

ICS 编号

CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

水稻水足迹核算与评价技术规范

Technical specification for crop water footprint calculation and
evaluation in paddy field

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语	1
3.1 水稻水足迹相关术语	1
3.2 农田水肥运移相关的术语	2
3.3 作物水足迹核算相关术语	3
4 基础数据准备	3
4.1 数据收集与整理	3
4.2 基本资料复核评价	4
5 田块尺度水稻水足迹核算方法	5
5.1 基本要求	5
5.2 核算方法	5
6 灌区尺度水稻水足迹核算方法	6
6.1 基本要求	6
7 区域尺度水稻水足迹核算方法	7
7.1 基本要求	7
7.2 核算方法	7
8 水稻水足迹的整理、评价与对策	8
8.1 水稻水足迹核算结果整理	8
8.2 水稻水足迹评价	8
8.3 作物水足迹调控建议	9
9 水稻水足迹核算与评价报告	9
9.1 水足迹核算与评价报告内容	9
参考文献	10

前 言

【标准结构的说明】(注：水利行业标准和团体标准一般不分部分，所以本项不需要说明)

【标准编制所依据的起草规则】本标准按 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

【标准代全部或部分其他文件的说明】(注：水利行业标准和团体标准一般不分部分，所以本项不需要说明)

【与国际文件、国外文件关系说明】(注：水利行业标准和团体标准目前还不存在采标情况，所以本项不需要说明)

【有关专利的说明】请注意本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

【标准的提出(可省略)和归口信息】本标准由中国水利学会归口。

标准的起草单位：河海大学 西北农林科技大学 华中科技大学 江苏省水资源服务中心 天津大学 涟水县水利局

标准的主要起草人：操信春 吴普特 卓拉 高学睿 严冬 孙世坤 吴梦洋 赵鹏 王玉宝 王菊 韦诚 孙怀卫 刘静 汤树海 汪晶

【标准所代替标准的的历次版本发布情况】本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——
——

引 言

(注：引言为可选项，不是必需的)

【编制标准的原因（、目的、意义）】

【标准技术的特殊信息和说明】(例如，技术内容不能替代宣传教育、预防措施等)

【专利的声明】(如果已识别出某项标准涉及专利，则应在引言中给出专利的声明)

(注：水利行业标准或团体标准不应使用专利技术，故不需要本项)

【其他不宜放入前言的概述性内容】

水稻水足迹核算与评价技术规范

1 范围

本标准规定了水稻作物水足迹核算与评价方法。

本标准适用于田块、灌区及区域尺度水稻作物水足迹核算与评价。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

《用水定额编制技术导则》（GB/T 32716-2016）

《灌溉水利用率测定技术导则》（SL/Z 699-2015）

《环境管理水足迹原则、要求与指南》（GB/T 33859—2017）

《水资源水量监测技术导则》（SL 365-2015）

《农田排水试验规范》（SL 109-2015）

《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）

3 术语

3.1 水稻水足迹相关术语

水足迹 water footprint

水足迹是消费者或生产者直接和间接使用水资源的衡量指标。个人、社群或企业水足迹定义为个人、社群或企业生产产品和服务所消耗的总水资源量。

作物水足迹 crop water footprint

作物生育期内所消耗和污染的总水资源量，分为蓝水足迹、绿水足迹和灰水足迹。

绿水足迹 green water footprint

作物生育期内以蒸散发形式消耗的水量中来自降水的部分。

注：绿水足迹尤其与农林产品密切相关（作物产品或林木产品），这些产品的绿水足迹指雨水总蒸散量（来自田地或植被），加上储存在作物或林木内的水分。

蓝水足迹 blue water footprint

作物生育期内以蒸散发形式消耗的水量中来自地表水或地下水的部分。

注：消耗是指淡水使用后蒸发或进入产品以及从一个流域取水然后回流到另一个流域或者海洋中，即从流域地表水或地下水中抽取的水没有回流到该流域。

灰水足迹 grey water footprint

以自然本底浓度和现有的环境水质标准为基准，将一定的污染负荷吸收同化所需的淡水的体积。

自然本底浓度 natural concentration

作物生产水足迹 water footprint of crop production

在作物生产过程中消耗的水资源类型和数量。常用生产单位作物产品消耗的水资源类型和数量表达，单位为 m^3/kg 或 m^3/t 。

产品水足迹 water footprint of product production

生产产品（商品、产品或服务）所使用的总淡水量，涵盖供应链的所有过程。

注：产品水足迹不仅涉及使用的水量，而且涉及用水的时间和地点。

地理区域内水足迹 water footprint within a geographically delineated area

该地理区域界线内消耗和污染的总淡水资源量。

注：这个区域可以是水文单元，如流域，也可以是行政单元，如市、省或者国家。

水足迹评价 water footprint assessment

编制作物水足迹清单，分析作物生产用水效率，并评估其潜在水资源和环境影响。

3.2 农田水肥运移相关的术语**作物需水量 crop water requirement**

在特定气候条件下，当降水或灌溉足以保证土壤充足的水分，不会因水分限制而影响作物生长或作物产量情况下，一种作物从种植到收获所需要的蒸散发量。

灌溉需水量 irrigation requirement

满足作物正常生长所需的不包括降水的水量。换言之，即灌溉水量。它包括在给定条件下土壤蒸发和一些不可避免的损失，常常以水深（mm）来表示，以月、季度、年或者作物生长期进行衡量。

有效降水 effective precipitation

作物生育期（包含泡田期）进入农田获土壤、能够以蒸发蒸腾形式消耗的降水量，常以水层升度（mm）表示。

田间灌溉用水量 field irrigation water use

特定灌溉模式下，全生育期内实际进入田间的灌溉水量。

田间耗水量 field water consumption

作物全耕作期（包括泡田）消耗的水量，以 mm 或 $\text{m}^3/\text{亩}$ 计。对雨养田块，作物田间耗水量即作物需水量（3.2.1）；对于灌溉田块，为作物需水量与渗漏量之和。

作物产量 crop yield

单位面积收获的作物重量。

排水量 water drainage

由农田排出的水资源量，分为地上排水和地下排水两个部分。

化肥淋溶率 Leaching rate of fertilizer

随排水离开农田的化肥量占总化肥施加量的比例（%）。

水分生产率 water productivity

单位水资源量所获得的作物产量或产值，单位为 kg/m^3 或 $\text{元}/\text{m}^3$ 。

3.3 作物水足迹核算相关术语

数学模型 mathematical model

参照某种事物系统的特征或数量依存关系,采用数学语言,概括地或近似地表述出的一种数学结构,这种数学结构是借助于数学符号刻画出来的某种系统的纯关系结构。

作物生长模型 crop growth model

根据气象、土壤条件以及作物栽培管理措施,定量描述作物生长、发育、籽粒形成及产量等动态过程的模型。

水文模型 hydrological model

用模拟方法将复杂的水文现象和过程经概化所给出的近似的科学模型。

注:按模拟方式分为水文物理模型(实体模型、比尺模型)和水文数学模型两种基本类型。

遥感 remote sensing

非接触的,远距离的探测技术。

水文遥感 hydrological remote sensing

在空中或远处利用传感器收集水体和周围环境的电磁波辐射,经过加工处理,使这种信息成为可识别的数据或影像,通过分析,显示水体分布,反映水文现象的时空变化。

4 基础数据准备

4.1 数据收集与整理

4.1.1 田块尺度水稻作物水足迹核算与评价数据准备。田块是农业用水过程和效率评价的最基本单元,田块尺度水稻作物水足迹核算与评价数据准备所需要的数据主要来源于气象数据和现场观察资料,具体包括以下几类:

1 田块基本资料,应包括田块的尺寸、地理位置、气候类型等自然地理要素,灌溉排水条件、设施、布置形式以及灌水方式等信息。

2 土壤参数,应包括土壤质地、饱和含水率、导水率、土壤总氮和总磷含量等。

3 气象数据,应包括日降水量数。

4 农艺参数,包括水稻泡田期长、种植日期、收获日期、产量、分生育期划分与长度、施肥种类、施肥量和施肥时间等数据

5 灌溉排水参数,包括泡田用水量(定额)、灌水时间、灌水定额、灌溉定额、排水时间、地上和地下排水量等数据。

6 当地农业与水资源数据,包括主要农作物播种面积、产量、农业用水量、总用水量、灌溉水利用系数等。

7 水环境质量相关参数,包括环境水质标准(应采用本地或国家法规规定的标准)、受纳水体的自然本底浓度(对于自然水体,可假设其自然本底浓度等于实际浓度,因此采用河流附近测量站长期测量的日或月的平均值)、受纳水体的实际浓度等。

4.1.2 灌区尺度水稻作物水足迹核算与评价数据准备。灌区是相对独立的用水系统,灌区尺度灌溉作物水足迹评价所需要的数据主要来源于统计资料和调查试验资料,具体

包括以下几类资料：

1 灌区概况资料，应包括灌区的地理位置、地形、地貌、地质、土壤、植被、气候等自然地理资料，灌区村镇、人口等社会情况，以及灌排工程体系、灌溉水源、灌溉方法、灌溉面积等资料。

2 气象数据，应包括灌区最高气温、最低气温、相对湿度、风速、日照时数、降水量等参数。

3 水稻种植数据，生育期、播种面积、产量、灌水时间、灌水定额、施肥种类、施肥量和施肥时间等作物管理操作数据。

4 灌区灌溉排水资料，灌溉用水量、总排干排水量、排水中总氮含量、渠系水利用系数、田间水利用系数等来源于灌区管理年报、与灌区相关市（县）的水资源公报等资料的水文数据。

5 灌溉试验资料，包括灌区水稻需水量、水面蒸发量、降水有效利用率、地下水补给率等数据。

6 水环境质量相关参数，包括环境水质标准（应采用本地或国家法规规定的标准）、受纳水体的自然本底浓度（对于自然水体，可假设其自然本底浓度等于实际浓度，因此采用河流附近测量站长期测量的日或月的平均值）、受纳水体的实际浓度等。

4.1.3 区域尺度水稻作物水足迹核算与评价基本数据准备，主要包括以下几类资料：

1 气候数据，应使用离田地最近的、最具代表性的或在农田生产区域的气象观测站的气象数据。所需气象数据包括日或月步长的降雨量、CO₂浓度、太阳、最高温度、最低温度、相对湿度、风速、日照时数、辐射强度。

2 作物参数，作物参数数据应采用本地数据。所需作物参数包括品种、种植密度、叶面积指数、播种日期、收获日期、生育期、收获指数等。

3 作物生产数据，包括最新的精度较高的作物种植分布数据、播种面积以及作物单产和总产数据。产量数据应从当地获取满足需求的空间分布数据。使用产量数据时，应了解获得的产量数据的测量方式（如测量的作物的部位，干重或鲜重）。

4 土壤数据，所需土壤数据有土壤质地、土层厚度、土壤容重、土壤含水量数据。

5 灌溉数据，应包括灌溉面积比例、灌溉定额、灌溉频率和灌溉水利用系数。

6 化肥施用数据，应包括单位面积折纯的氮肥施用量和淋溶率。

7 杀虫剂使用数据，包括使用的药品名称、用量和频率。

8 水环境质量相关参数，包括环境水质标准（应采用本地或国家法规规定的标准）、受纳水体的自然本底浓度（对于自然水体，可假设其自然本底浓度等于实际浓度，因此采用河流附近测量站长期测量的日或月的平均值）、受纳水体的实际浓度等。

4.2 基本资料复核评价

4.2.1 田块、灌区及区域尺度水稻作物水足迹评价基本资料包括统计资料及调查试验资料。

4.2.2 统计资料，主要来自于国家及地方政府发布的年鉴、公报数据。对统计资料应查明其来源和精度，进行系统整理；对重要气象、农业生产和水文数据应进行重点复核；对有明显错误或存在偏差的资料数据，予以改正，同时应对资料的可靠性做出评价。

4.2.3 调查资料应在研究区进行实地走访调查，了解当地灌溉及农作物生产情况。

5 田块尺度水稻水足迹核算方法

5.1 基本要求

5.1.1 水稻作物水足迹计算与评价应采用典型田块单位面积产量，田间灌溉水和降水的水量平衡参数，化肥淋失量，渠道蒸散量等实测数据或统计数据进行。

5.1.2 具有完整灌排系统的田块单元可不局限于田块本身，考虑灌排系统水资源消耗和化肥淋溶有利于水稻作物水足迹描述。

5.2 核算方法

5.2.1 对收集的典型田块或灌溉排水单元数据进行整理和分析，以确定不同时间的水稻生长参数，灌溉水、降水利用参数，灰水足迹决定参数等。

5.2.2 水量平衡基本数据要求：获取计算对象作物生育期、作物单产 Y 、逐日田面水层深度 S ，历次由渠道进入田间的灌溉水量 $IRR_{[t]}$ ，历次排水量 D ，历次降水量 $PR_{[t]}$ ，灌溉水利用系数 U_i ，灌溉渠道水面蒸发系数 α ，作物种植区域二类水质的总氮含量标准 $C_{min,N}$ 、总磷含量标准 $C_{min,p}$ ，以及作物生育期内作物生育期内逐日田间渗漏量 $PERC_{[t]}$ 。

5.2.3 氮磷平衡基本数据要求：水稻生育期化肥施用量中总氮含量 F_N ，生育期化肥施用量中总磷含量 F_P ，水稻生育期始末土壤总氮含量的变化量 ΔS_N ，水稻生育期始末土壤总磷含量的变化量 ΔS_P ，水稻植株体内吸收的总氮量 AS_N ，水稻植株体内吸收的总磷量 AS_P ，水稻生育期内排水中总氮含量 $RO_{N,[t]}$ ，水稻生育期内排水中总磷含量 $RO_{P,[t]}$ ，水稻生育期内渗漏水总氮含量 $DP_{N,[t]}$ ，水稻生育期内渗漏水总磷含量 $DP_{P,[t]}$ 。

5.2.4 水足迹核算总体流程：确定计算对象，然后获取作物生长过程中涉及的参数，如作物生育期、降水量、作物单产、灌溉用水量等；测算田间作物蒸发蒸腾量，计算作物蓝水足迹和绿水足迹；测算总氮和总磷的流失量；考虑水质标准和排放水资源中的总氮、总磷浓度计算使排放水达到可接受程度所需要的稀释水量，为作物灰水足迹；利用蓝水、绿水、灰水足迹和作物单产计算核算对象的作物生产蓝、绿及灰水足迹。

5.2.5 作物水足迹计算具体过程

选定计算对象和步长（单位时段长度）是作物生产灰水足迹量化的首要工作。与水稻生产设施和作物生长规律相对应，可以选择田块、“渠-田-沟”系统为对象，以日、固定天数、分生育期或全生育期为步长计算。在此基础上计算作物水足迹（CWF），CWF 包含蓝水足迹（ CWF_{blue} ）、绿水足迹（ CWF_{green} ）和灰水足迹（ CWF_{grey} ）：

$$CWF = CWF_{blue} + CWF_{green} + CWF_{grey} \quad (5.2.5-1)$$

CWF_{blue} 和 CWF_{green} 为以蒸发蒸腾形式消耗而不能被灌溉区域作物再次利用的灌溉水和降水量， CWF_{grey} 为稀释农田或沟道排向上一级沟道的水体达到环境排放标准所需要的水资源量。计算过程包括如下步骤：

作物生产蓝水足迹 CWF_{blue} ，作物生产作物绿水足迹 CWF_{green} 和作物生产作物灰水足迹 CWF_{grey} 获取途径：

$$CWF_{blue} = \sum_{t=1}^T (ET_{I[t]} + E_{I[t]}) \quad (5.2.5-2)$$

$$CWF_{green} = \sum_{t=1}^T (ET_{P[t]} + E_{P[t]}) \quad (5.2.5-3)$$

$$CWF_{grey} = \frac{\sum_{t=1}^T (C_{N[t]}^S \times V_{N[t]}^S + C_{N[t]}^G \times V_{N[t]}^G)}{(C_m - C_n)} \quad (5.2.5-4)$$

CWF 的其组成的单位为 mm 或 m^3 ； $ET_{I[t]}$ 、 $ET_{P[t]}$ 分别为核算时段内第 t 时段田间灌溉水和降水资源的蒸散量； $E_{I[t]}$ 、 $E_{P[t]}$ 分别为核算时段内第时段天沟渠灌溉水和降水资源的

蒸发量； T 表示核算时段的总天数； $C_{N[t]}^s$ 和 $C_{N[t]}^g$ 分别为第 t 时段地表排水与深层渗漏中氮

（或磷）浓度， mg/l ； $V_{N[t]}^s$ 和 $V_{N[t]}^g$ 分别为第 t 时段地表排水与深层渗漏水量， mm 或 m^3 ；

C_m 为环境最大容许浓度， mg/l ，由相关水质标准获得； C_n 为污染物自然界本底浓度， mg/l 。可计算单位产出水足迹 WFP ：

$$WFP = CWF/OP \quad (5.2.5-5)$$

式中的 OP 为水稻总产出，一般为产量，也可是能量、价值及淀粉含量等，因此 WFP 单位可以是 m^3/J 、 $\text{m}^3/\text{元}$ 或 m^3/kg ，用以反映水足迹的产出能力。

5.2.6 田间蓝绿水足迹划分

基于田间水量平衡进行蓝绿水足迹划分：

$$F_t = F_{t-1} + P_t + I_t - ET_t - RO_t - DP_t \quad (5.2.5-6)$$

t 、 $t-1$ 表示观察时段末和前一时段末； F 、 P 、 I 、 ET 、 RO 和 DP 分别为田间水量、降水量、灌溉水量、排水量及深层渗漏量， mm 。按该时段降水与灌水对田间水分平衡各要素的贡献比例来获取田间蓝绿水足迹：

$$\begin{cases} F_t^b = F_{t-1}^b + (P_t + I_t - RO_t) \times \frac{I_t}{P_t + I_t} - (DP_t + ET_t) \times \frac{F_{t-1}^b}{F_{t-1}} \\ F_t^g = F_{t-1}^g + (P_t + I_t - RO_t) \times \frac{P_t}{P_t + I_t} - (DP_t + ET_t) \times \frac{F_{t-1}^g}{F_{t-1}} \end{cases} \quad (5.2.5-7)$$

5.2.7 灰水足迹确定

污染物并非直接排出农田，而是由于经排水和深层渗漏过程以溶液的形式进入自然水体。灰水足迹由两部分组成：

$$CWF_{\text{grey}} = DWR + LWR \quad (5.2.5-8)$$

DWR 和 LWR 分别对应地上和地下排水需要的稀释水量。作物生育期总 DWR 或 LWR 均为各步长内计算值之和，即：

$$DWR_N = \sum_{i=1}^n \left[\max \left(\frac{TNL_{i,sur}}{C_{max}} - DRA_i, 0 \right) \right] \quad (5.2.5-9)$$

$$LWR_N = \sum_{i=1}^n \left[\max \left(\frac{TNL_{i,und}}{C_{max}} - LEA_i, 0 \right) \right] \quad (5.2.5-10)$$

n 代表整个生育期划分的步长数量； $TNL_{i,sur}$ 和 $TNL_{i,und}$ 表示各时段地上和地下排水中总氮（ TN ）淋失量， kg/ha ； DRA_i 和 LEA_i 表示各时段地上排水量和逐日地下排水量， m^3 ； C_{max} 为污染物最大容许浓度（ mg/l ）。

对于以磷为污染物的稀释水需求，也分别可以按上述方法得到地上、地下稀释水需求量 DWR_p 和 LWR_p 。对于整个水稻生产系统，地上和地下稀释水需求量分别为：

$$DWR = \max(DWR_N, DWR_p) \quad (5.2.5-11)$$

$$LWR = \max(LWR_N, LWR_p) \quad (5.2.5-12)$$

6 灌区尺度水稻水足迹核算方法

6.1 基本要求

6.1.1 灌区是指有可靠水源和引、输、配水渠道系统和相应排水沟道的灌溉面积。

6.1.2 灌区水稻水足迹的计算适用于灌溉水通过渠道或管道形式从水源引输水进入田间的灌区。

6.1.3 灌区作物水足迹计算所需的作物单位面积产量应为灌区内该作物的平均产量。

6.1.4 灌区作物水足迹计算所需的绿水消耗量，应是该作物生育期内消耗的绿水量。蓝

水消耗量应是该作物在整个计算时期内消耗的蓝水量，包含 3 部分：渠系引输水产生的输水损失量，作物田间消耗的灌溉水量，作物利用的浅层地下水量。

6.1.5 数据需求。。

6.2 核算方法

灌区尺度水稻水足迹的计算应按下列要求进行：

作物水足迹表达同公式 (5.2.5-1)，其中：

$$CWF_{green} = Q_p \quad (6.2.2-1)$$

$$CWF_{blue} = Q_i + Q_c + Q_d \quad (6.2.2-2)$$

$$CWF_{grey} = \frac{\alpha \times M}{c_{max} - c_{nat}} \quad (6.2.2-3)$$

式中： Q_p 为作物消耗的降水量， m^3 ； Q_i 为作物消耗灌溉水量， m^3 ； Q_c 为渠系输水损失量， m^3 ； Q_d 为作物利用的浅层地下水量， m^3 ； α 为氮肥淋溶率，无实测数据可假设为 10%； M 为氮肥使用量， kg ； c_{max} 为水体允许的最大污染物浓度， mg/L ； c_{nat} 为自然本底浓度， mg/L 。其中：

$$Q_i = ET_a - Q_p \quad (6.2.2-4)$$

$$Q_c = I_t - I_i \quad (6.2.2-5)$$

ET_a 为作物的实际蒸散发， m^3 ； I_t 为灌溉引水量， m^3 ； I_i 为田间实际灌水量， m^3 。

7 区域尺度水稻水足迹核算方法

7.1 基本要求

7.1.1 区域尺度作物绿水足迹应由生育期的有效降水量与相应播种面积相乘得到，当有效降水量大于同期作物需水量时，应将有效降水量换成作物需水量。

7.1.2 区域尺度作物蓝水足迹应由单位灌溉面积用水量和农作物灌溉面积相乘得到。

7.1.3 据需求，本标准宜采用统计数据计算区域蓝、绿水消耗，具体请参考数据准备。

7.2 核算方法

7.2.1 界定区域尺度农作物水足迹计算的区域及时期。

7.2.2 区域尺度水稻水足迹的计算应按下列要求进行：

1 作物水足迹表达同公式 (5.2.5-1)，作物灰水足迹的计算公式同式 (6.2.2-3)，作物绿水足迹应按公式 (7.2.2-1) 计算：

$$CWF_{green} = \frac{10 \times \min(ET_c, P_e) \times S}{\lambda} \quad (7.2.2-1)$$

式中的 ET_c 为作物需水量，利用经验公式计算， mm ； P_e 为作物生育期有效降水量总量， mm ； S 为作物播种面积， hm^2 ； λ —区域的水稻复种指数。其中：

$$\text{当 } P < 83 \quad P_{e0} = \frac{P(4.17 - 0.02P)}{4.17} \quad (7.2.2-2)$$

$$\text{当 } P \geq 83 \quad P_{e0} = 41.7 + 0.1P \quad (7.2.2-3)$$

式中的 P 和 P_{e0} 分别为作物生育期内的旬降水量与旬有效降水量， mm 。

2 区域尺度作物蓝水足迹应按公式 (7.2.2-4) 计算：

$$CWF_{blue} = IR \times S_{IR} \quad (7.2.2-4)$$

式中 WF_{blue} 为区域尺度作物生长过程中的蓝水消耗量， m^3 ； IR 为农作物单位面积灌溉用水量， mm ； S_{IR} 为区域农作物灌溉面积，数据不足时可用有效灌溉面积替代， hm^2 。

8 水稻水足迹的整理、评价与对策

8.1 水稻水足迹核算结果整理

8.1.1 作物水足迹的精准河段是应用于区域农业水资源管理的基础。

8.1.2 作物水足迹受气候变化和农田管理措施影响显著，具有广泛的时空变异性，不同时空条件下特定作物的水足迹值存在较大差异。

8.1.3 目前就不同地理尺度下作物水足迹进行了大量评估，涉及全球、国家、省级、流域和灌区等不同尺度。时间维度也从单个年份、多年均值到多个时间序列不等。

8.2 水稻水足迹评价

8.2.1 基本概述

1 作物水足迹是一个农业水资源消耗评价指标和工具，其中农业蓝水足迹和农业绿水足迹分别表征了农业生产对人类取水与降水量的占用情况，蓝水与绿水足迹所产生的影响和成本有非常明显的差异，而农业灰水足迹评价则更明确地反映了农业生产对环境的影响程度。

2 水足迹理论从区域到产品尺度，为农业水资源高效利用研究提供了新思路。反之，农业水资源的优化利用对降低人类水足迹具有重要意义。而降低人类水足迹以实现水资源的可持续利用，正是水足迹理论研究的应用目标。

3 水足迹指标综合考虑了水资源类型（绿水、蓝水和灰水）和数量，因此可以综合评价旱作与灌溉农业的水资源利用效率，有效统一了不同农业生产模式的用水效率评价指标。

4 作物水足迹是虚拟水流动量化的基础，该指标为进行农业用水效率评价、虚拟水流动分析及农业水管理提供了一个有效的工具。

5 作物水足迹作为农业水足迹和虚拟水研究的基础，其科学合理的量化是将水足迹应用于水资源管理的前提。

6 作物水足迹的评价应包括用水效率评价、可靠性评价、敏感性和不确定性分析以及可持续性评价。

8.2.2 用水效率评价

- 1 水资源耗用总量评价；
- 2 蓝、绿水资源有效利用程度评价；
- 3 蓝、绿水资源产出能力评价；
- 4 农业用水效率综合评价。

8.2.3 可靠性评价应从以下几个方面展开：

- 1 不同模型模拟的结果的可靠性评价；
- 2 不同区域作物水足迹的空间可靠性评价；
- 3 不同量化方法的可靠性评价；
- 4 与以往调研成果比对分析以及多方法交叉验证等手段评价水足迹量化结果的可靠性。

8.2.4 敏感性评价

1 敏感性是表征一个或几个自变量因子发生变化时，对因变量影响程度的定量参数评估。敏感性分析有助于把后续数据处理限定在对水足迹评价研究目的确有显著影响的输入和输出的数据范围内。

2 通过对作物水足迹进行敏感性分析，可以：

- 1) 排除对研究结果无显著影响的输入和输出；
- 2) 纳入具有潜在显著影响的新的单元过程及输入和输出。
- 3 目前，作物水足迹敏感性分析宜采用 OTA (one-at-a-time)。OTA 法是一种简单但实

用的敏感性分析方法，通过改变准则因子的相关数据来评估因变量对自变量输入值变化的响应。

8.2.5 不确定性评价

1 作物水足迹的量化过程中，因为数据的可用性和精度等原因，通常需要做一些假设，如对建模方法、参数值和输入变量的数据集的大量假设和估计，或者由于统计数据本身存在着一定的误差和不确定性，从而导致量化结果带有很大的不确定性。

2 在作物水足迹评价中应充分考虑核算过程中不确定性的产生和传递路径，明晰影响不确定性的关键因素和过程，进而提升水足迹核算结果的可靠性及准确度。

3 目前，常用的作物水足迹不确定性评价方法，有定性的讨论分析，定量方法包括蒙特卡罗模拟方法在作物水足迹不确定性评价中的应用。

8.2.6 水足迹可持续性评价

1 蓝水资源利用可持续性评价；

2 绿水资源有效利用可持续性评价；

3 广义水资源可持续评价；

4 农业环境可持续评价；

8.3 作物水足迹调控建议

对农业水足迹与农业生产先进地区存在差距的区域，宜根据其原因提出相应的调控建议，包括但不限于以下：

1 提高农业生产用水效率，推进农业节水设备使用，提高灌溉水平，减少灌溉过程损失；

2 合理规划区域农作物种植规模，以水定产，确保区域灌溉用水不超过其水资源承载力；

3 提高农作物单产水平，推广高产品种，普及高产技术，推进农业生产集约化进程；

4 调整区域农业生产结构，扩大优势、特色农作物种植规模，优化地区作物适水程度，推进区域协调发展。

9 水稻水足迹核算与评价报告

9.1 水足迹核算与评价报告内容

在完成作物水足迹的核算与评价后，应对水足迹的计算与评价进行汇总，得到水稻作物水足迹核算与评价报告，报告包括但不限于以下内容：

1 简介

2 背景与目的

3 对象与过程

4 方法

5 数据

6 水足迹核算结果

7 水足迹评价

8 水足迹调控建议

参考文献

- [1] Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, et al. The water footprint assessment manual: setting the global standard[M]. Earthscan London, 2011, London
- [2] 吴普特, 孙世坤, 王玉宝, 等. 作物生产水足迹量化方法与评价研究[J]. 水利学报, 2017, 48(6): 25-34, 43.
- [3] 操信春, 任杰, 吴梦洋, 等. 基于水足迹的中国农业用水效果评价[J]. 农业工程学报, 2018, 34(5): 1-8.
- [4] 操信春, 崔思梦, 吴梦洋, 等. 水足迹框架下稻田水资源利用效率综合评价[J]. 水利学报, 2020, 51(10):1189-1198.
-