

# 团体标准

T/CAGDRS XX—2025

## 基于光能利用率模型的主要粮食作物产量 遥感监测技术规范

Technical specifications for remote sensing monitoring of major grain crop yield  
based on the light use efficiency model

征求意见稿

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施



中国农业绿色发展研究会 发布



目 次

前言..... 错误!未定义书签。

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 缩略语 ..... 2

5 基本要求 ..... 3

6 监测流程 ..... 3

7 数据获取与处理 ..... 4

8 模型构建与精度验证 ..... 5

9 专题图制作与报告编写 ..... 9

附 录 A （资料性）不同植被类型 VPM 模型的 $T_{min}$ 、 $T_{max}$ 和 $T_{opt}$ 取值..... 11

附 录 B （资料性）基于光能利用率模型的主要粮食作物产量遥感监测说明项目..... 12

参考文献 ..... 13

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院地理科学与资源研究所提出。

本文件由中国农业绿色发展研究会归口。

本文件起草单位：中国科学院地理科学与资源研究所、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、中国农业大学

本文件主要起草人：史文娇、余强毅、郭婧涵、滕飞、杨建宇。

# 基于光能利用率模型的主要粮食作物产量遥感监测技术规范

## 1 范围

本文件规定了基于光能利用率模型的主要粮食作物产量遥感监测的术语和定义、缩略语、基本要求、监测流程、数据获取与处理、模型构建与精度验证、专题图制作与报告编写等方面要求。

本文件适用于利用卫星遥感数据建立单产监测模型，开展小麦、玉米、水稻、大豆等主要粮食作物的产量监测工作，尤其在集中连片农田上监测精度更高。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

- GB/T 13989 国家基本比例尺地形图分幅和编号
- GB/T 14950 摄影测量与遥感术语
- GB/T 20257（所有部分）国家基本比例尺地图图式
- GB/T 31163 太阳能资源术语
- GB/T 37804 冬小麦苗情长势监测规范
- NY/T 3527 农作物种植面积遥感监测规范
- NY/T 4065 中高分辨率卫星主要农作物产量遥感监测技术规范

## 3 术语和定义

下列界定的术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**遥感** remote sensing

不接触物体本身，用传感器收集目标物的电磁波信息，经处理、分析后，识别目标物，揭示几何、物理特征和相互关系及其变化规律的现代科学技术。

[来源: GB/T 14950—2009, 3.1]

### 3.2

**农作物单产** crop yield per unit area

农作物单位面积收获量。

注：单位为 kg/ha

### 3.3

**生育时期** growth stage

作物在生长发育过程中，按照器官形成顺序和生长发育特性，植株外部形态特征呈现显著变化的几个时期。

[来源: GB/T 37804-2019, 3.2, 有修改]

### 3.4

**像元** pixel

数字影像的基本单元。

[来源: GB/T 14950—2009, 4.67, 有修改]

### 3.5

**多时相影像** multi-temporal image

不同时间获取的同一地区的影像。

[来源: GB/T 14950—2009, 6.50, 有修改]

### 3.6

**空间分辨率** spatial resolution

遥感影像上一个像元所代表地面单元的大小。

[来源: NY/T 4065—2021, 定义3.6]

### 3.7

**植被指数** vegetation index; VI

一种利用多光谱遥感影像不同谱段数据的线性或非线性组合而形成的能反映绿色植物生长状况和分布的特征指数。

[来源: GB/T 14950—2009, 5.201]

### 3.8

**增强型植被指数** enhanced vegetation index; EVI

一种用于监测植被覆盖和健康状况的遥感指数。

### 3.9

**陆地表面水分指数** land surface water index; LSWI

一种用于评估植被水分状况的植被指数。

### 3.10

**光合有效辐射** photosynthetically active radiation; PAR

太阳辐射光谱中可被绿色植物的质体色素吸收、转化并用于合成有机物质的一定波段的辐射能。

[来源: GB/T 31163—2014, 5.8]

### 3.11

**VPM模型** vegetation photosynthesis model

VPM模型是基于遥感数据和气象数据来模拟总初级生产力的光能利用率模型。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CGCS: 国家大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System)

EVI: 增强型植被指数 (Enhanced Vegetation Index)

LSWI: 陆地表面水分指数 (Land Surface Water Index)

MRE: 平均相对误差 (Mean Relative Error)

NRMSE: 归一化均方根误差 (Normalized Root Mean Squared Error)

PAR: 光合有效辐射 (Photosynthetically Active Radiation)

RMSE：均方根误差 (Root Mean Square Error)

UTM：通用横轴墨卡托投影 (Universal Transverse Mercator Projection)

## 5 基本要求

### 5.1 空间基准

5.1.1 大地基准应采用 2000 国家大地坐标系 (CGCS 2000)。

5.1.2 高程基准应采用 1985 国家高程基准。

5.1.3 投影方式，省级及以上尺度宜采用阿尔伯斯投影；省级以下尺度宜采用高斯-克吕格投影或 UTM 投影。

注 1：阿尔伯斯投影 (Albers projection) 是一种正轴等面积割圆锥投影，又称双标准纬线等积圆锥投影，由阿尔伯斯于 1805 年创拟。

注 2：高斯-克吕格投影 (Gauss-Krüger projection) 是横轴等角切椭圆柱投影，由德国数学家、天文学家高斯 (C. F. Gauss) 拟定，德国大地测量学家克吕格 (J. Krüger) 补充而成。

注 3：UTM 投影 (universal transverse Mercator projection，通用横轴墨卡托投影) 是横轴等角割椭圆柱分带投影。

### 5.2 分幅和编号

基于光能利用率模型的主要粮食作物产量遥感监测专题图适用比例尺宜采用国家基本比例尺 1:1000000 ~ 1:500，分幅及编号应按照 GB/T 13989 的规定执行。

### 5.3 监测时间

监测时间应包含农作物出苗或移栽后至收获前。

### 5.4 软硬件要求

#### 5.4.1 软件要求

具备遥感影像处理的基础功能，包括影像去云、裁剪拼接、波段运算、统计分析等功能。

#### 5.4.2 硬件要求

中央处理器 (CPU) 2.9 GHz 以上，内存 8 G 以上，硬盘 500 G 以上。

## 6 监测流程

监测流程包括数据获取与处理、模型构建与精度验证、专题图制作与报告编写等步骤。可参照图1。

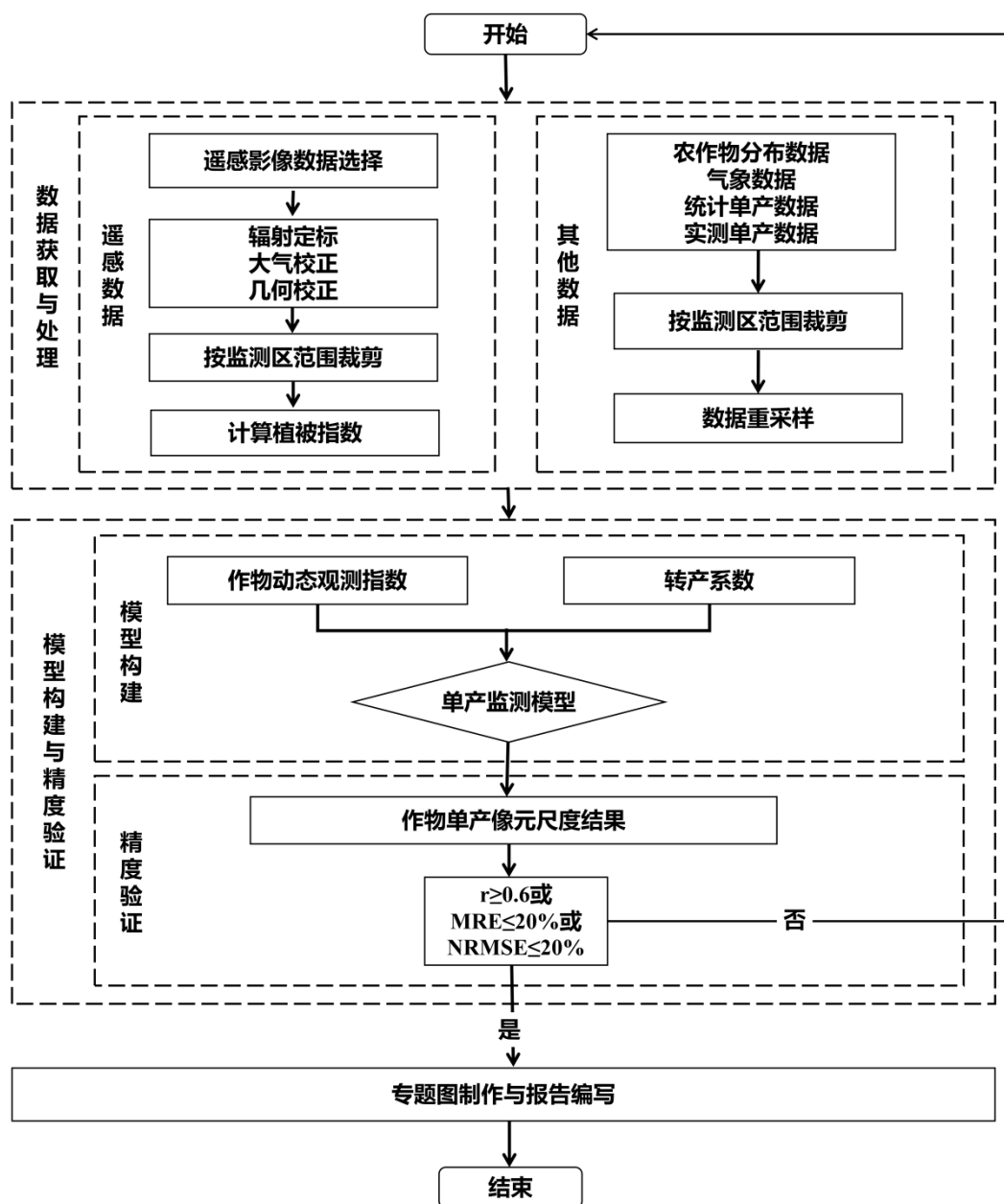


图1 基于光能利用率模型的主要粮食作物产量遥感监测技术流程图

## 7 数据获取与处理

### 7.1 遥感影像数据

遥感数据选择应符合以下要求：

- 收集监测区域监测时间内覆盖农作物的有效遥感数据；
- 卫星遥感影像具备蓝光波段、红光波段、近红外波段、短波红外波段；
- 卫星遥感影像空间分辨率不低于 30m，获取每年农作物生育时期的多时相影像；



- d) 卫星影像纹理清晰，无明显噪声，无坏线，无严重畸变。灰度范围总体呈现正态分布，云或浓雾覆盖面积占影像总面积比例不超过 20%。可通过邻近多时相影像合成晴空影像数据，多时相影像处于农作物同一生育时期内。

## 7.2 其他数据

### 7.2.1 农作物分布数据

参照 NY/T 3527 执行监测区内目标农作物空间分布提取，总体分类精度达到 90% 以上。

### 7.2.2 气象数据

7.2.2.1 农作物生育时期内的逐月平均气温栅格数据。

7.2.2.2 农作物生育时期内逐月累计光合有效辐射（PAR）栅格数据。

注：7.2.2.1 中的气温数据来自中国气象数据网；7.2.2.2 中的光合有效辐射数据来自国家地球系统科学数据中心共享服务平台。

### 7.2.3 农作物单产数据

7.2.3.1 统计数据：获取监测区内各区县农作物单产和播种面积的统计数据。

7.2.3.2 实测数据：通过实地采样或农业气象站点记录、国家生态系统观测研究网络等途径获取实测农作物单产数据，包括地块经纬度位置和单产信息。实地采样可参照 NY/T 4065 执行。

## 7.3 数据处理

### 7.3.1 遥感数据预处理

遥感数据预处理如下：

- a) 根据传感器参数对遥感影像进行辐射定标和大气校正，获得影像的地表反射率数据；
- b) 影像应进行几何校正，校正后的卫星影像平地、丘陵地的平面坐标误差不应大于 1 个像元，山地的平面坐标误差不应大于 2 个像元；
- c) 影像应按照监测区范围或农作物种植区空间分布图进行剪裁和掩膜处理。

### 7.3.2 其他数据预处理

将不同空间分辨率的栅格类型数据裁剪至与监测区同一大小，重采样为与遥感影像数据统一的空间分辨率，进而展开后续主要粮食作物产量监测工作。

## 8 模型构建与精度验证

### 8.1 模型构建流程

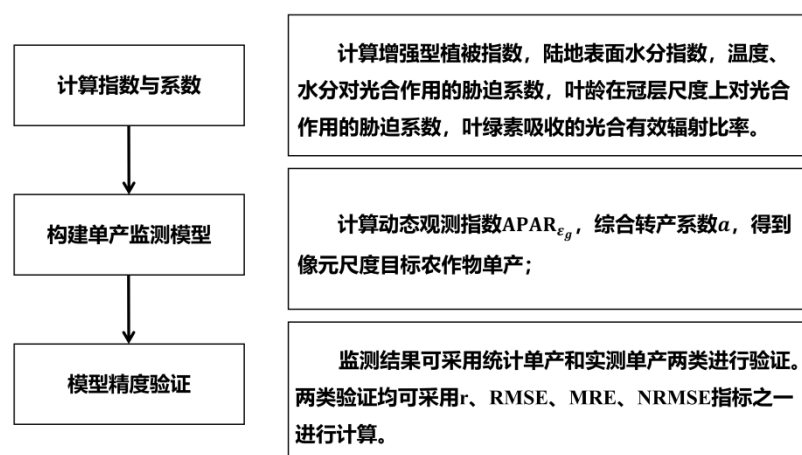


图2 模型构建流程

## 8.2 计算指数与系数

### 8.2.1 计算增强型植被指数

确定监测区内遥感影像的近红外波段、红光波段、蓝光波段地表反射率，增强型植被指数 EVI 按公式（1）计算。

$$EVI = 2.5 \times \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + 6 * \rho_{red} - 7.5 * \rho_{blue} + 1} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$EVI$  ——增强型植被指数；

$\rho_{nir}$  ——遥感影像近红外波段的地表反射率；

$\rho_{red}$  ——遥感影像红光波段的地表反射率；

$\rho_{blue}$  ——遥感影像蓝光波段的地表反射率。

### 8.2.2 计算陆地表面水分指数

确定监测区内遥感影像的近红外波段、红光波段、短波红外波段地表反射率，陆地表面水分指数 LSWI按公式（2）计算。

$$LSWI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{swir}}{\rho_{nir} + \rho_{swir}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$LSWI$  ——陆地表面水分指数；

$\rho_{nir}$  ——遥感影像近红外波段的地表反射率；

$\rho_{swir}$  ——遥感影像短波红外波段的地表反射率。

### 8.2.3 计算温度对光合作用的胁迫系数

确定植被进行光合作用时的最低、最高和最适温度，温度对光合作用的胁迫系数按公式（3）计算。

$$T_{scalar} = \frac{(T - T_{min})(T - T_{max})}{(T - T_{min})(T - T_{max}) - (T - T_{opt})^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $T_{scalar}$  ——温度对光合作用的胁迫系数；  
 $T_{min}$  ——植被光合作用时所需的最低温度；  
 $T_{max}$  ——植被光合作用时所需的最高温度；  
 $T_{opt}$  ——植被光合作用时的最适温度；  
 $T$  ——植被生长季内的月均温度。

注： $T_{min}$ ， $T_{max}$ ， $T_{opt}$ 的取值参考附录 A。

#### 8.2.4 计算叶龄在冠层尺度上对光合作用的胁迫系数

确定植被进行光合作用时单个像元内植被生长季月均陆地表面水分指数，叶龄在冠层尺度上对最大光能利用率的胁迫系数按公式（4）计算。

$$P_{scalar} = \frac{1+LSWI}{2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $P_{scalar}$  ——叶龄在冠层尺度上对光合作用的胁迫系数；  
 $LSWI$  ——植被生长季内月均陆地表面水分指数。

#### 8.2.5 计算水分对光合作用的胁迫系数

确定植被进行光合作用时单个像元内植被生长季内月均陆地表面水分指数、最大陆地表面水分指数，水分在对光合作用的胁迫系数按公式（5）计算。

$$W_{scalar} = \frac{1+LSWI}{1+LSWI_{max}} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- $W_{scalar}$  ——水分对光合作用的胁迫系数；  
 $LSWI$  ——植被生长季内月均陆地表面水分指数；  
 $LSWI_{max}$  ——植被生长季内最大陆地表面水分指数。

注：8.2.4 与 8.2.5 中的植被生长季可对应目标农作物生育时期。

#### 8.2.6 计算叶绿素吸收的光合有效辐射比率

确定增强型植被指数与经验系数的线性函数来近似表达 $FPAR_{chl}$ ，按公式（6）计算：

$$FPAR_{chl} = \alpha \times EVI \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- $FPAR_{chl}$  ——叶绿素吸收的光合有效辐射比率；  
 $\alpha$  ——经验系数，取值为 1；  
 $EVI$  ——增强型植被指数。

### 8.3 构建单产监测模型

#### 8.3.1 计算农作物单产

像元尺度的动态观测指数 $APAR_{\epsilon_g}$ 与综合转产系数 $a$ 相乘，得到模型监测的像元尺度农作物单产 $Y$ ，按公式（7）计算。

$$Y = APAR_{\epsilon_g} \times a \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $Y$  ——模型监测的像元尺度目标农作物单产；  
 $APAR_{\varepsilon_g}$  ——像元尺度动态观测指数；  
 $a$  ——综合转产系数。

### 8.3.2 像元尺度动态观测指数 $APAR_{\varepsilon_g}$

动态观测指数 $APAR_{\varepsilon_g}$ ，按公式（8）计算。利用农作物分布数据对像元尺度 $APAR_{\varepsilon_g}$ 进行掩膜，得到农作物分布区域的像元尺度动态观测指数 $APAR_{\varepsilon_g}$ 结果。

$$APAR_{\varepsilon_g} = T_{\text{scalar}} \times P_{\text{scalar}} \times W_{\text{scalar}} \times FPAR_{\text{chl}} \times PAR \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $APAR_{\varepsilon_g}$  ——动态观测指数；  
 $T_{\text{scalar}}$  ——温度对光合作用的胁迫系数；  
 $P_{\text{scalar}}$  ——叶龄在冠层尺度上对光合作用的胁迫系数；  
 $W_{\text{scalar}}$  ——水分对光合作用的胁迫系数；  
 $FPAR_{\text{chl}}$  ——叶绿素吸收的光合有效辐射比率；  
 $PAR$  ——光合有效辐射（以  $\text{MJ}/\text{m}^2$  为单位）。  
 $T_{\text{scalar}}$ 、 $P_{\text{scalar}}$ 、 $W_{\text{scalar}}$ 、 $FPAR_{\text{chl}}$  为动态观测值，按公式（1）～（6）计算。

### 8.3.3 综合转产系数 $a$

综合转产系数 $a$ 可通过农作物监测区内各区县统计单产和各区县农作物分布区域 $APAR_{\varepsilon_g}$ 平均值之间的线性关系模拟得到。

注：线性拟合所得综合转产系数 $a$ 为地级市尺度值（即每个地级市对应一个独立转产系数）。在按公式(7)计算像元尺度农作物单产时，需使用像元所在地级市的综合转产系数乘以该像元的动态观测指数。

## 8.4 模型精度验证

### 8.4.1 验证数据

遥感监测农作物单产结果可采用统计单产数据和实测单产数据两类进行验证。

- a) 统计单产数据验证，采用十折交叉验证方法，将监测区所有区县统计单产数据随机分为 10 份；依次选取其中 9 份作为训练集计算地级市转产系数并推算所有区县的监测产量；同时用剩余的 1 份作为测试集，评估其区县监测产量与真实值的精度；最终综合 10 次测试结果得到总体精度评估。
- a) 实测单产数据验证，利用实测获取的农作物单产数据，与像元尺度的模型监测产量实施地理空间位置匹配后，进行精度验证。

### 8.4.2 验证指标

以上两类验证均可采用下列指标之一进行计算。精度验证不合格的，应检查每个环节，纠正错误，直至满足精度要求，或采用其他监测方法。

- a) 根据公式（9）计算皮尔逊相关系数（ $r$ ）。 $r \geq 0.6$ 作为合格标准。

$$r = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- r ——皮尔逊相关系数；  
 Cov(X,Y) ——农作物统计单产或实测单产与模型监测农作物单产的协方差；  
 $\sigma_X$  ——农作物统计单产或实测单产的标准差；  
 $\sigma_Y$  ——模型监测农作物单产的标准差。  
 b) 根据公式（10）计算均方根误差（RMSE）。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \dots\dots\dots (10)$$

- 式中：  
 RMSE ——均方根误差；  
 $y_i$  ——农作物统计单产或实测单产；  
 $\hat{y}_i$  ——模型监测农作物单产；  
 n ——样本数量。

- c) 根据公式（11）计算平均相对误差（MRE）。MRE ≤ 20%作为合格标准。

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

- 式中：  
 MRE ——均方根误差；  
 $y_i$  ——农作物统计单产或实测单产；  
 $\hat{y}_i$  ——模型监测农作物单产；  
 n ——样本数量。

- d) 根据公式（12）计算归一化均方根误差（NRMSE）。NRMSE ≤ 20%作为合格标准。

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{y}} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

- 式中：  
 NRMSE ——归一化均方根误差；  
 RMSE ——均方根误差；  
 $\bar{y}$  ——农作物统计单产或实测单产的平均值。

9 专题图制作与报告编写

9.1 通则

产量监测报告必须包括监测区域农作物产量空间分布图和产量统计信息表。

9.2 产量空间分布专题图

农作物产量空间分布专题图要素应包括图名、图例、比例尺、产量等级、行政区划地理信息等。基本地图要素制作方式应按GB/T 20257的规定确定。

9.3 产量信息统计表

利用地理信息系统软件，在农作物产量空间分布专题图上，叠加行政边界多边形矢量图，提取各行政区域内的农作物像元数量和像元均值，得到各行政区域农作物种植面积（种植像元数×影像空间分辨

率)和单产信息(即像元均值),二者相乘得到总产信息。利用常用表格办公软件,生成产量信息统计表格,表格字段内容参照附录B。

#### 9.4 产量监测报告

基于光能利用率模型的主要粮食作物产量遥感监测结果经过专家会商形成监测报告,报告应包含如下内容:

- a) 报告题目:XX县(市、区、省、区域)XX年XX作物产量遥感监测报告;
- b) 报告正文:包括具体使用数据、技术流程、具体步骤、监测结果和格局分析;
- c) 产量空间分析图;
- d) 产量统计信息表;
- e) 报告编写人和编写时间。

附 录 A  
(资料性)

不同植被类型 VPM 模型的 $T_{min}$ 、 $T_{max}$ 和 $T_{opt}$ 取值

$T_{min}$ 、 $T_{max}$ 和 $T_{opt}$ 的取值见表 A.1。

表A.1 不同植被类型VPM模型的 $T_{min}$ 、 $T_{max}$ 和 $T_{opt}$ 取值

植被类型	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_{opt}$
农田（C <sub>4</sub> 作物）	0	45	23
农田（C <sub>3</sub> 作物）	-3	42	16
注: $T_{min}$ 、 $T_{max}$ 和 $T_{opt}$ 的取值参考 2014 年陈静清等在中国陆地生态系统总初级生产力 VPM 遥感模型估算研究中表 3 的温度值。			

附 录 B  
(资料性)

基于光能利用率模型的主要粮食作物产量遥感监测说明项目

基于光能利用率模型的主要粮食作物产量遥感监测说明项目见表B.1。

表B.1 基于光能利用率模型的主要粮食作物产量遥感监测说明项目

项目类型	项目名称	注释
遥感影像	中空间分辨率(优于 30m)	一般用于县域以上尺度
	高空间分辨率(优于 10m)	一般用于县域尺度范围
样点空间位置坐标	经度(单位：度)	格式：XXX.XXXXXX
	纬度(单位：度)	格式：XX.XXXXXX
产量遥感监测图	产量空间分布专题图	JPG 格式，300dpi 以上分辨率
	产量空间分布数据	tif 格式，自身具有空间坐标信息
产量信息统计表	行政区域名	估测区域内各行政区域的名称
	种植面积	单位：公顷
	单位面积产量	单位：公斤/公顷
	总产量	单位：万吨



## 参 考 文 献

- [1] GB/T 14950—2009 摄影测量与遥感术语
  - [2] NY/T 3527—2019 农作物种植面积遥感监测规范
  - [3] NY/T 4065—2021 中分辨率卫星主要农作物产量遥感监测技术规范
  - [4] 陈静清, 闫慧敏, 王绍强, 高艳妮, 黄玫, 王军邦, 肖向明. 中国陆地生态系统总初级生产力VPM遥感模型估算[J]. 第四纪研究, 2014, 34(4): 732-742. doi: 10.3969/j.issn.1001-7410.2014.04.05
-