雨量：降雨类型——雨、雪、冰雹。降雨量的大小用“毫米”表示，用雨量筒测定。降雨强度用“厘米/小时”表示，用雨量自记仪测定。对生产队一级来说，需要用每日的气象资料。

(二) 温度：要考虑每天的最高温度和最低温度，用“℃”表示，用温度表或温度自记仪测定。

(三) 湿度：要调查相对湿度、蒸发压力。测定的目的主要在于了解空气中所含的水分多少，用百分数“%”表示，用干湿球温度表测定。湿球要经常保持湿润。干球和湿球之间有一定的差值，这个差值就可用来计算或按表查找“相对湿度”和“蒸气压力”。此外，还可用湿度自记仪毛发湿度计测得。对湿度的测定要以每天为单位进行。

(四) 辐射：辐射有两种，一种是射入的短波辐射，第二种是射出去的“ R_A ”长波辐射。右图表示辐射平衡。来自太阳的辐射 R_a ，首先到达大气层上边，然后透过大气层当遇到云层时可能损失一部分辐射，到达地面后，地面所得到的辐射量大小“ R_g ”，决定于地面状况。地面上得到的辐射一部分变成短波反射掉，一部分在晚上以长波散 射 出 去。测定“ R_g ”有许多仪器如日射总量表、日射强度表等。



(五) 日照：用日照计测定，如果没有日照计可根据天

空云量遮盖的情况进行估计。

(六) 风：要了解每日平均最大风速，用“米/秒”表示，可用风速仪测得。更重要的是测定白天和晚上风力大小的比率。假若白天风很大，晚上风很小，作物就需要大量的水分，这是调查中的一项重要参数。

通过降雨量便可用数学的方法求算出降雨动能的大小。降雨动能对土壤侵蚀的影响是很大的。另外可以了解白天和晚上温度变化的情况，晚上温度低，白天温度高，对作物来说呼吸损失小有利于生长。陕北米脂的苹果之所以生长得好，主要原因就是该地温差大，有利于糖分的积累。因此，要计算温差就要知道最高温度和最低温度。

通过计算自由水面蒸发量就可以决定作物是否需要灌溉。如果要进行水面蒸发量的计算就要涉及到最高温度、最低温度、湿度、辐射和云量等因素。

蒸发蒸腾潜势由蒸腾与蒸发两个因素构成。它是指在土壤水分充足供应，地面完全由生长茂密的植被所复盖的情况下的最大蒸腾蒸发量。

风能的计算与降雨动能的计算方法一样，风能可用来计算风蚀。

从以上资料的计算，可以得到：1、平均值，2、中等值（50%），3、分布情况，4、可能性。

第二节 气象参数对农业生产的作用

1、根据统计所得的基本资料，首先可评价自然灾害如干旱、霜冻、冰雹等。例如从延安气象站1951年——1978年冰雹发生频率资料可以看出，在延安发生冰雹的频率，

表 1	延安冰雹发生频率 (1951—1978)												
月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全 年
冰雹发生次数	0	0	0	2	7	21	12	5	8	2	0	0	57
年 平 均	0	0	0	0.07	0.24	0.72	0.41	0.17	0.28	0.07	0	0	1.97

四月份在十年中有一次，五月份在十年中有三次，六月份在十年中有八次，七月份在十年中有四次。由此可看出六月份发生冰雹的机率最高，故应考虑作物在这个时期避开冰雹的危害。

2、评价温度状况，可计算无霜期。譬如要在延安栽培水稻，就可根据温度资料计

算无霜期中哪一段时间最适宜水稻栽培。

3、评价作物对水分的需要量。根据蒸腾蒸发量,可以计算作物的需水量。知道了作物的需水量,再与降雨量进行比较,如果降雨量少,作物需水量大,可计算需要的灌溉量。如果灌溉条件很差,作物需水不足,就可计算出相应的产量降低程度。

4、从得到的参数可以对作物的最大生产潜势进行评价。作物产量潜势根据温度和辐射计算。

第二章 农业气候资源的实际应用

第一节 作物最高产量 (Y_m)

作物的最高产量 (Y_m) 主要取决于作物本身的固有性能及其适应环境的程度。这里所说的环境是指对不同作物和作物不同品种的生长和达到最高产量起不同作用的气候、土壤和水。精心选择最能适应环境的作物及其品种,对于高产低耗是头等重要的事情。

作物最高产量 (Y_m) 是高产品种从出苗到成熟均能良好的适应环境,并且在生长期,水、肥和病虫害均无影响的条件下所收获的产量。一般情报资料上提供的产量数据是指高产作物在具有良好水管条件下的生产队或农场的实际产量。(参看表2)。

决定 Y_m 的气候因素为气温、太阳辐射和生长季节,还有作物生长要求的特殊温度和日照时间。一般说来,温度决定作物生长速度,从而影响形成产量所需之总生长期。例如:玉米在日平均温度为25—30℃时,100天成熟,温度20℃时,150天成熟,15℃时,250天方可成熟。

有些作物在生长初期要求特殊温度或日照时间才能继续生长发育。例如:马铃薯开始生长块茎时,要求夜间温度低于15℃;有些高粱品种,扬花期对日照时间的长短敏感,而冬小麦扬花期既要求凉爽的气候又要求日照时间长。还有一些作物的产品质量受温度影响,例如,菠萝果实中的含糖量与成果期的温度有关。另外,许多作物在产量形成期、成熟期和收获期要求不冷不热的气候。

作物的生长和产量与生长期所吸收的总辐射量有关。对于给定的辐射和温度来说,不同的作物能把多少太阳总辐射量转变为产量,其幅度是不一样的。这种差别对维持作

表2 在灌溉供水充足，农业投资水平高的灌区种植高产品种作物，其
生长期处于适宜的气候条件下的一般产量。（吨/公顷）

作物		气候		候		区	
		<20℃	>20℃	<20℃	>20℃	<20℃	>20℃
		热带	(1)	亚热带	(2)	温带	(3)
苜蓿	干草	15		25		10	
香蕉	果实		40—60		30—40		—
菜豆	鲜荚	6—8		6—8		6—8	
	籽粒	1.5—2.5		1.5—2.5		1.5—2.5	
甘兰	叶球	40—60		40—60		40—60	
柑桔属:							—
柚子	果实		35—50		40—60		—
柠檬	" "		25—30		30—45		—
橘橙	" "		20—35		25—40		—
棉花	籽棉		3—4		3—4.5		
葡萄	果	5—10		5—10		15—25	
花生	"		3—4		3.5—4.5		1.5—2
玉米	谷粒	7—9	6—8	9—10	7—9		4—6
橄榄	果			7—10			
洋葱	球茎	35—45		35—45		35—45	
豌豆	荚	2—3		2—3		2—3	
	籽粒	0.6—0.8		0.6—0.8		0.6—0.8	
鲜椒类	果	15—20		15—25		15—20	
菠萝	果		75—90		65—75		
马铃薯	块茎	15—20		25—35		30—40	
稻 谷	籽粒		6—8		5—7		4—6
红 花	种籽			2—4			
高 粱	籽粒	3—4	3.5—5	3—4	3.5—5		2—3
大豆	籽粒	2.5—3.5		2.5—3.5			
糖甜菜	块根			40—60		35—55	
甘蔗	茎秆		110—150		100—140		
向日葵	籽	2.5—3.5		2.5—3.5		2—2.5	
烟草	叶		2—2.5		2—2.5		1.5—2
蕃茄	果	45—65		55—75		45—65	
西瓜	果		25—35		25—35		
小麦(春)	籽粒	4—6		4—6		4—6	

(1): 半干旱及干旱地区。(2): 夏季及冬季降雨区。(3): 海洋及内陆区。(4): 平均温度。

物生长的水的利用效率关系很大。因此，选择作物时，除应考虑作物对温度与日照时间的反应外，还必须考虑作物对辐射的要求及其反应。例如：玉米优良品种能把吸收的总辐射量的 1—2 % 用于生长及产量，而花生只能转变上述百分数的一半，尽管地区是给定的，但从作物对气候的一些其他要求来看，两种作物同时适合于生产是可能的。

多数作物由于品种关系，对气候的特殊要求和一般要求，从播种到收获的总生长期内是不同的，这种变化使具有不同气候及不同生长季节的广大地区均有适应的作物生长。现把选择作物的依据，如总生长期的长短、温度、日照时间和其他一些特殊要求列于表 3。

在生长季节，除对气候有要求外，还要求供应高质量的水。必须考虑供水和作物需水之间的关系，可建立作物需水与供水进度表，以便随时掌握作物的水分情况；如，使河流供水或水库供水与田间需求量相呼应。有些作物形成 (Y_m) 的总生长期的长短由供水情况而定；例如：在棉花的发育期减少供水可加速开花及成桃，另外，还可促使早熟。而另一些作物形成 (Y_m) 过程的长短则取决于特殊生长阶段的供水情况，如柑桔属作物，减少供水可抑制疯长并可提高结蕾、开花及成果率。按最高产量 (Y_m) 计算作物生长期的总需水量 (ET_m) 在本章第二节讲，各种作物在正常生长并形成产量条件下，由不同生长阶段而组成的总生长期的需水量，可按不同作物分别计算，参看 FAO 排灌论文集 33。现在把选择作物最高产量与总需水量的关系的依据，如：水的利用效率 (E_y) 或每单位水产量 (公斤/米³) 及作物对水的敏感度，列于表 3。

选择作物品种及其生长季节时，还必须考虑社会经济方面的因素；例如，农民对某种作物的偏爱，市场需要，农业工具和器材的储备以及可用的农业机械及劳力等条件。

最高产量 (Y_m) 可按不同的气候情况来计算。该方法可用来计算不同地区的作物产量潜势，并可据此判断某种作物的最相宜的种植区。许多参数之间的复杂关系使得这个方法的推导错综复杂。然而，只要提供基本数据，计算起来并不复杂。

一、国际土地开垦与改良协会采用一种修正方法，称为瓦金宁金 (Wageningen) 法，该方法是依据 De Wit, Bierhuizen, Rijtema, Feddes 和 Kewalik 等人早期进行的试验资料正理而成的。(参看 Slabbers 1978 年)。

二、由 Kassam 根据农业生态区域发展成的方法 (参看 FAO, 世界土壤资源报告, 48 期, 非洲农业生态区域报告, 第 I 期 1978 年)。

一、瓦金宁金 (Wageningen) 法适用于苜蓿, 玉米, 高粱, 小麦:

斯莱波斯 (Slabbers) (1978年) 简化了产量对水的反应关系, 并在广阔的气候条件下, 用大量的试验资料进行了校核与审定。在测定苜蓿, 玉米, 高粱和小麦的干物质产量时, 发现了线性关系, 由此建立了不同生长阶段由干物质换算成的商品产量对短水的反应, 并用数学方式表达了这一反应关系。而且进一步在其他假定的基础上, 假定干物质最高产量的基础是最大蒸发蒸腾量。由此, 把线性关系简化成现在的形式。并在运用中予以修正, 就可把干物质产量转换成商品产量。在给定的气候条件下, 标准作物的产量潜势可依据 Wit (1965年) 的概念, 即依据太阳辐射和蒸发蒸腾量进行计算; 至于农业实践中所采用的方法则是依据了对产量起作用的温度, 生长效率 (也称呼吸作用) 和收获指数等因子予以修正的方法进行计算。由于用试验田的资料来校核本方法, 因此, 试验产量 (Y_{me}) (干重) 必须调正为农场或生产队的实际情况下的产量。而对于给定地区的“试验”产量 (Y_{me}) 来说, 它实质上就是指灌溉管理完善, 水、肥对产量无影响, 病虫害的影响极其微小条件下的作物标准产量。

计 算 过 程

计算“实验”产量 (Y_{me}) 的步骤如下:

- 1、计算标准作物干物质产量 (Y_o) 毛重。
- 2、按气候 $[ET_m/(ea-ed)]$ 进行修正。
- 3、按作物种类 (K) 进行修正。
- 4、按温度 (CT) 进行修正。
- 5、按收获部分 (CH) 进行修正。

- 1、计算标准作物干物质产量 (Y_o) 毛重:

用 De Wit (1965年) 的方法计算给定地区的 Y_o , 公斤/公顷/天。该方法是以标准条件下作物实际吸收的短波辐射量为依据的。

$$Y_o = F \cdot y_o + (1 - F) y_c$$

式中: Y_o —标准作物干物质产量毛重 (公斤/公顷/天);

F —白日的阴天部分 (小数), F 可用公式:

$$F = (R_{se} - 0.5R_s) / 0.8R_{se} \text{ 计算。}$$

这里,

R_{se} —植被地面在晴天里吸收的短波辐射最大值 (卡/厘米²/天), (表 4);

R_s —植被地面实际吸收的短波辐射值, (卡/厘米²/天)⁽¹⁾。

y_o —给定地区的全天阴天时的标准作物干物质产量毛重, (公斤/公顷/天), 表 4。

y_c —给定地区的全天晴天时的标准作物干物质产量毛重, (公斤/公顷/天) 表 4。

表 4 与纬度辐射有关的 R_{se} (卡/厘米²/天) y_c 和 y_o (公斤/公顷/天)值

纬 度	项目 \ 月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0°	R_{se}	343	360	369	364	349	337	342	357	368	365	349	337
	y_c	413	424	429	426	417	410	413	422	429	427	418	410
	y_o	219	226	230	228	221	216	218	225	230	228	222	216
10°	R_{se}	299	332	359	375	377	374	375	377	369	345	311	291
	y_c	376	401	422	437	440	440	440	439	431	411	385	370
	y_o	197	212	225	234	236	235	236	235	230	218	203	193
20°	R_{se}	249	293	337	375	394	400	399	386	357	313	264	238
	y_c	334	371	407	439	460	468	465	451	425	387	348	325
	y_o	170	193	215	235	246	250	249	242	226	203	178	164
30°	R_{se}	191	245	303	363	400	417	411	384	333	270	210	179
	y_c	281	333	385	437	471	489	483	456	412	356	299	269
	y_o	137	168	200	232	251	261	258	243	216	182	148	130
40°	R_{se}	131	190	260	339	396	422	413	369	298	220	151	118
	y_c	219	283	353	427	480	506	497	455	390	314	241	204
	y_o	99	137	178	223	253	268	263	239	200	155	112	91

• 例题中用到的数据。

2、按气候 $[(ET_m/(ea-ed))]$ 进行修正:

在给定地区气候条件下的总生长期, 与作物生长速度有密切关系的除辐射之外, 就是最大蒸发蒸腾速度日平均值(ET_m) (毫米/天)和蒸发压力差日平均值($ea-ed$) (毫巴)了, (Bierhuizen和Slatyer, 1965)⁽²⁾。 ET_m 的计算方法在本章第二节内

讲，关于计算饱和蒸气压力平均值(ea)和实际蒸气压力平均值(ed)，单位均为(毫巴)，可参看表11。

[注]：(1)Rs也可以表示为(毫米/天)蒸发当量，其转换关系为59卡/厘米²=1毫米蒸发当量。当只有日照资料时，Rs可由下式： $Rs=(0.5+0.5n/N)Ra$ 计算，这里Ra是大气圈以外的辐射(毫米/天)表12，N为一天的日照最大时数(小时/天)。表13，n为一天内的实际日照时数(小时/天)。

(2)当表示为毫米水银柱(mmHg)时，其转换关系为：1毫巴=0.75毫米水银柱。

3、按作物种类(K)进行修正：

标准条件下作物干物质产量毛重(Yo.)与苜蓿、玉米、高粱和小麦的干物质产量毛重($Yo \cdot ET_m / (ea - ed)$)的关系为一经验常数(K)，称为作物转换常数。苜蓿的K值为0.9，玉米为1.9，高粱为1.6，春小麦为1.17，冬小麦为0.65。

4、按温度(CT)进行修正：

标准作物产量(Yo.)为作物在标准温度下的产量。按作物把总能量的40%用于自身生长并维持呼吸作用来考虑，则在总生长期内实际温度平均值条件下的作物产量净值(Ydm)可用作物各自的温度修正系数(CT)来修正。

在最优种植密度条件下， $Ydm = K \cdot CT \cdot G \cdot Yo \cdot ET_m / (ea - ed)$ ，这里Yo是总生长期内(为G天)的干物质产量毛重平均值。

表 5 温度修正系数 (CT)

	总 生 长 期 内 的 平 均 温 度 (°C)						
	5	10	15	20	25	30	35
苜 蓿	0	0.2	0.4	0.55	0.6	0.6	0.5
玉 米	0	0.1	0.35	0.5	0.6 *	0.6 *	0.6
高 粱	0	0.1	0.3	0.45	0.55	0.6	0.6
小 麦	0.05	0.3	0.55	0.6	0.35	0.1	0

5、按收获部分进行修正：

一般说来，收获量只占干物质总产量的一部分。对于苜蓿来说，在生长的第一年，大约有50%的干物质净量总值用于形成根系，以后每年约为10%，玉米、高粱和小麦是

为收获谷物而种植的，其收获量只占干物质总量的一部分。干物质净量总值与收获量的比率称为收获指数，这里介绍的指数是高产品种在灌溉的农田上取得的数据。

CH		
苜 蓿	0.4—0.5	第一年
	0.8—0.9	以后的年份
玉 米	0.4—0.5	
高 粱	0.35—0.45	
小 麦	0.3—0.4	

总而言之，高产并适宜于当地气候的品种在最优的气候条件下的试验产量(Y_{me})为：

苜蓿： $Y_{me}=0.9 \cdot CH \cdot CT \cdot G \cdot Y_o \cdot ET_m / (ea-ed)$ （公斤/公顷/期）
 玉米： $Y_{me}=1.9 \cdot CH \cdot CT \cdot G \cdot Y_o \cdot ET_m / (ea-ed)$ （公斤/公顷/期）
 高粱： $Y_{me}=1.6 \cdot CH \cdot CT \cdot G \cdot Y_o \cdot ET_m / (ea-ed)$ （公斤/公顷/期）
 春麦： $Y_{me}=1.17 \cdot CH \cdot CT \cdot G \cdot Y_o \cdot ET_m / (ea-ed)$ （公斤/公顷/期）
 冬麦： $Y_{me}=0.65 \cdot CH \cdot CT \cdot G \cdot Y_o \cdot ET_m / (ea-ed)$ （公斤/公顷/期）

举例：

已知：玉米，种植密度最优；北纬30℃，海拔高度95米；总生长期123天，从5月1日到8月31日，全生长期吸收的短波辐射为650卡/厘米²/天；平均温度27.5℃；平均相对湿度55%；平均最大蒸发蒸腾量(ET_m)为6.8毫米/天；收获指数(CH)为0.45。

计算：

yo平均	表 4	253（公斤/公顷/天）
yc平均	表 4	475（公斤/公顷/天）
Rse平均	表 4	403（卡/厘米 ² /天）
F平均 $(403-0.5 \times 650) / (0.8 \times 403)$	计算	0.24
Yo平均 $(0.24 \times 253) + (1 - 0.24)475$	计算	422（公斤/公顷/天）
ETm平均	本章第 2 节	6.8（毫米/天）
ea平均在27.5℃	表11	36.8（毫巴）
ed平均 $ea \times RH/100$	计算	20.2（毫巴）

(ea-ed) 平均	计算	16.6 (毫巴)
CT (小数)	表 5	0.6

所以 $Y_{me} = 1.9 \times 0.45 \times 0.6 \times 123 \times 422 \times 6.8 / 16.6 = 10910$ 公斤/公顷
(干谷粒)

二、农业生态区域法估算作物生产潜势:

本方法原是用来评价某大陆作物而发展起来的。但是也可用于有详细气象资料的其他地区。对于某地区的气候条件来说,标准作物产量潜势可用 De Wit (1965) 的概念,即用辐射资料来计算;对于农作物,在某地区的具体气候条件下,可依据作物生长过程的特征,把上述方法予以修正。该方法是在假定气候满足作物要求,并认为水、肥、盐渍化、病虫害等不影响作物生长及其产量潜势 Y_m 的条件下建立的。

在生产队实际条件下,有时会出现不利的气候,灌水和肥料有时会受到限制,还有播种、耕作以及收割过程中存在的一些问题,必将使产量遭受损失。这些不利因素是复杂的,难以确切算出它们各自对产量所造成的损失量。但是把产量潜势 (Y_{mp}) 计算结果与生产队的实际产量对比,就可得出农业生产效率。

(一) 影响作物产量的因素:

决定作物最高产量的气候因素有温度、辐射、总生长期长度。作物生长及其产量,受作物生长期所吸收的光辐射影响是最大的,它影响作物光合作用所形成的干物质。

表 6 作物类型

	I	II	III	IV
同化作用形式	C_3	C_3	C_4	C_4
光照充足,温度适宜,光合率高	20—30	40—50	>70	>70
适宜温度	15—20	25—30	30—35	20—30
最大光合强度时的辐射强度	0.4—0.6	0.3—0.6	>1.0	>1.0
适宜作物	冬小麦、大豆、洋芋			高粱、玉米

由表 6 可见,第 II 组作物为 C_3 时,适宜温度为 25—30℃,光合率也较高为 40—50 ($mgCO_2/cm^2 \cdot h^{-1}$),光辐射强度为 0.3—0.8 ($cal/cm^2/min^{-1}$),在上述条件下便可收到最佳产量。IV 组作物为 C_4 时,光合率大于 70 ($mgCO_2/cm^2 \cdot h^{-1}$),最适宜温度

20—30℃，最大辐射强度大于1.0 (cal/cm²/min⁻¹)，这种条件对旱地高粱、玉米可获得较高的产量。

(二) 计算方法:

作物产量潜势 (Y_{mp}) 计算步骤如下:

- 1、计算标准作物的干物质总量 (Y_o)
- 2、用作物种类与生长期间的温度进行修正。(CT)
- 3、用作物生长期与叶面积 (CL) 进行修正。
- 4、用作物净干物质生产 (CN) 进行修正。
- 5、用收获部分 (CH) 进行修正。

具体计算如下:

- 1、标准作物干物质总量的计算 (Y_o)

$$Y_o = F \cdot y_o + (1 - F) y_c$$

式中 Y_o——表示标准作物总干物质产量 (公斤/公顷/日)

F——表示每天云遮盖时间的比率，即白天是阴天的部分

$$F = (R_{se} - 0.5R_g) / 0.8R_{se}$$

其中 R_{se} 是晴天最大的有效射入短波辐射 (卡/厘米²/日)。即标准作物生长所需的最大辐射量。R_g 是实际测得的射入短波辐射 (卡/厘米²/日) R_g 也可以从测得的光照期限 (n) 资料中计算出来 (小时/日)。

$$R_g = [0.25 + 0.45 (n/N)] \times R_a \times 59$$

R_a 值与纬度有关，查 (表12) 即可得到。R_{se}、y_c 和 y_o 值通过查 (表4) 即可得。如米脂县四月份的 R_{se} = 339 卡/厘米²/日 R_g = 490 卡/厘米²/日

y_o——表示全阴天既定地点标准作物的总干物质产量 (公斤/公顷/日)

y_c——表示全晴天既定地点标准作物的总干物质产量 (公斤/公顷/日)

如果只有阴天而无晴天则 Y_o = F · y_o

如果只有晴天而无阴天则 Y_o = (1 - F) y_c

2、用作物种类与温度进行修正 (即不同作物干物质总量矫正值)。干物质生产决定于作物种类与温度。

干物质生产率 (y_n) 可能大于或小于标准作物假定的20公斤/公顷/小时。

表 7 不同作物干物质生产率 (y_m) (公斤/公顷/小时)

作物种类 温度(℃)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
I 冷	5	15	20	20	15	5	0	0	0
I 暖	0	0	15	32.5	35	35	32.5	5	0
II 冷	0	5	45	65	65	65	45	5	0
II 暖	0	0	5	45	65	65	65	45	5

I 冷: 苜蓿、豆、甘兰、豌豆、马铃薯、番茄、甜菜, 小麦。

I 暖: 苜蓿、柑桔类、棉花、花生、椒类、稻子、红花、大豆、向日葵、烟草、番茄。

II 冷: 玉米和高粱的一些品种。

II 暖: 玉米、甘蔗、高粱。

由表 7 可看到 II 冷类作物杂交玉米在 20℃ 时干物质生产率 $y_m = 65$ 公斤/公顷/小时。

I 类作物小麦在 25℃ 时 $y_m = 15$ 公斤/公顷/小时。

y_o 与 y_c 的值对于不同作物可以进行调整:

(1) 当 $y_m \geq 20$ 公斤/公顷/小时时,

$$Y_o = F(0.8 + 0.01y_m)y_o + (1 - F)(0.5 + 0.025y_m)y_c \text{ (公斤/公顷/日)}$$

(2) 当 $y_m < 20$ 公斤/公顷/小时时,

$$Y_o = F(0.5 + 0.025y_m)y_o + (1 - F)(0.05y_m)y_c \text{ (公斤/公顷/日)}$$

3、作物发育时间与叶面积的修正 (CL)

作物叶面积系数 LAI 在正个生长期的中期最大, 在生长期开始或末了时, 叶面积系数较小或者是最大值的 50%。假定有效叶面积与地面积相等时, $LAI = 1$ 。对于标准作物来说, 我们也可以假定有效叶面积为种植面积的五倍 (叶面积系数 $LAI = 5$), 当叶面积较小时, 必须使用矫正数, 当大于 5 时, 其影响就小。(见表 8)。一般 $CL = 0.5 - 0.6$

表 8 叶面积修正系数

活 叶 面 (LAI)	1	2	3	4	≥ 5
修 正 值 CL	0.2	0.3	0.4	0.45	0.5

4、用净干物质产量进行修正 (CN)

植物在白天进行光合作用, 积累干物质, 晚上进行呼吸则要消耗干物质。消耗剩下

的部分能量才能用来促使植物生长。寒冷地区（平均温度 $<20^{\circ}\text{C}$ ） $\text{CN}=0.6$ 。温暖地区（平均温度 $>20^{\circ}\text{C}$ ） $\text{CN}=0.5$ ，因而， $\text{CN}=0.5\sim 0.6$ 。

5、用收获部分进行修正（CH）

表 9 高产品种在灌溉条件下的收获指数（CH）

作物	生产	CH	作物	生产	CH
苜 蓿	干 草	0.4—0.5* 0.8—0.9*	马铃薯	块 茎	0.55—0.65
豆	籽 实	0.25—0.35	稻 谷	谷 物	0.4—0.5
甘 兰	头	0.6—0.7	高 粱	谷 物	0.3—0.4
棉 花	皮 棉	0.08—0.12	大 豆	籽 实	0.3—0.4
花 生	果 实	0.25—0.35	甘 蔗	糖	0.2—0.3
玉 米	谷 物	0.35—0.45	甜 菜	糖	0.35—0.45
洋 葱	茎	0.7—0.8	向日葵	种 子	0.2—0.3
豌 豆	籽 实	0.3—0.4	烟 草	叶	0.5—0.6
椒 类	果	0.2—0.4	番 茄	水 果	0.25—0.35
菠 萝	水 果	0.5—0.6	小 麦	谷 物	0.35—0.45

•：第一年和第二年。

一般说来，收获量如谷物、糖或油只占干物质产量的一部分。高产品种在灌溉条件下的干物质总产量净重和收获部分的比值，称为收获指数（CH），（参看表 9）。

总的来说，一种高产的气候适应的作物品种的产量潜力（ Y_{mp} ）在G天的生长期，无限制（抑制）条件下是：

（1）当 $y_m > 20$ 公斤/公顷/小时

$$Y_{mp} = CL \cdot CN \cdot CH \cdot G [F(0.8 + 0.01y_m) y_o + (1 - F)(0.5 + 0.025y_m) y_c]$$

（公斤/公顷/期）

（2）当 $y_m < 20$ 公斤/公顷/小时

$$Y_{mp} = CL \cdot CN \cdot CH \cdot G [F(0.5 + 0.025y_m) y_o + (1 - F)(0.05y_m) y_c]$$

（公斤/公顷/期）

式中 y_o 、 y_c 、 R_{se} 与地球纬度有关，可从表 4 查得， R_g 可根据实际资料计算得出。 $R_g = [0.25 + 0.45 (n/N)] \times R_a \times 59$