

中国主要作物灌溉需水量空间分布特征

刘 钰¹, 汪 林¹, 倪广恒², 丛振涛²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100048; 2. 清华大学水利水电工程系, 北京 100084)

摘 要: 作物需水量和灌溉需水量的时空分布是科学地制定不同地区灌溉用水定额的依据。该文基于全国范围 200 多个气象站近 30 a 逐日的气象资料 and 不同地区作物生育阶段的调查统计资料, 采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 方法和作物系数法, 计算了 30 种作物的需水量和净灌溉需水量, 并用各地灌溉试验站的实测资料进行了检验。利用 GIS 的空间分析功能, 采用反距离加权插值法得到主要作物多年平均作物需水量与净灌溉需水量的等值线图。选择种植面积最广的小麦、玉米、棉花和水稻 4 种作物, 分析其作物需水量与净灌溉需水量的空间分布特征, 得到不同地区主要作物的灌溉需求指数。研究表明: 中国东北区、长江中下游区、华南区、川渝区和云贵区平均灌溉需求指数小于 0.5, 作物对灌溉的需求比较低; 华北区、蒙宁区和晋陕甘区旱作物 30%~50% 的需水靠灌溉补充, 水稻 55%~80% 的需水依靠灌溉; 新疆地区主要作物的灌溉需求指数均在 0.7 以上, 农业的发展完全依赖于灌溉。

关键词: 作物, 灌溉, 水资源, 参照腾发量, 作物需水量, 净灌溉需水量, 空间分布, 灌溉需求指数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.002

中图分类号: TV212.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0006-07

刘 钰, 汪 林, 倪广恒, 等. 中国主要作物灌溉需水量空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 6-12.

Liu Yu, Wang Lin, Ni Guangheng, et al. Spatial distribution characteristics of irrigation water requirement for main crops in China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 6-12. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

由于降雨时空分布不均, 中国大部分地区农业对灌溉的依赖性很大^[1]。中国水资源短缺的严峻形势对灌溉农业的发展提出了更高的要求, 即要在农业用水总量基本不增加的条件下提高农业综合生产能力, 建设节水、高效、防污的现代农业^[2]。实现这一目标的有效措施是实施农业用水的总量控制和定额管理, 核心问题是提高灌溉用水的效率和效益。科学的灌溉用水定额是衡量用水水平、挖掘节水潜力、考核节水成效的依据, 也是水资源科学规划、管理和调配的依据。

在 20 世纪 80 年代中期, 水利部曾组织全国各省区的 200 多个灌溉试验站, 对全国主要农作物的需水量与灌溉制度进行了试验研究, 并以这些试验数据为基础出版了《中国主要作物需水量与灌溉》专著^[3-4]。此后, 在南水北调规划项目中, 水利部农田灌溉研究所与中国水利水电科学研究院合作, 对北方地区 20 多种主要作物在不同典型年下的作物需水量和灌溉需水量进行了研究, 在积累大量基础数据的同时, 也为在全国范围内开展类似的研究积累了经验^[5]。

本文以全国水资源规划三级区为基本单元, 选取 200 多个气象站近 30 a 的资料, 采用 FAO 推荐的 Penman-

Monteith 方法计算了各研究区历年逐日的参照腾发量, 用作物系数法计算了主要作物的需水量和净灌溉需水量, 并用各地灌溉试验站的实测资料进行了检验。基于 GIS 的空间分析功能, 采用反距离加权插值法得到主要作物多年平均作物需水量与净灌溉需水量的分布图。选择种植面积最广的小麦、玉米、棉花和水稻 4 种作物, 分析其作物需水量与净灌溉需水量的空间分布特征, 得到不同地区的灌溉需求指数, 在此基础上分析中国不同地区不同作物对灌溉的依赖程度。

1 材料与方 法

1.1 研究分区与资料收集

以全国水资源规划的 214 个三级区为基本单元, 考虑农业和气象分区, 共划分了 216 个农业用水研究区(见图 1)。在每个研究区内选定一个典型气象站作为该区的代表点, 收集了 1970—2000 年逐日的气象资料, 包括降雨、日平均气温、日最高气温、日最低气温、风速、相对湿度、日照时数等。用计算机程序对所有气象数据进行了分析和整理, 包括相关分析、坏数剔除、缺失插补、变化趋势分析等^[6]。对各研究区内种植的作物类型、种植面积和生育阶段进行了调查统计, 并根据各研究区的水热条件和各种作物的生物学特性, 确定了不同区域不同作物的生育阶段划分。

1.2 作物需水量计算

作物需水量指作物在土壤水分和养分适宜、管理良好、生长正常、大面积高产条件下的棵间土面(或水面)蒸发量与植株蒸腾量之和。它是确定作物灌溉需水量的基础。作物需水量受土壤、作物、气候等多种因素影响。

收稿日期: 2008-03-03 修订日期: 2008-11-30

基金项目: 国家 973 计划课题(2006CB403405); 国家科技支撑计划项目(2006BAD11B08-4)

作者简介: 刘 钰(1955—), 女, 教授级高级工程师, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。北京 中国水利水电科学研究院, 100048。

Email: liuyu@iwhr.com

确定作物需水量的方法主要通过田间测定，也可采用理论计算的方法。本研究中采用作物系数法计算作物需水量^[1]，计算公式如下^[7]

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (1)$$

式中： ET_c ——作物需水量，mm； ET_0 ——参照腾发量，mm； K_c ——作物系数。

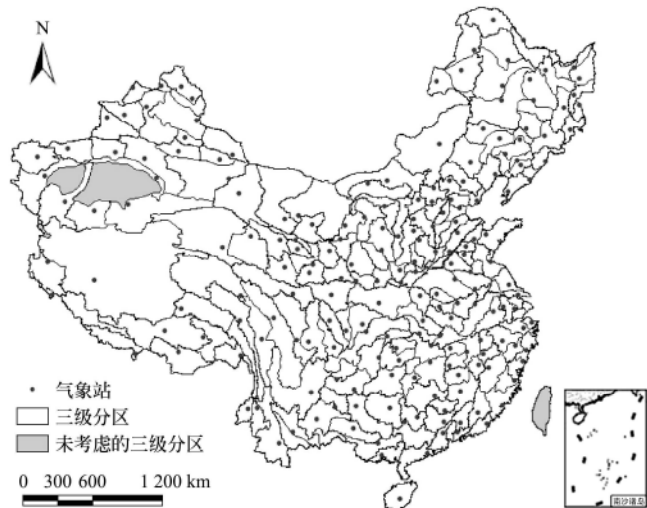


图 1 研究分区及典型气象站分布

Fig.1 Divisions of research area and distribution of the weather stations

1.2.1 参照腾发量计算

参照腾发量是某种标准参照作物的潜在蒸腾蒸发速率，采用国际粮农组织（FAO）推荐的彭曼-蒙蒂斯

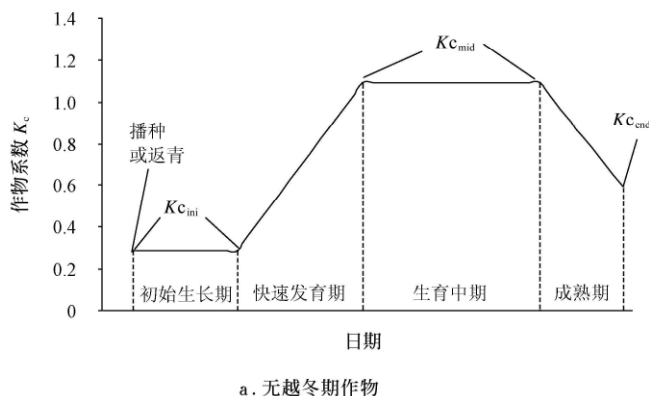
（Penman-Monteith）方法计算^[2]，计算公式如下^[8-9]

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

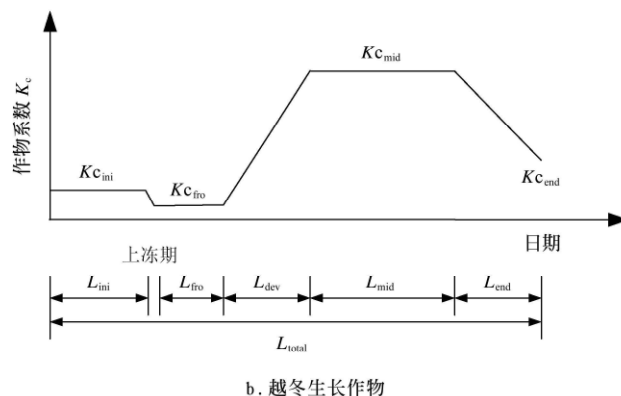
式中： R_n ——冠层表面净辐射，MJ/(m²·d)； G ——土壤热通量，MJ/(m²·d)； T ——平均气温，℃； e_s ——饱和水汽压，kPa； e_a ——实际水汽压，kPa； Δ ——饱和水汽压—气温关系曲线在 T 处的切线斜率，kPa/℃； γ ——湿度计常数，kPa/℃； U_2 ——2 m 高处的风速，m/s。

1.2.2 作物系数的确定

作物系数是某种作物的潜在腾发量与参照腾发量之比，它反映不同作物与参照作物的区别，是根据参照腾发量计算实际作物需水量的重要参数。作物系数受土壤、气候、作物生长状况和管理方式等多种因素影响，因此，不同作物的作物系数应根据当地的灌溉试验成果确定，需要逐时段（旬或月）的变化过程。对没有试验资料或试验资料不足的作物和地区，可以利用 FAO 推荐的 84 种作物的标准作物系数和修正公式，根据当地气候、土壤、作物和灌溉条件进行修正^[10]。FAO 推荐在规划中确定作物系数的方法为分段单值平均法，即把全生育期作物系数变化过程概化为在 4 个阶段的 3 个值（ $K_{c_{ini}}$ 、 $K_{c_{mid}}$ 、 $K_{c_{end}}$ ）。无越冬期作物的时段平均作物系数的变化过程如图 2a 所示^[11]。对有越冬期的作物，由于冬季表土冻结和作物休眠的缘故，期间作物系数很小，因此，需增加越冬期的作物系数 $K_{c_{fro}}$ 。图 2b 给出越冬生长作物的时段平均作物系数变化过程。



a. 无越冬期作物



b. 越冬生长作物

图 2 时段平均作物系数概化过程线

Fig.2 General curve of single crop coefficient

从 FAO-56 中查出各种作物在标准条件下的作物系数（所谓标准条件是指空气湿度约为 45%，风速约为 2m/s，供水充足，管理良好，生长正常，大面积高产的作物条件）。非标准条件按照下式对作物系进行修正：

$$Kc = Kc_{tab} + [0.04(U_2 - 2) - 0.04(RH_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (3)$$

式中： Kc_{tab} ——不同生育阶段标准条件下的作物系数（可从 FAO-56 的表中查出）； RH_{min} ——该生育阶段内日最低

相对湿度的平均值，%； h ——该生育阶段内作物的平均高度，m；其余符号含义同前。

用上述方法计算了全国 216 个研究区内 30 种主要作物的作物系数变化过程，图 3 为几种主要作物的作物系数计算值与灌溉试验站资料的对比，用 FAO 推荐的分段单值平均法计算得到作物系数与灌溉试验站实测值比较接近，说明该方法确定的作物系数用于水资源规划中的需水预测是可行的。

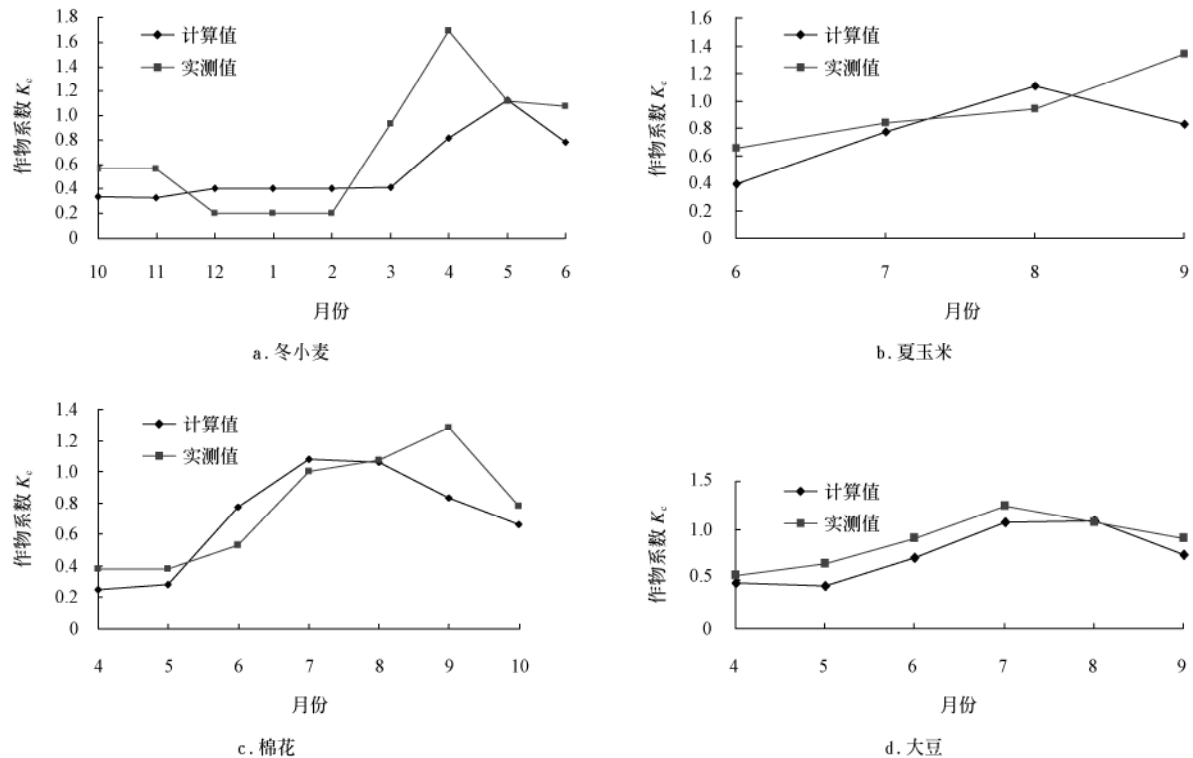


图3 几种主要作物的作物系数计算值与灌溉试验站实测值的对比

Fig. 3 Comparison of crop coefficient for main crops between calculated values and measured values from irrigation experiment stations

1.3 净灌溉需水量计算

作物需水量中的一部分可由降雨供给, 降雨供给不足的部分需由灌溉补充, 作物生长过程中需依靠灌溉补充的水量为作物的净灌溉需水量。某种作物的净灌溉需水量等于生育期内作物需水量与有效降雨量之差^[12], 即

$$IR = ET_c - P_e \quad (4)$$

式中: IR ——作物净灌溉需水量, mm; P_e ——作物生育期的有效降雨量, mm。

1.3.1 有效降雨量计算

作物生长期的有效降雨量指能够提供给作物蒸发蒸腾, 从而减少作物对灌溉水需求的雨量。对于旱作物, 有效降雨量指总降雨量中能够保存在作物根系层中用于满足作物蒸发蒸腾需要的那部分雨量, 不包括地表径流和渗漏至作物根系吸水层以下的部分^[13]。对于水田作物, 由于在各生育阶段均有其最大的适宜水层深度, 有效降水指总降水量中把田面水深补充到最大适宜深度的部分, 以及供作物蒸发蒸腾利用的部分和改善土壤环境的深层渗漏部分之和, 不包括形成地表径流和无效深层渗漏部分^[14]。影响有效降雨的主要因子有降雨强度、土壤质地及结构、地形及平整度、降水前的土壤含水率、作物种类及生育阶段、作物需水量、耕作措施和灌溉管理措施等。作物有效降雨量需逐时段(日、旬或月)计算, 由于不同作物需水量不同, 生长期内的降雨量和降雨分布也有很大差别, 因此, 降雨的有效利用比例也因作物不同而异。

实时计算作物生育期有效降雨量最准确的方法是时段水量平衡法。需逐时段(1~5 d)的降雨和腾发量, 且

要掌握时段初土壤储水量的实测值和最大储水量, 这在规划设计中是较难实现的。目前中国各地已总结出一些计算不同作物有效降雨量的检验公式, 但这些经验公式均需要率定出适合当地土质、作物等条件的计算参数, 通用性较差。研究表明, 作物有效降雨量的计算方法与计算时段长度的选取有关, 逐旬有效降雨量可采用以下简化方法计算^[15]

$$P_e = \begin{cases} P & P \leq ET_c \text{ 时} \\ ET_c & P > ET_c \text{ 时} \end{cases} \quad (5)$$

计算对比结果显示, 上述计算不同作物有效降雨量的简化方法用于以旬为时段的计算, 其精度能够满足规划和设计的要求。但当以日为计算时段时, 该方法计算的有效降雨量会过小, 而以月为计算时段时, 该方法计算的有效降雨量会偏大。本研究中有有效降雨量以旬为计算时段。

2 结果与分析

2.1 主要作物需水量与净灌溉需水量的空间分布特征

用上述方法计算了 216 个站点主要作物 30 a 逐日的作物需水量与逐旬的净灌溉需水量, 分别统计得到各站点各种作物的多年平均值, 用反距离加权插值法对各站点的多年平均值进行空间插值, 得到主要作物多年平均作物需水量与净灌溉需水量的空间分布(见图 4~8)。

对比全国不同地区主要作物多年平均作物需水量和净灌溉需水量, 总体上符合以下规律: 蒸腾蒸发量大的作物依次是水稻、棉花、甜菜、小麦和谷子; 灌溉需水量大的作物依次是水稻, 小麦、甜菜、棉花和薯类; 蒸腾蒸发

量和灌溉需水量均小的作物依次为大豆、花生和夏玉米。选择种植面积最广的小麦、玉米、棉花和水稻 4 种作物, 分析其作物需水量与净灌溉需水量的空间分布特征。

2.1.1 冬小麦

冬小麦种植区主要在河南、山东、河北、安徽、江苏、陕西、甘肃、新疆和山西等地, 全生育期需水量 200~550 mm, 从南向北逐渐增大 (图 4)。冬小麦生长期降雨相对较少, 且强度不大, 基本均为有效降雨量。由于降水量南高北低, 而需水量南低北高, 造成冬小麦净灌溉需水量由南向北递增, 高值区位于西部的新疆克拉玛依市和西藏阿里地区, 需补充灌溉水量 500~600 mm; 低值区位于淮河流域南部, 需补充灌溉水量 100~200 mm; 在黄淮海地区, 高值区位于由山东潍坊向西北延伸的德州、天津、保定、北京的条形带上, 需补充灌溉水量 350~400 mm, 向南北两侧递减。

2.1.2 玉米

玉米种植遍布全国各区, 夏玉米主要分布在华北与陕西关中、安徽省淮北平原等地, 这些地区光、热、水等资源较好, 适宜一年两熟制。春玉米横贯东北和西北。

夏玉米生长期一般为 6 月中旬至 9 月中旬, 生育期

为 90~100 d, 全生育期需水量 300~400 mm (图 5)。由于生长期短, 热量条件差异不大, 需水量在地区间差别较小。夏玉米整个生长期处于雨季, 是对灌溉依赖程度最弱的粮食作物, 灌溉水量在地区间差异也不显著, 由于降水时空分布不均匀, 补充灌溉水量随年型变化, 大部分地区需补充灌溉 1 水, 中等干旱和特殊干旱年需灌两水。

春玉米生长期一般为 4 月下旬、5 月中旬至 9 月中旬, 生育期为 125~140 d, 全生育期需水量 500~600 mm (图 6), 通常需比夏玉米多灌 1 水。灌溉需水量高值区位于三门峡地区, 向南北递减, 东北地区约 100~150 mm。

2.1.3 棉花

棉花主要分布在新疆、山东、河南、河北、湖南、江苏、安徽等地, 生长期较长, 从 4 月中下旬至 10 月中下旬, 全生育期需水量 500~800 mm (图 7), 从南向北逐渐增大。新疆一带需水量很高, 一般为 650~700 mm, 最高达 800 mm。灌溉需水量高值区位于新疆克拉玛依地区, 需补充灌溉水量 700~800 mm; 低值区位于华南地区广西东部及广东西部, 需补充灌溉水量 30~80 mm; 东部主产区灌溉水量一般在 200~300 mm。

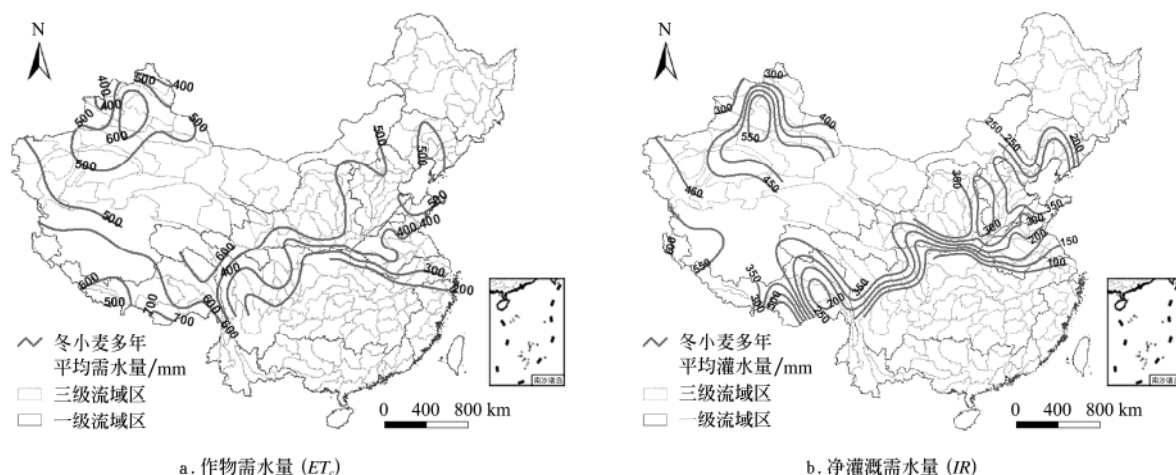


图 4 冬小麦多年平均需水量 (ET_c) 和净灌溉需水量 (IR) 等值线图

Fig.4 Isolines of mean annual ET_c and IR for winter wheat

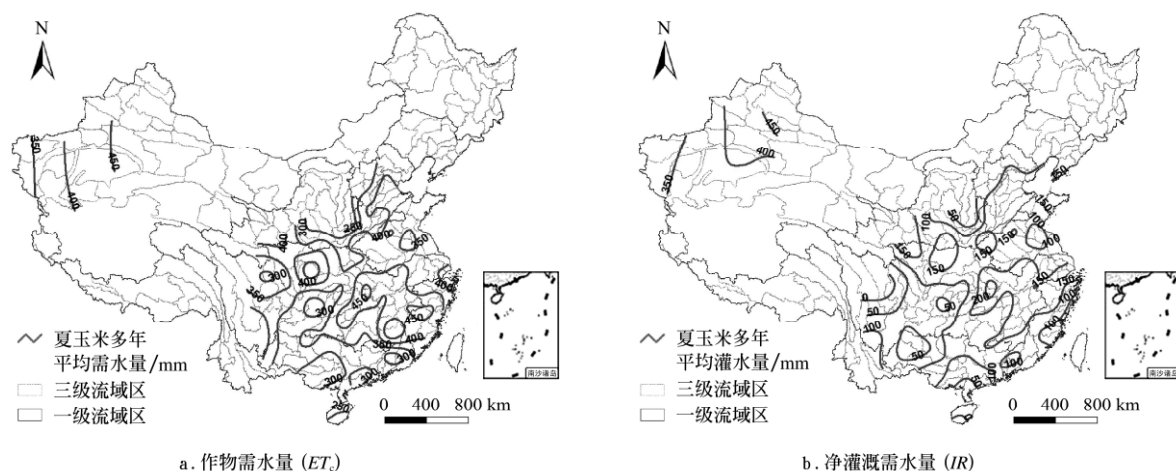


图 5 夏玉米多年平均需水量 (ET_c) 和净灌溉需水量 (IR) 等值线图

Fig.5 Isolines of mean annual ET_c and IR for summer maize

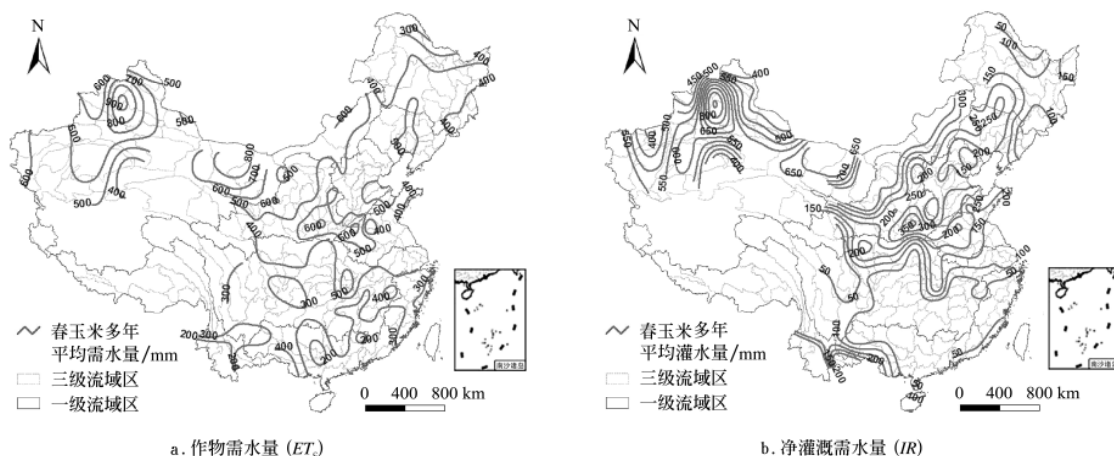


图 6 春玉米多年平均需水量 (ET_c) 和净灌溉需水量 (IR) 等值线图
Fig. 6 Isolines of mean annual ET_c and IR for spring maize

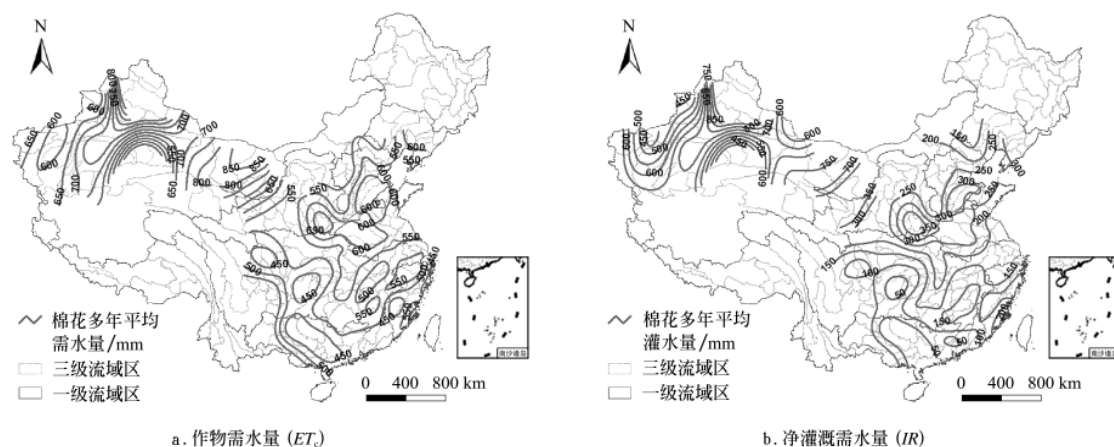


图 7 棉花多年平均需水量 (ET_c) 和净灌溉需水量 (IR) 等值线图
Fig. 7 Isolines of mean annual ET_c and IR for cotton

2.1.4 水稻

水稻主要分布在湖南、江西、广西、广东、安徽、江苏、四川和黑龙江等地，分为早稻、晚稻和中稻，早晚双季稻主要分布在中国中南和东南沿海地区，中稻主要分布在长江中下游平原、云贵高原、四川盆地、东北地区的三江平原和辽河平原。

中稻全生育期需水量，东北地区较低，在 300~

400 mm 之间，新疆一带最高，为 900~1 000 mm，黄淮海地区在 800~1 000 mm 之间；南方地区一般为 500~600 mm。中稻需补充灌溉水量由南向北递增，高值区位于新疆吐鲁番盆地和巴音郭楞蒙古自治州地区，需补充灌溉水量 850~900 mm；低值区位于华南地区的广西东部及广东西部，需补充灌溉水量 100~150 mm (图 8)。

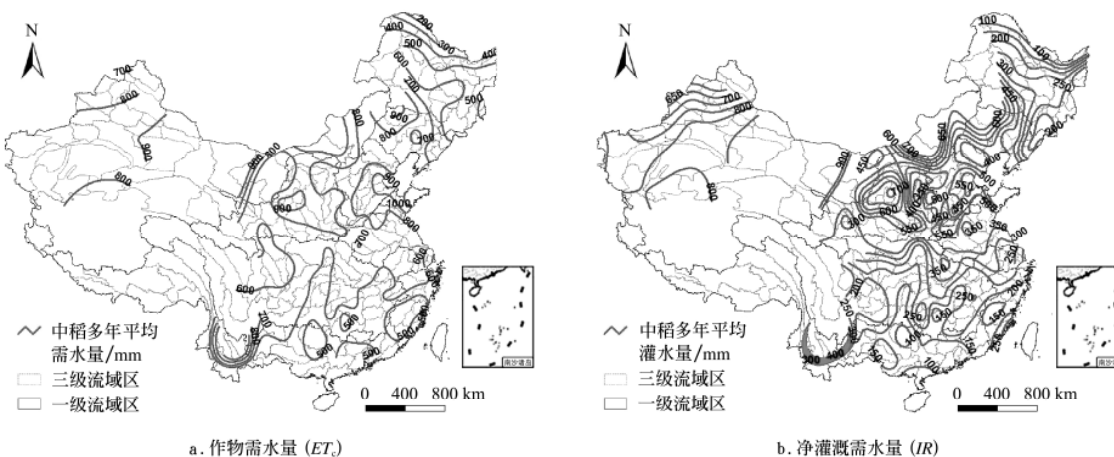


图 8 中季稻多年平均需水量 (ET_c) 和净灌溉需水量 (IR) 等值线图
Fig. 8 Isolines of mean annual ET_c and IR for rice

2.2 不同地区的灌溉需求指数

灌溉需求指数 (IR/ET_c) 指净灌溉需水量占作物需水量的比例, 反映不同地区作物生长对灌溉的依赖程度。对 216 个代表站点 30 a 平均的主要作物需水量和净灌溉需水量进行分析, 得到中国不同地区主要作物的灌溉需求指数, 见表 1。

表 1 不同地区主要作物多年平均灌溉需求指数 (IR/ET_c)
Table 1 Irrigation requirement indexes of main crops in different areas (IR/ET_c)

地区	行政区	作物	作物需水量 ET_c/mm	净灌溉需水量 IR/mm	灌溉需求指数 IR/ET_c
东北区	辽吉黑	中稻	250~750	80~450	0.25~0.55
		春玉米	200~500	10~220	0.05~0.45
		春小麦	250~450	100~300	0.30~0.65
华北区	京津冀豫鲁	中稻	700~950	300~650	0.50~0.70
		棉花	500~600	150~330	0.30~0.55
		春玉米	430~550	120~300	0.30~0.55
		夏玉米	230~400	100~150	0.20~0.45
		冬小麦	400~500	150~350	0.50~0.75
长江区	沪江浙鄂赣皖湘	晚稻	500~650	150~400	0.30~0.55
		中稻	500~800	150~420	0.25~0.50
		早稻	400~580	80~300	0.20~0.45
		棉花	450~620	50~300	0.15~0.45
		春玉米	250~550	0~200	0~0.40
		夏玉米	330~450	100~200	0.25~0.45
		晚稻	600~700	100~450	0.20~0.60
		中稻	450~570	90~250	0.25~0.45
		早稻	400~580	70~300	0.15~0.45
		棉花	450~520	30~180	0.05~0.35
华南区	闽粤广西琼	春玉米	200~400	0~120	0~0.35
		夏玉米	250~420	50~150	0~0.40
蒙宁区	蒙宁	中稻	750~1 100	400~950	0.60~0.95
		春玉米	400~670	200~650	0.50~0.90
		春小麦	350~600	130~530	0.35~0.85
晋陕甘	晋陕甘	中稻	600~1 000	200~900	0.50~0.9
		棉花	500~800	200~720	0.35~0.95
		春玉米	450~750	150~650	0.40~0.90
		夏玉米	250~450	50~180	0.30~0.50
		春小麦	350~570	100~550	0.40~0.95
川渝区	川渝	晚稻	450~550	120~200	0.25~0.35
		中稻	550~650	50~250	0.15~0.40
		早稻	400~500	50~200	0.20~0.50
		棉花	400~550	30~100	0.05~0.25
		春玉米	300~400	0~100	0~0.25
		夏玉米	300~450	0~120	0~0.25
		冬小麦	200~600	100~350	0.40~0.75
云贵区	云贵	晚稻	400~700	100~350	0.10~0.50
		中稻	550~950	100~500	0.25~0.50
		早稻	350~700	100~500	0.25~0.45
		春玉米	300~500	10~250	0.05~0.50
		夏玉米	300~450	20~100	0.05~0.25
青藏区	青藏	冬小麦	500~700	200~500	0.40~0.85
		春小麦	450~620	150~550	0.30~0.95
西北区	新疆	中稻	750~900	600~900	0.80~1.00
		棉花	450~1 000	400~900	0.80~1.00
		春玉米	400~900	400~800	0.75~0.95
		夏玉米	400~470	350~420	0.85~0.95
		冬小麦	400~600	300~500	0.65~0.95
		春小麦	350~620	300~550	0.75~1.00

按主要作物类型分析, 中稻多年平均灌溉需求指数在东北地区为 0.25~0.55, 华北平原为 0.50~0.70, 西北地区达到 0.6~0.95, 而南方地区一般小于 0.45; 冬小麦多年平均灌溉需求指数在 0.4~0.95 之间, 由东南向西北递增, 是除水稻外对灌溉需求最高的作物, 在新疆达到 0.65~0.95, 几乎完全依赖灌溉; 夏玉米多年平均灌溉需求指数除新疆地区外均小于 0.5, 是灌溉需求最小的粮食作物; 春玉米的灌溉需求指数大于夏玉米, 特别在西北地区均大于 0.5; 棉花多年平均灌溉需求指数大多小于 0.55, 只在甘肃和新疆达到 0.8 以上。

从灌溉需求指数的地区分布分析, 中国东北、长江中下游、华南、川渝和云贵区主要作物的灌溉需求指数平均小于 0.5, 旱作物的灌溉需求较低, 水稻灌溉需求指数在 0.25~0.60 之间, 适宜种植各类作物。在华北、蒙宁和晋陕甘区, 灌溉需求指数大多在 0.35~0.75 之间, 农作物对灌溉的需求比较高, 其中旱作物生育期需水的 30%~50% 靠灌溉补充, 水稻对灌溉的需求约占生育期需水量的 55%~80%。位于新疆地区主要作物的灌溉需求指数均在 0.7 以上, 灌溉是这一地区农业发展的必要条件。青藏区受地形的影响, 农作物对灌溉的需求由东南向西北递增, 灌溉需求指数差异较大。

3 结论与讨论

采用标准化的方法计算了全国 216 个研究区 30 种主要作物的需水量和净灌溉需水量, 利用 GIS 的空间分析功能得到主要作物多年平均作物需水量与净灌溉需水量的空间分布图, 由此得到以下分析结果:

1) 中国主要作物多年平均作物需水量大的作物依次是水稻、棉花和小麦; 灌溉需水量大的作物依次是水稻、小麦和棉花; 作物需水量和灌溉需水量均小的作物为夏玉米; 南方和东北的大部分地区正常年景旱田作物可不灌溉。

2) 中国东北、长江中下游、华南、川渝和云贵区的平均灌溉需求指数小于 0.5, 作物对灌溉的需求比较低; 华北、蒙宁和晋陕甘区灌溉需求指数大多在 0.35~0.75 之间, 旱作物 30%~50% 的需水靠灌溉补充, 水稻 55%~80% 的需水依靠灌溉; 新疆地区主要作物的灌溉需求指数均在 0.7 以上, 该地区农业的发展完全依赖于灌溉。

[参 考 文 献]

- [1] 中国农业百科全书农业气象卷编辑委员会. 中国农业百科全书农业气象卷[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [2] 崔读昌, 刘洪顺, 闵谨如. 中国主要农作物气候资源图集[M]. 北京: 气象出版社, 1984.
- [3] 陈玉民, 郭国双. 中国主要农作物需水量等值线图研究[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.
- [4] 陈玉民, 郭国双, 王广兴, 等. 中国主要作物需水量与灌溉[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1995.
- [5] 段爱旺, 孙景生, 刘钰, 等. 北方地区主要农作物灌溉用水定额[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.
- [6] 倪广恒, 李新红, 丛振涛, 等. 中国参考作物腾发量时空

- 变化特性分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 1—4.
- Ni Guangheng, Li Xinhong, Cong Zhentao, et al. Temporal and spatial characteristics of reference evapotranspiration in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(5): 1—4. (in Chinese with English abstract)
- [7] Allen R G, Smith M, Perrier A, et al. An update for the definition of reference evapotranspiration[J]. ICID Bulletin, 1994, 43(2): 1—34.
- [8] Allen R G, Smith M, Pereira L S, et al. An Update for the calculation of reference evapotranspiration[J]. ICID Bulletin, 1994, 43(2): 35—92.
- [9] 刘钰, Pereira L S, Teixeira J L, 等. 参照蒸发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997, 28(6): 27—33.
- Liu Yu, L S Pereira, J L Teixeira, et al. Update definition and computation of reference evapotranspiration comparison with former method[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997, 28(6): 27—33. (in Chinese with English abstract)
- [10] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56[M]. Rome: FAO, 1998.
- [11] 刘钰, Pereira L S. 对 FAO 推荐的作物系数计算方法的验证[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 26—30.
- Liu Yu, L S Pereira. Validation of FAO methods for estimation crop coefficients[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(5): 26—30. (in Chinese with English abstract)
- [12] Liu Y, Teixeira J L, Zhang H J, et al. Model validation and crop coefficients for irrigation scheduling in the North China Plain[J]. Agricultural Water Management, 1998, 36(3): 233—246.
- [13] 许迪, 蔡林根, 王少丽, 等. 农业持续发展的农田水土管理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [14] 许迪, 蔡林根, 茆智, 等. 引黄灌区节水决策技术应用研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [15] 刘钰, 蔡甲冰, 蔡林根, 等. 黄河下游灌区农田灌溉制度与供需平衡分析[J]. 水利学报, 2005, 36(6): 701—708.
- Liu Yu, Cai Jiabing, Cai Lingen et al Analysis of irrigation scheduling and water balance for an irrigation district at lower reaches of the Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(6): 701—708. (in Chinese with English abstract)

Spatial distribution characteristics of irrigation water requirement for main crops in China

Liu Yu¹, Wang Lin¹, Ni Guangheng², Cong Zhentao²

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

2. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Temporal and spatial distribution characteristics of crop water requirement and irrigation requirement are the bases for determining the irrigation quota in different areas. Based on the daily meteorological data over the past 30 years from more than 200 stations in China and the statistical data of crop growth stages from different areas, crop water requirement (ET_c) and net irrigation requirement (IR) of 30 kinds of crops were estimated by using FAO Penman-Monteith equation and crop coefficient method. The results were validated with the observed data from different irrigation stations in different areas. Isolines of the average ET_c and IR of main crops were obtained by GIS and IDW interpolation methods. The spatial distribution characteristics of ET_c and IR for wheat, maize, cotton and rice were analyzed, which were the most widely planted crops in China. The irrigation requirement indexes of main crops in different areas were obtained by IR/ET_c . Results revealed that mean irrigation requirement index in Northeast China, middle and lower reaches of the Yangtze River and South China were generally less than 0.5, and the crop irrigation water requirement in these areas was not high. In North China Plain, Inner Mongolia, Ningxia, Shanxi, Shaanxi and Gansu, 30%-50% of the crop water requirements depended on irrigation for dryland crops, 55%-80% of water consumption came from irrigation for rice. In Xinjiang Uygur Autonomous Region, the irrigation requirement indexes of main crops were over 0.7, and the development of agriculture relied entirely on irrigation.

Key words: crops, irrigation, water resources, reference evapotranspiration, crop water requirement, net irrigation water requirement, spatial distribution, irrigation requirement index