

苏联草原地带灌溉春小麦的需水量

水利部北京水利科学研究院译印

〔56〕技字第2号

苏联草原地带灌溉春水 · 麥的需水量

(ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ЯРОВОЙ
ПШЕНИЦЫ ПРИ ОРОШЕНИИ В
СТЕПНЫХ РАЙОНАХ СССР)

Т. Н. 喬列奧勒拉任斯基教授

1. 草田耕作系統初期春小麥的总需水量及其灌溉定額 需水量的測定法

为了介决苏联草原地带灌溉地春小麥需水量大小的問題，我們嘗試用了許多方法。根据野外調查的結果我們決定采用同时分析水和土的主要收入量和主要消耗量的水热平衡法。由于应用这些材料同时 並計算單位收穫量和單位面积需水量的效果，我們得到了一系列农作物总需水量的数值。这些数值是在相当不同的灌溉条件下——在阿拉木圖，庫布爾城，古比雪夫，薩拉托夫，恩格斯等地区——得来的。所有基本的数字是指1941~1948年的調查，但我們也利用了比我們調查更早的资料。

根据調查材料詳細研究之后我們獲得了苏联草原地带大灌溉系統春小麥的总需水量值和灌溉定額。

下面是确定乾燥程度不同季节里春小麥总需水量和净灌溉定額的結果。收穫量是采用高的30到50公担/公頃，平均40~45公担/公頃。

在本文的第一章中所有計算係根据高产地的材料进行，不过是在目前正在灌溉系統上实现的条件（高的农业技术，也是高的灌溉定額，自流灌溉）之下。

在這種條件下還不能把灌溉地上草田耕作系統和廣大護林帶等的有利因素充分利用。

我們的計標係根據四個不同乾燥程度的年份，它們對維爾伏爾加河左岸地區和乾燥的卡查赫斯坦非棉產區等（一般是棉粟鈣土和重鈣土的粘壤土地帶）說是典型的。

我們以 350 公厘降水量作為年度保證率為 50% 的乾旱年。300 公厘降水量作為保證率為 25% 的乾旱年，250 公厘降水量作為保證率為 10% 的乾旱年，200 公厘降水量作為保證率為 1~3% 的乾旱年，因此我們所取的是降水量從 200 到 350 公厘的年份。

（註：本文保證率表示方法與現在國內一般表示方法相反）

太陽輻射、反射及有效放射的計標值

在用水熱平衡方法測定必需水量的情況，從春天到春小麥收穫，太陽總輻射量 ($Q + q_+$) 為 40000 - 47000 克卡/平方公分。對典型年份來說當降水量的 350 公厘時在計標中係取 45000 克卡/平方公分。降水量為 300~250 公厘時係取 46000 ~ 46500 克卡/平方公分，降水量為 200 公厘時係取 47000 克卡/平方公分。

上述太陽輻射量係根據正理阿拉木圖，古比雪夫和薩拉托夫氣象台記載的試驗資料並計標上述草原區的太陽輻射而得。計標是根據烏克蘭依米夫，奧克斯脫萊姆和沙維諾夫經驗公式進行的。我們根據不同典型季節的十天材料核驗了奧克斯脫萊姆和沙維諾夫的不同修改公式。應用烏克蘭依米夫公式進行計標時我們利用了 F. 別爾梁脫等所作的計標。

現在來說，我們將採用的反射率（反射）和有效放射也就是 q'_- 和 $q'_- - q_-$ 。

反射率我們是根据伏尔加河左岸之地和卡查赫斯坦（在阿拉木图，古比雪夫，薩拉托夫附近）灌溉地的专门調查进行确定的，为此我們曾采用各种不同构造的反射率測定器，其中有雅尼雪夫斯基式的。

有效辐射量我們同样也是用专门仪器确定的。为此我們在伏尔加河左岸之地和卡查赫斯坦的不同測站以及莫斯科附近试用了各种不同构造的大地測光计——沙維諾夫式的，米蘇里寧夫的等。此外我們还要采用平鏡計（雅尼雪夫斯基式的）和其他日光辐射計根据已測材料计算出有效辐射量；在阿拉木图附近长时期应用了古里尼茨基式的太阳辐射計。

对网络的条件系根据前次資料推算，反射率（反射）可取其等於太阳总辐射的18~20%，平均为19%，而有效辐射量則取其等於太阳总辐射的28~32%，平均为30%。

蒸发面与空气和蒸发面与土壤的热

交换方法及其計算值。

我們在測定由蒸发面直接进入空气或相反，由空气进入蒸发面的热（ p ）时发生了極大的困难。 p 值的測定我們是以在伏尔加河左岸地区 and 卡查赫斯坦进行的观测作为根据。

此外觀測的结果，热（ p ）的可能更真實值係用下式的方程式来确定：

$$p = p C_p K_1 \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{Z_2}{Z_1}} \quad (1)$$

在这为程式中： p 是空气的密度； C_p 是空气的热容量； K_1 是单位高度上的交换係数（高度 $Z=0$ 上的交换係数值小于我們所关心的水平线上的）； T_1 和 T_2 是高度 Z_1 和 Z_2 上的空气温度。

当热的垂直气流小时，空气温度下面是在 0.5~0.6 公尺以上的高度上 (Z_1) 确定，上面是在 $Z_2 = 5-7.6$ 公尺的高度上确定。这种形式的方程式是适用于灌溉地上的计算的。

对于同样的条件，交换系数根据下列为试验所验证的公式计算。

$$K = \frac{k_0^2 Z \left[(T_1 - T_2)^n + (\Delta u) \right]}{\ln \frac{Z_1}{Z_2}} \quad (2)$$

式中 k_0 —— 所谓气流垂直常数或者称为空气动力常数，而实际上则是系数； Δu 是决定空气温度的高度上，风的速度增减率的绝对值。 n 是系数。

根据在阿拉木图 and 德查姆布尔附近的卡查斯坦的试验我们求得 n 的数值在 0.25 到 0.75 之间。当风速小时，即约小于 1 公尺/秒时，在离开地面 0.5~0.6 公尺的高度上为 $n = 0.75$ ；当 $u = 1 \sim 2$ 公尺/秒时 $n = 0.5$ ，而当 $u > 2$ 公尺/秒时 $n = 0.25$ 。

k_0 值主要是在计算 5 天到 10 天（即间歇灌溉期）热交换的平均值时针对已开垦的灌溉地得出的。经确定 k_0 值主要是适合于夏天的灌溉时期；这时主要是乾燥炎热的天气，风速不大也不小，也就是大致等于 1 到 5~6 公尺/秒。在这种情况下试验得出：当灌溉湿度不够时 $k_0 = 0.46 \sim 0.50$ ，当湿度适中而是增时 $k_0 = 0.45 \sim 0.46$ ，当灌溉湿度较高时 $k_0 = 0.42$ 。

根据所指示的方法，正午植物生长期内的热交换 (K) 计算值可以采用下列我们关心条件下的数字：降水量为 350 公厘的年份为太阳总辐射的 10~15%；降水量为 200 公厘的年份为太阳总辐射的 12.5~17.5%；降水量为 250 公厘的年份

年为太阳总辐射的15~10%；当降水量为200公厘时则为20~25%。

和负的热交换同时，即热由空气进入蒸发面的同时，有正的热交换（ P_2 ）发生，即热由蒸发面进入空气。根据试验资料的判断这个量也是不定的。但是调查研究报告告诉我们，由蒸发面进入空气的热量是可以而且必需通过灌溉来进行调节的（在一定的范围内）。

当其值过小时在需水的过程中发现消耗过多的水分，而当数值大时则又使收穫量大大的减少。后者说明在气候乾燥的年份当灌溉不足时有大量正的热交换发生。

试验查明，对于我们所讨论的情况，正的热交换值等于太阳总辐射的10~20%，平均占15%。虽然这个值在缺乏应有的灌溉时可能有很大的变化，但我们的年来内采用它。

必须指出，灌溉也可使负的热交换量有很大变化，采用它对湿度不同要求为灌溉时不能使收穫量和需水量没有损失。我们常採用最普通的方法，只是有系统地在野外观测不同深度的土壤湿度来求取长时期内这个作用蒸发面（土壤）的热交换大致值。某一长时段内土壤中所蓄积的热量我们是根据最初和最终时期土壤中的湿度分佈计算出来的，计算时先要给出土壤体积和热容量的大概数值。热容量的资料也和其他热指标一样是根据适当的试验资料采用的。

调查结果指出对于所讨论的植物生长时期，土壤增湿的耗热量连同在光合作用（同化作用）过程中植物对辐射能的吸收量可以用为估计以前所指示的太阳总辐射量的6%（依靠辐射直接作用），而依靠所调进的热的为正1~3%，即占 P_1 的~10%。

上面引证的数字是大概的，因为蒸发面与土及热交换的最

精确数字应该是在确定小时平衡时得到而不是根据本书。

测定必需水量和灌溉定额的基本

计算公式。

我们用热平衡法测定春小麦必需水量时曾在野外装置百米用下面的公式：

$$1) \quad R = U_r + P + B \quad (3)$$

$$2) \quad R = Q + q_+ + q_- - q'_- - q'_+ \quad (4)$$

$$3) \quad U = \frac{100 U_r}{\gamma} \quad (5)$$

在这些公式中 R 是我们所关心时间的辐射平衡； U 是蒸发所消耗的热或潜热； P 是大气与蒸发面的热交换量， B 是蒸发面与土及的热交换量， Q 是太阳直接辐射到水平面的应力（强度）， q_+ 是扩散（分散辐射）的应力； q_- 是大气长波辐射的应力； q'_- 是蒸发面长波辐射的应力； q'_+ 是从蒸发面反射的辐射应力； U_r 是蒸发所消耗的热或蒸发面积上的必需水量（单位为克卡/平方公分）； γ 是 1 克蒸发水的潜热（单位为克/卡）100 是为得到 U 的换算系数（单位为立方公尺/公顷）。

测定必需水量之后就计算净灌溉定额，计算时所用的是已知的 A 、 H 、考斯佳柯夫公式。根据试验资料在测定灌溉定额时我们采用年降水量的利用系数为 0.45~0.50，也就是说比以前对伏尔加河左岸之地所采用的高得多。我们知道 15~20 年前在计划伏尔加河左岸之地的灌溉制度时所得的系数对伏尔加河右岸之地北部的平均年和丰年来说为 0.27~0.30，对伏尔加河左岸之地南部则为 0.20。

我们对在别列兹基斯基站，库士兹克恩格斯，多勃雷尼斯基地段，阿拉木图 and 德查布尔附近灌溉地的观测材料进行了分

析。分析結果發現按照先前的計標條件，年降水量的係數可以採用不小於 0.45~0.50 還可大大增加。

在所有的計標中我們假設地下水深度很大。

總需水量和灌溉定額的確定結果。

表 1 是針對紹爾·伏爾加河左岸之地和卡查赫斯坦非農區的條件及收穫量高的情況 (40~45 公担/公頃) 確定着小麦總需水量和淨灌溉定額的結果。

這些地區的特點是土壤為栗鈣土和黑鈣土的壤土類分支，地下水很深。

在計標總需水量時我們根據公式(1)取不大的值，即太陽總輻射熱的 5~6% 作為額外消耗。

這時考慮了從鄰近非灌溉地段和在另外時間灌溉地段可能來的少量的水，並包括了不大的蒸發水分損失，後者是因水分向鄰近較乾燥的地方也就是向非灌溉地方或在另外時間灌溉地方水平移動的結果。所舉的係數

表 1

年降水量 M (以公厘/公頃計標)	~2000	~2500	~2900	~3600
利用的降水 (以公厘/公頃計標)	1590 ~ 1750	1350 ~ 1500	1120 ~ 1250	900 ~ 1000
年降水量的利用係數	0.45 ~ 0.50	0.45 ~ 0.50	0.45 ~ 0.50	0.45 ~ 0.50
急需水量 U (以公厘/公頃計標)	3460 ~ 3840	3700 ~ 4090	3900 ~ 4290	4310 ~ 4750
的 U_r	20250 ~ 22500	21620 ~ 23920	22790 ~ 25110	25180 ~ 27730
總耗水過程中消耗	0.45 ~ 0.50	0.47 ~ 0.52	0.49 ~ 0.54	0.51 ~ 0.55
太陽總輻射中的部	15	15	15	15
太陽總輻射中的正的被按量 P_2 (以%計標)	1.0	1.5	2.0	2.5
分 P_1 (以%計標)	10~15	12.5 ~ 17.5	15~20	20~25
空氣的相互交換量部	6	6	6	6
太陽總輻射中被土壤增溫消耗熱能加和植物	30.0	30.0	30.0	30.0
太陽總輻射中的有效放射 q_1-q_2 (以%計標)	19	19	19	19
總輻射中的反射 q_1 (以%計標)	45000	46000	46500	47000
太陽輻射的計標量 Q_1+Q_2 (以克卡/公頃計標)	50	25	10	3
含水量的保證率 (以%計標)	350	300	250	200
每年降水量 (以公厘計標)	中濕年	中濕年	中濕年	乾年
按氣候乾燥程度分別的年份				

也考虑到因灌溉后立即不合时宜地降水而引起的额外蒸发量的损失。

必须指出，所采用的估太阳总辐射 $5 \sim 6\%$ 的值只能在灌溉大量积时有效。

由表 1 看出，当春小麦收穫量为 $40 \sim 50$ 公担/公顷时，在伏尔加河左岸和卡查赫斯坦的草原地带旱年的净灌溉定额是在 $2000 \sim 3000$ 公方公尺/公顷范围之内。

所提出的灌溉定额将一般根据苏联材料所得要推荐采用以提高春小麦收穫量的值要小得多。只有这些都说明了这些试验资料只能采用小栏 1 的修正系数。引用修正系数的必要性首先在栏没有进行灌溉地段热量平衡的观测，因此在野外情况下总需水量（蒸发）中包括一部分没估计到的蒸发损失、因水分分布不良造成的损失以及热和蒸发水与邻近非灌溉地段水平交换所产生的多余的总需水量。

后面一种情况也是必须注意到的。因为很多试验是在为块灌溉乾地所包围的小块地段进行的。调查研究证明，在水平方向的素动性交换可以比在垂直方向要高得多。因此甚至当坡度较小时在水平方向的流水也可起重大的作用。

所有这些情况，当制订大块灌溉田地的灌溉制度时也必须考虑到。

II. 实行改造乾燥区自然的计划时春小麦的总需水量和灌溉定额。

确定总需水量和灌溉定额时所采

用的基本条件和办法。

实行改造乾燥区自然计划时，春小麦的总需水量和净灌溉定额我们力求利用资料来确定。

計划时我們认为乾旱区大块面积上已完全实现改造自然的計划，在农庄中，集体农庄和国营农场的田野里已充分运用單田耕作系統的措施也就是建造了防護林帶灌溉了大块面积等。

所有这些都能大大减少需水量的数量和提高降水的利用系数，在綜合运用采用下列灌溉方法措施时需水量将大减小：
1) 调节土壤吸收过程时合理灌溉方法；2) 作为减少需水量和提高收穫量补充方法的根外追肥和凉渠灌溉；3) 考虑到生理区根系吸水的侵润灌溉；4) 在侵润强度适当的情况下採用人工降雨机。

确定需水量我們用水平热平衡方法，同时分析水和热的基本收入和支出。

确定总需水量和灌溉定额时所采用的計划指标：

需水量的所有确定我們都是根据在旱年得到着小麦高收穫量30~50公担/公顷来計划的。

以前在計划农业技术已改善，土壤肥力已提高地段的着小麦需水量时，在运用單田耕作的初期我們采用顆粒收穫量为40~45公担/公顷。

目前为了比較所得的需水量也需要採用这种收穫量。但經发现，这种計划方法不完全正确，因为由于我們所定措施的实现，即使总的条件仍不多，收穫量也将不断增加。这时我們是需要改善收穫物结构而提高收穫量。

必須指出，在土壤改良試驗站的现有条件下，着小麦顆粒的高收穫量是在麦草收穫量比較高的情况下得到的。

分析試驗材料証明，在实现斯大林改造自然的計划时我們有一切根据可以提高顆粒的总收穫量，其中包括依靠收穫物结构的改变。

根据我们的意见，按照下内 尊森科院士栽培植物方面的学说，特别是研究灌溉时植物不同侧方面的学说，引用新的春小麦品种和改良现有的春小麦品种是有广阔的远景的，在灌溉耕作情况下这一点极为重要。

春小麦的针标收穫量我们目前采用为40~50公担/公顷。

现举出几个干旱程度不同的年份来作为例子，它们一般对顿尔·伏尔加河左岸之地，乾燥的卡查赫斯坦非棉花区和其他类似农业地区来说是典型的。

所有的针标基本上是针对栗钙土地带和重钙土的土壤。土壤是粘壤土，地下水很深。

在这些情况下以350公厘降水量作为含水量保证率为50%的旱年；以300公厘降水量作为保证率为25%的旱年；以250公厘降水量作为保证率为10%的旱年；以200公厘降水量作为保证率为1~3%的旱年。

对抬上述年份，从春天到春小麦收穫为止所獲得的太阳总辐射量为40000~47000克卡/平方公分。在针标时，针降水量为350公厘的典型年取其为45000克卡/平方公分，当降水量为300~250公厘时为46000~46500克卡/平方公分，当降水量为200公厘时为47000克卡/平方公分。

在上述太阳辐射量中由于土壤增湿和光合作用（同化作用）过程中吸收辐射能而消耗的占6~7%。此外由地表发面与空气质的热交换而使土壤增湿的额外消耗我们采用为占太阳总辐射的1~3%。

所有上面这些数值，我们都是根据尊田耕作系统使用初期确定春小麦总需水量时所采用的值。

在所讨论情况下其余的热平衡量应采用另外一些，因为这些值由抬乾燥区改造自然计划的实现而大大地改变。

关于这个问题我们曾在卡查赫斯坦和伏尔加河右岸之地考虑到以前积累的資料进行研究。

測驗证明，在所讨论的情况下看小麦灌溉地上的下列热平衡要素是要紧的，即反射，有效辐射，蒸发面与空气的正热交换量把运用各种综合措施（第一种综合）或耕种看小麦时不用这些措施（第二种综合）的高产量看小麦的热平衡因素比较的结果，这些结论得到肯定。

第一种综合措施是：

- 1). 根外追肥。
- 2). 在必要計算和调节土壤吸收过程中实现合理的灌溉技术。
- 3). 比起另一综合措施的自然条件来大大减少的风速。
- 4). 在大（专门）减少土壤蒸发等条件下增高土壤的肥力。

第二种综合是耕种看小麦时保持高度农业技术和高度的土壤肥力，而灌溉时则採用自流方法。

根据我们的研究，在第一种综合措施时，看小麦地的反射量平均采用和第二种综合相等，或较高于第二种综合5~10%的量。因此看小麦生长时期的反射計算值根据試驗材料可以採用佔太阳总辐射的20~21%。

根据这些材料，在第一种综合中有效辐射平均可以增加10~20%，也就是在看小麦生长时期計算有效辐射可採用佔太阳总辐射的34~35%。

值得指出，在第一种综合中蒸发面与空气的热交换量也是较之第二种综合所採用的值不同。在第一种综合中根据測驗，实际的蒸发量平均减小20%，而正的热交换量和第二种综合，但为同一收穫量情况下的数值比较則增加25~30%。

因此在計算看小麦生長期的需水量時空氣與蒸發的負的互交換量平均可採用為下：年降水量為350公厘時佔太陽總輻射的8~12%；年降水量為300公厘時佔太陽總輻射的10~14%；當年降水量為250公厘時則佔12~16%；而當降水量為200公厘時則佔太陽總輻射的16~20%。

根據試驗材料，看小麦三片時期正的熱交換量對所有的計算年代表現平均佔太陽總輻射的19~20%。

應該指出，所引用為所有的基本要素都是近似值，同時在確定防護林帶對需水量的影響時我們確定蒸發面與空氣的熱交換非常困難，

經發現，防護林帶間各不同點上交換係數求取最實際還可靠的材料單憑一些增減率規則是不夠的。所有的調查研究都指示，這時最適當的是用確定蒸面交換系數的有効方法，首先是用E.C. 梁平的公式。

根據我們的意見，比較濕熱地帶交換係數近似結果可以利用《增減率》的公式求得，但要根據下式測定所謂變動性常數 R_0 的動態。

$$R_0 = \frac{T_1}{\sum \frac{dT}{dz}} \quad (6)$$

式中 T_1 是溫度在平均値左右極小的變動，它的測定；例如

可用微慣性分及溫度計；

$\frac{dT}{dz}$ 是測定極小變動那一及的溫度增減率

z 是高度

是需水量和蒸發量總的計

算結果。

比较上面引用的苏联的平衡计算材料证明，在干燥区实行改造自然的计划时我们可以大大地减少着小额必需水量而不会损害高收穫量。

在灌溉定额方面还可以期望有更大的减小，因为除了减少必需水量外在乾燥地区实现改造自然计划时我们可依天然降水的利用系数大大增高。

这问题经研究证明，降水利用系数因此可从 $0.45 \sim 0.50$ 提高到 $0.60 \sim 0.62$ ，也就是提高 $25 \sim 30\%$ 。

根据引用的材料我们进行了必需水量和净灌溉定额的计算。这些计算的综合列在表2。计算必需水量和净灌溉定额时是用热平衡和水平衡的公式。计算必需水量的额外消耗量係根据公式(1)采用与佔总辐射量 $5 \sim 6\%$ 的热量相当的热量。

这里应包括从邻近非灌溉地段和在另外时间灌溉地段可能进入的少量热以及可能发生的蒸发水分的少量损失，后者是因蒸发水分向比较乾燥的地方也就是非灌溉土地或在另外时间灌溉的土地水平移动而引起的。所引用的系数同样也应考虑到由于在灌溉之后立即不合时宜地降水所引起额外蒸发的损失。

必需指出，採用佔太阳辐射 $5 \sim 6\%$ 的量只有在灌溉大面积时才有效，不是在灌溉小地段时。

在测定灌溉定额时我们较计算增加了 300 立方公尺/公顷的

表 2

按气候干燥程度来分列的年份	年降水量 (以公厘計)	含水量的保証率 (以%計)	太阳总辐射的計标量 Q_{Σ} (以瓦特/平方厘米計)	太阳总辐射中的有效辐射 $Q_{\Sigma}^{\prime}$ (以%計)	植物在光合作用过程中所吸收的能量 (以%計)	太阳总辐射中被土壤增温所耗的能量 (以%計)	太阳总辐射中蒸发面与土壤增温量 P_1 (以%計)	太阳总辐射中蒸发面与土壤增温量 P_2 (以%計)	总耗水过程中所消耗的 U (以公厘計)	必需水量 U (以公厘計)	年降水量的利用係数	计划中所利用的降水 (以公厘計)	等灌溉定额 (以公厘計)
中等年	350	50	45000	34~35	6~7	8~12	1.0	1.0	0.32~0.36	14400~16200	24.0~27.0	21.0	~600+ +300= =900
中等干旱年	100	25	46000	34~35	6~7	10~14	1.0	1.0	0.34~0.38	15600~17400	26.0~29.0	18.0	~1100+ +300= =400
干旱年	250	10	46500	34~35	6~7	12~16	2.0	1.0	0.35~0.39	16800~18600	27.0~31.0	15.0	~1250+ +300= =1750
严重干旱年	200	10.3	47000	34~35	6~7	16~20	2.5	1.0	0.39~0.43	18300~20200	31.0~34.0	12.0	~2100+ +300= =2400

耗水量用经验公式来能充分效应的根外追肥及凉爽灌溉，后者往往与沟灌灌溉和追肥灌溉同时进行。

由表2可看出，由于采用而定措施的结果，我们可以指望在降低总需水量及低的灌溉定额和低的耗水系数下获得看小麦显著的高收穫量。

根据计算指出，在实现改造干旱区域自然计划后，看小麦的总需水量可比那些已经改善农业技术和提高土壤肥力地上运用单田耕作系统初期的类型量减低27~30%，灌溉定额可以减低35~50%。

在这种情况下我们得到干旱年每灌溉定额的量为500~2400立方公尺/公顷，也就是大大低于一般的灌溉定额。

本文译自 Т. Н. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ: ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ОРОШЕНИИ В СТЕПНЫХ РАЙОНАХ СССР, ГИДРОТЕХНИКА И МЕЛИОРАЦИЯ 10, 1951, СТР 26~37.

北京水利科学研究院 顧毓青 译 褚德明 校。