

生态环境遥感调查 自然生态系统质量变化 评估技术规范

Remote sensing investigation of ecological environment—Technical specification
for evaluation changes in natural ecosystems quality

2024 - 07 - 11 发布

2024 - 09 - 10 实施

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。

本文件由新疆维吾尔自治区环境保护科学研究院提出。

本文件由新疆维吾尔自治区生态环境厅归口并组织实施。

本文件起草单位：新疆维吾尔自治区环境保护科学研究院。

本文件主要起草人：陈丽、任璇、牛婷、赵志刚、李蕊、都伟新、常梦迪、孟颖、孙力、王芸韵、米尔扎提·依明、宋梦洁、刘少堂、韩鑫、郑娜。

本文件实施应用中的疑问，请咨询新疆维吾尔自治区环境保护科学研究院。

对本文件的修改意见，请反馈至新疆维吾尔自治区生态环境厅(乌鲁木齐市南湖西路215号)、新疆维吾尔自治区环境保护科学研究院(乌鲁木齐市科学一街428号)、新疆维吾尔自治区市场监督管理局(乌鲁木齐市新华南路167号)。

新疆维吾尔自治区生态环境厅 联系电话：0991-4165399；传真：0991-4165399；邮编：830004

新疆维吾尔自治区环境保护科学研究院 联系电话：0991-3841372；传真：0991-3838944；邮编：830011

新疆维吾尔自治区市场监督管理局 联系电话：0991-2818750；传真：0991-2311250；邮编：830004

生态环境遥感调查 自然生态系统质量变化评估技术规范

1 适用范围

本文件规定了新疆生态环境遥感调查自然生态系统质量变化评估原则、技术流程、综合评估指标与方法、质量分级以及质量变化分级、评估报告等内容和要求。

本文件适用于新疆维吾尔自治区行政区域内陆域以植被为主的自然生态系统质量现状及变化趋势评估，不包含无植被的水面、流沙区、裸岩砾石地、永久冰川积雪。其他地理区域的生态环境遥感调查可参照执行。

注：本文件不适用于自然生态系统类型发生变化的情况。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自然生态系统 **natural ecosystem**

在一定时间和空间范围内，依靠自然调节能力维持的相对稳定的生态系统。分为水生生态系统：以水为基质的生态系统；陆生生态系统：以陆地土壤或母质等为基质的生态系统，包括森林、灌丛、草地、湿地、荒漠等生态系统。

3.2

生态系统质量 **ecosystem quality**

表征生态系统自然植被的优劣程度，反映生态系统内植被与生态系统整体状况。

[来源：HJ 1172—2021, 3.1]

3.3

叶面积指数 **leaf area index;LAI**

单位土地面积上植物叶片总面积与土地面积的比值，主要表征了植被垂直结构复杂性。

[来源：HJ 1172—2021, 3.3]

3.4

相对叶面积指数 **relative leaf area index;RLAI**

采用指数归一化方法处理后的叶面积指数（3.3）。

3.5

总初级生产力 **gross primary productivity;GPP**

在单位时间和单位面积上，绿色植物通过光合作用所固定的有机碳总量，主要表征植被光合作用能力强弱。

[来源：HJ 1172—2021, 3.4]

3.6

相对总初级生产力 relative gross primary productivity;RGPP

采用指数归一化方法处理后的总初级生产力（3.5）。

3.7

植被覆盖度 fractional vegetation cover;FVC

植被（包括叶、茎、枝）在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比，主要表征植被水平结构状况。

[来源：HJ 1172—2021, 3.5]

3.8

相对植被覆盖度 relative fractional vegetation cover;RFVC

采用指数归一化方法处理后的植被覆盖度（3.7）。

3.9

净初级生产力 net primary productivity;NPP

植被在自然条件下，单位面积与单位时间内光合作用积累的有机干物质的质量，光合作用产生的物质总量减去呼吸作用的消耗物后剩余的物质。

3.10

相对净初级生产力 relative net Primary Productivity;RNPP

采用指数归一化方法处理后的净初级生产力（3.9）。

3.11

自然生态系统质量综合指数 comprehensive index of natural ecosystem quality

反映区域内自然生态系统整体质量状况的综合指标。

4 评估原则

自然生态系统质量变化评估应遵循规范性、可操作性、先进性和经济与技术可行性的原则。

5 技术流程

自然生态系统质量评估变化评估技术包括收集资料、数据预处理、数据评估、自然生态系统质量分级、自然生态系统质量变化分级、撰写评估报告六个阶段。在收集资料阶段应收集遥感数据和其他辅助数据；在数据预处理阶段，对收集到的数据进行影像预处理、插值、解译、计算等操作，得到遥感生态参数及生态系统分类数据；在数据评估阶段，基于遥感生态参数，根据生态系统类型，选取不同生态参数指标开展新疆自然生态系统质量评估，形成自然生态系统质量综合指数。评估技术流程图见图1。

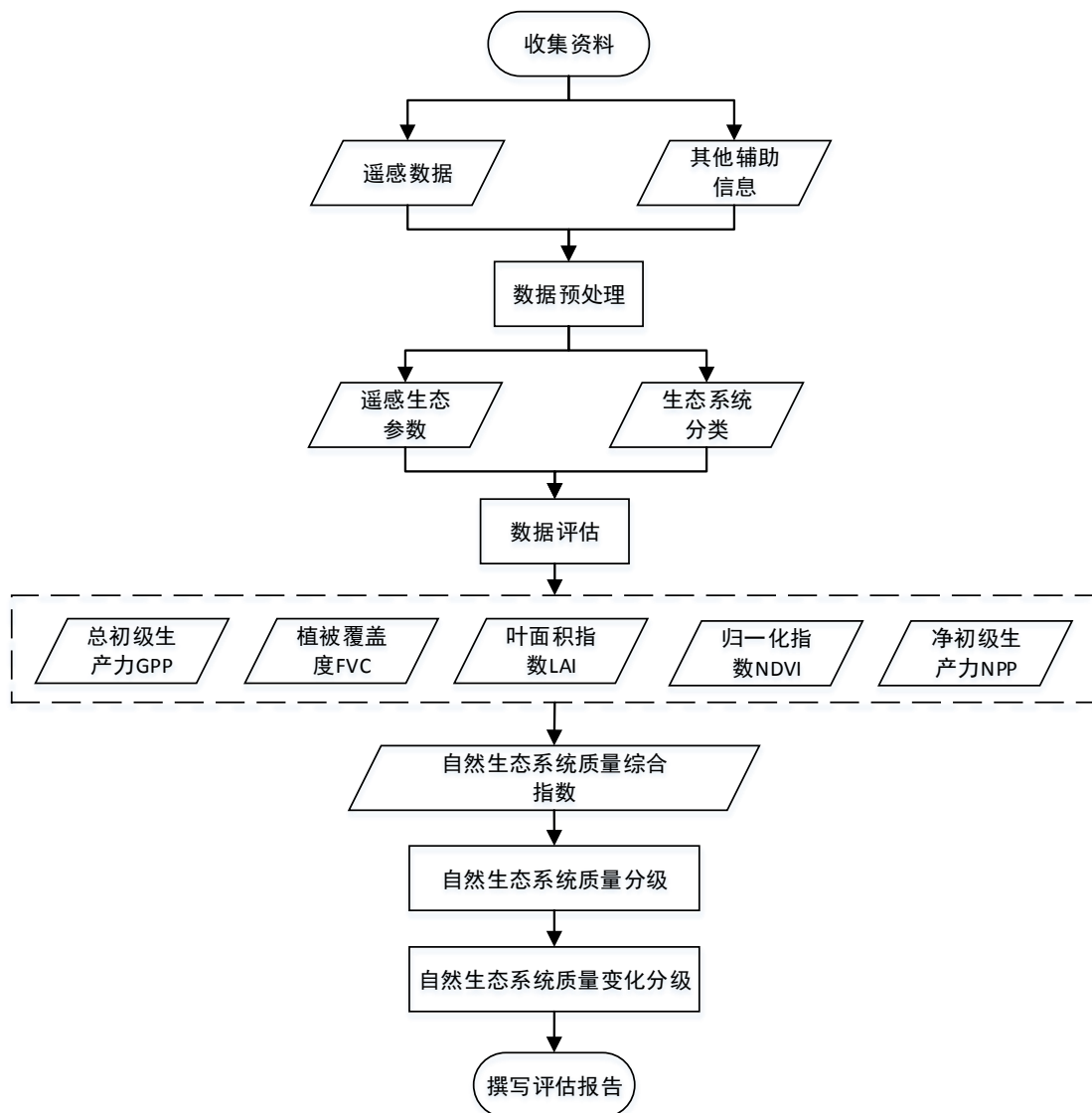


图1 自然生态系统质量变化评估技术流程图

6 自然生态系统质量综合评估指标与方法

6.1 自然生态系统质量综合指数

应采取不同自然生态系统选取对应评估指标类型的方法构建，见表1。自然生态系统类型参见附录A。表1中评估指标的计算方法应符合附录B的规定。

表1 新疆自然生态系统质量评估指标体系

| 生态系统类型 | 评估指标 | 指标定义 |
|--------|-------|---------------------|
| 森林 | RGPP | 区域内森林生态系统总初级生产力指数 |
| 草地 | RFVC | 区域内草地生态系统相对覆盖度 |
| 灌丛 | RLAI | 区域内灌丛生态系统相对叶面积指数 |
| 湿地 | RNPP | 区域内湿地生态系统相对净初级生产力指数 |
| 荒漠 | RNDVI | 区域内荒漠生态系统相对归一化植被指数 |

以相对总初级生产力、相对覆盖度、相对叶面积指数、相对净初级生产力、相对归一化植被指数5个指标构建自然生态系统质量综合指数，按公式（1）计算：

$$NEQCI_i = RGPP_i + RFVC_i + RLAI_i + RNPP_i + RNDVI_i \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$NEQCI_i$ ——为第 i 年自然生态系统质量综合指数；

$RGPP_i$ ——为第 i 年相对总初级生产力；

$RFVC_i$ ——为第 i 年相对植被覆盖度；

$RLAI_i$ ——为第 i 年相对叶面积指数；

$RNPP_i$ ——为第 i 年相对初级生产力；

$RNDVI_i$ ——为第 i 年相对归一化植被指数。

注：自然生态系统质量综合指数的计算选取其所包含的自然生态系统类型进行评估，不包含的类型，其所对应的评估指标值取0。

6.2 自然生态系统质量评估分级

根据自然生态系统质量综合指数结果，将自然生态系统质量分为5级，即优、良、中、低、差，见表2。

表2 自然生态系统质量评估分级

| 级别 | 优 | 良 | 中 | 低 | 差 |
|----------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---|
| 自然生态系统质量 | $NEQCI \geq 75$ | $55 \leq NEQCI < 75$ | $35 \leq NEQCI < 55$ | $20 \leq NEQCI < 35$ | $NEQCI < 20$ |
| 描述 | 植被覆盖度高，自然生态系统稳定，自我调节能力强 | 植被覆盖度较高，自然生态系统相对稳定，有一定的调节能力 | 植被覆盖度中等，自然生态系统相对较脆弱，稳定性较低 | 植被覆盖度较低，或生态类型结构单一，自然生态系统不稳定，受损后较难恢复 | 自然环境恶劣，植被覆盖度极低，或生态类型结构单一，自然生态系统极不稳定，受到扰动后极难恢复 |

7 自然生态系统质量变化评估指标与方法

7.1 自然生态系统质量变化率

以评价年、基期年自然生态系统质量综合指数构建自然生态系统质量综合指数变化率，按公式（2）计算：

$$CREQ_i = \frac{NEQCI_i - NEQCI_j}{NEQCI_j} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

式中：

$CREQ_i$ ——为第 i 年相对第 j 年自然生态系统质量综合指数变化率；

$NEQCI_i$ ——为第 i 年自然生态系统质量综合指数；

$NEQCI_j$ ——为第 j 年自然生态系统质量综合指数。

7.2 自然生态系统质量变化分级

根据自然生态系统质量综合指数变化率结果，将自然生态系统质量变化分为9级，具体分级指标见表3。

表3 自然生态系统质量综合指数变化分级指标

| 自然生态系统质量 变化方向 | 自然生态系统质量 变化等级 | 自然生态系统质量 变化率分级标准 |
|------------------|------------------|---------------------------|
| 退化 | 极重度退化 | $CREQ < -60\%$ |
| | 重度退化 | $-60\% \leq CREQ < -40\%$ |
| | 中度退化 | $-40\% \leq CREQ < -20\%$ |
| | 轻度退化 | $-20\% \leq CREQ < -10\%$ |
| 稳定 | 基本稳定 | $-10\% \leq CREQ < 10\%$ |
| 改善 | 轻度改善 | $10\% \leq CREQ < 20\%$ |
| | 中度改善 | $20\% \leq CREQ < 40\%$ |
| | 明显改善 | $40\% \leq CREQ < 60\%$ |
| | 显著改善 | $CREQ \geq 60\%$ |

8 评估报告

8.1 文字报告

包括但不限于：

——背景意义、目标及任务、总体思路、评估结论及建议；自然环境概况、评估周期、编制依据；
——生态环境遥感调查自然生态系统质量变化评估工作流程、评估中使用的评估方法、数据和具体步骤；

——自然生态系统总体质量现状分布特征以及不同自然生态系统质量现状分布特征；
——自然生态系统总体质量变化特征及分布、不同自然生态系统质量变化特征及分布；
——自然生态系统总体质量和不同自然生态系统类型生态质量现状分布特征及其变化；
——评估结论；
——问题与生态环境保护及修复对策建议。

8.2 附件

生态环境遥感调查自然生态系统质量变化评估图集，包括但不限于：

——总体质量分布图；
——质量变化趋势图；
——不同生态系统质量空间分布图；
——质量变化趋势图。

附录 A
(资料性)

新疆自然生态系统分类体系表

新疆自然生态系统分类体系内容见表A.1

表A.1 新疆自然生态系统分类体系表

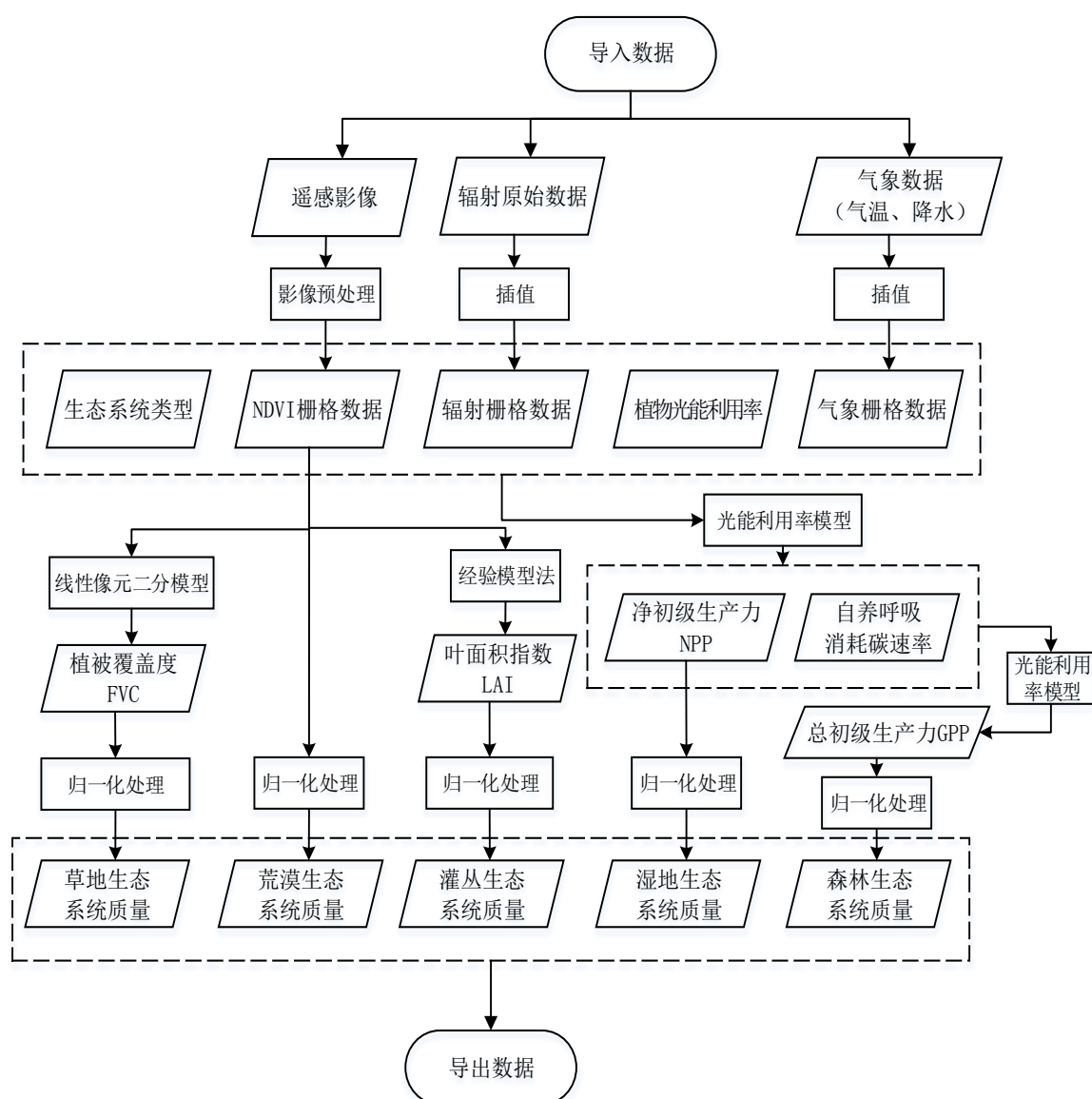
| 序号 | I级 | II级 | 分类依据 ^a |
|----|--------|-------|---|
| 1 | 森林生态系统 | 阔叶林 | $H=3\text{ m}\sim 30\text{ m}$, $C\geq 0.2$, 阔叶 |
| | | 针叶林 | $H=3\text{ m}\sim 30\text{ m}$, $C\geq 0.2$, 针叶 |
| | | 针阔混交林 | $H=3\text{ m}\sim 30\text{ m}$, $C\geq 0.2$, $25\% < F < 75\%$ |
| | | 稀疏林 | $H=3\text{ m}\sim 30\text{ m}$, $C=0.04\sim 0.2$ |
| 2 | 灌丛生态系统 | 阔叶灌丛 | $H=0.3\text{ m}\sim 5\text{ m}$, $C\geq 0.2$, 阔叶 |
| | | 针叶灌丛 | $H=0.3\text{ m}\sim 5\text{ m}$, $C\geq 0.2$, 针叶 |
| | | 稀疏灌丛 | $H=0.3\text{ m}\sim 5\text{ m}$, $C=0.04\sim 0.2$ |
| 3 | 草地生态系统 | 草甸 | $K\geq 1$, 土壤湿润, $H=0.03\text{ m}\sim 3\text{ m}$, $C\geq 0.2$ |
| | | 草原 | $K < 1$, $H=0.03\text{ m}\sim 3\text{ m}$, $C\geq 0.2$ |
| | | 稀疏草地 | $H=0.03\text{ m}\sim 3\text{ m}$, $C=0.04\sim 0.2$ |
| 4 | 湿地生态系统 | 沼泽 | 地表经常过湿或有薄层积水, 生长沼泽生和部分湿生、水生或盐生植物, 有泥炭积累或明显的浅育层, 包括森林沼泽、灌丛沼泽、草本沼泽等 |
| 5 | 荒漠生态系统 | 沙漠/沙地 | 自然, 松散表面, 沙质或沙质土, $C < 0.04$ |
| | | 戈壁 | 自然, 地表粗砂、砾石覆盖, $C < 0.04$ |
| | | 盐碱地 | 自然, 松散表面, 高盐分, $C < 0.04$ |

^a C—覆盖度/郁闭度; H—植被高度; F—针叶树与阔叶树的比例; K—湿润指数。

附录 B
(规范性)
遥感生态参数计算流程与方法

B.1 遥感生态参数计算流程

自然生态系统质量评估所需的遥感数据空间分辨率原则上不低于250 m。通过对获取的遥感数据进行波段合成、辐射校正、几何精校正、图像配准、图像增强、拼接与裁剪等一系列处理过程，形成适用于开展解译的影像数据。遥感生态参数计算流程见图B.1，自然生态系统质量评估遥感生态参数见表B.1。



图B.1 遥感生态参数计算流程

注：该流程图中植被覆盖度指标以像元二分法为例；叶面积指数以经验模型法为例；净初级生产力、总初级生产力以光能利用率模型法为例。

表B.1 自然生态系统质量评估遥感生态参数

| 指标 | 空间分辨率 | 参考数据源 | 时相 | 备注 |
|---------|--------|--------------------------------|----------------|---|
| 植被覆盖度 | ≤250 m | MODIS NDVI/Landsat OLI | 生长季（5月~9月）逐月数据 | NDVI可采用MODIS陆地二级标准数据产品 |
| 归一化植被指数 | ≤250 m | MODIS NDVI/Landsat OLI | 生长季（5月~9月）逐月数据 | 可采用MODIS陆地二级标准数据产品 |
| 净初级生产力 | ≤250 m | MODIS NDVI/Landsat OLI、气象、辐射数据 | 生长季（5月~9月）逐月数据 | 气象、辐射数据可采用国家气象站点结合自治区气象站点进行插值，或直接采用气象差值成品空间数据 |
| 总初级生产力 | ≤250 m | MODIS NDVI/Landsat OLI、气象、辐射数据 | 生长季（5月~9月）逐月数据 | 气象、辐射数据可采用国家气象站点结合自治区气象站点进行插值，或直接采用气象差值成品空间数据 |
| 叶面积指数 | ≤250 m | MODIS NDVI/Landsat OLI | 生长季（5月~9月）逐月数据 | NDVI可采用MODIS陆地二级标准数据产品 |

B.2 遥感生态参数计算方法

B.2.1 归一化植被指数

按公式 (A.1) 计算：

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- NDVI——归一化植被指数，无量纲；
- ρ_{nir} ——近红外波段反射率，无量纲；
- ρ_{red} ——红光波段反射率，无量纲。

B.2.2 植被覆盖度

B.2.2.1 回归（统计）模型法

回归（统计）模型法是通过将遥感数据的某一波段、波段组合或利用遥感数据计算的植被指数如归一化植被指数、土壤调节植被指数等与植被覆盖度进行回归分析，建立经验估算模型。线性回归模型通过地面测量的植被覆盖度与遥感图像的波段或植被指数进行线性回归得到研究区域的估算模型；非线性回归模型法主要是通过将遥感数据的波段或植被指数与植被覆盖度进行拟合，得到非线性回归模型。

B.2.2.2 混合像元分解法

遥感图像中每个像元一般由多个组分构成，每个组分对传感器观测到的信息都有贡献，可由此建立像元分解模型进行植被覆盖度的估算。混合像元分解模型主要有线性模型、概率模型、几何光学模型、随机几何模型和模糊分析模型等，其中线性分解模型应用最为广泛。线性像元分解法中最常用的是像元二分模型，是指假定像元由植被和非植被两部分构成，光谱信息为这两个组分的线性组合。计算获得的植被覆盖所占像元比例即为该像元的植被覆盖度，按公式 (A.2) 计算：

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- FVC ——像元植被覆盖度，无量纲；
- NDVI ——混合像元的NDVI值，无量纲；

$NDVI_{soil}$ ——纯裸土覆盖像元的NDVI值，无量纲；

$NDVI_{veg}$ ——纯植被覆盖像元的NDVI值，无量纲。

由于受土壤、植被类型等因素的影响，目前 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 主要通过对图像的统计分析确定，如直接将图像中NDVI的最大值和最小值分别作为纯植被覆盖和纯裸土覆盖。基于像元二分法，按照植被类型选取 $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 进行计算。 $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 按表B.2取值：

表B.2 $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 查找表

| 生态系统分类 | $NDVI_{veg}$ | $NDVI_{soil}$ |
|-------------|--------------|---------------|
| 落叶阔叶林 | 0.87 | 0.1 |
| 常绿针叶林 | 0.85 | 0.1 |
| 落叶针叶林 | 0.83 | 0.1 |
| 针阔混交林 | 0.85 | 0.1 |
| 稀疏林 | 0.82 | 0.1 |
| 落叶阔叶灌木林（灌丛） | 0.82 | 0.1 |
| 常绿针叶灌木林（灌丛） | 0.82 | 0.1 |
| 稀疏灌木林（灌丛） | 0.82 | 0.1 |
| 草甸 | 0.7 | 0.1 |
| 草原 | 0.7 | 0.1 |
| 稀疏草地 | 0.7 | 0.1 |
| 沼泽 | 0.7 | 0.1 |
| 沙地/戈壁 | 0.7 | 0.1 |

B.2.2.3 三波段梯度差法

通过三波段最大梯度差模型来计算植被覆盖度，按公式（A.3~A.4）计算：

$$d = \frac{R_{nir} - R_r}{\lambda_{nir} - \lambda_r} - \frac{R_{swir} - R_{nir}}{\lambda_{swir} - \lambda_{nir}} \dots\dots\dots (A.3)$$

$$FVC = \frac{d}{d_{veg}} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

d ——像元梯度差，无量纲

R_r ——代表红波段的反射率，无量纲；

R_{nir} ——代表近红波段的反射率，无量纲；

R_{swir} ——代表短红外波段的反射率，无量纲；

λ_r ——代表红波段的波长，单位为纳米（nm）， $\lambda_r=646$ nm；

λ_{nir} ——代表近红波段的波长，单位为纳米（nm）， $\lambda_{nir}=856$ nm；

λ_{swir} ——代表短红外波段的波长，单位为纳米（nm）， $\lambda_{swir}=2130$ nm；

d_{veg} ——像元最大梯度差，无量纲。

注：在确定 d_{veg} 中，在 d 频率累积表中，取累积频率为99.5%的 d 值为 d_{veg} 的值。

植被覆盖度估算可根据评估区域特点和已有条件选择适用的估算方法。

B.2.3 叶面积指数

B.2.3.1 统计法

经验模型法是常用的统计方法，该方法是用植被指数估算叶面积指数，一般过程是建立植被指数和叶面积指数的经验关系，并使用观测数据进行拟合，再使用拟合好的模型估算叶面积指数，常用表达叶面积指数和植被指数的经验关系，按公式（A.5~A.7）计算：

$$LAI = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \dots\dots\dots (A. 5)$$

$$LAI = A + Bx^c \dots\dots\dots (A. 6)$$

$$LAI = -1/2\ln(1 - x) \dots\dots\dots (A. 7)$$

式中:

LAI——叶面积指数, 无量纲;

x ——从遥感数据获取的植被指数或反射率, 植被指数常用归一化植被指数NDVI, 无量纲;

A ——经验参数, 随着植被类型变化, 无量纲;

B ——经验参数, 随着植被类型变化, 无量纲;

C ——经验参数, 随着植被类型变化, 无量纲;

D ——经验参数, 随着植被类型变化, 无量纲。

根据项目组多年的研究经验及成果, 结合与MODIS LAI产品验证, 新疆可采用经验统计模型进行计算, 选取归一化植被指数NDVI实现LAI的遥感估算。按公式 (A. 8) 计算:

$$LAI = 0.360e^{2.569NDVI} \dots\dots\dots (A. 8)$$

式中:

LAI ——叶面积指数, 无量纲;

NDVI——归一化植被指数, 无量纲。

B. 2. 3. 2 冠层模型

冠层模型通常可划分为四类: 参数模型、几何光学模型、混合介质模型和计算机模拟模型。可根据评估区域和所具备的实际条件选择合适的模型和方法估算叶面积指数。

B. 2. 4 净初级生产力

B. 2. 4. 1 光能利用率模型

按公式 (A. 9) 计算:

$$NPP(x, t) = PAR(x, t) \times FPAR(x, t) \times \varepsilon_{max}(x, t) \times f(x, t) \dots\dots\dots (A. 9)$$

式中:

NPP(x, t) ——*t*月份在像元*x*处的净初级生产力, 单位为每平方米有机碳含量的克数 ($gC \cdot m^{-2}$);

PAR(x, t) ——*t*月份在像元*x*处入射的光合有效辐射, 单位为兆焦每平方米 ($MJ \cdot m^{-2}$);

FPAR(x, t)——*t*月份在像元*x*处植被冠层吸收的光合有效辐射比例, 无量纲;

ε_{max}(x, t) ——*t*月份在像元*x*处最大光能利用率, 单位为每消耗兆焦能量产生有机碳含量的克数 (单位: $gC \cdot MJ^{-1}$);

f(x, t) ——*t*月份在像元*x*处各种环境胁迫对光能利用率的限制作用, 无量纲。

B. 2. 4. 2 PAR的估算

*PAR*是太阳辐射中波长400 nm~700 nm的部分, 与下行短波太阳辐射之间存在着一定的关系, 按公式 (A. 10) 计算:

$$PAR(x, t) = SQL(x, t) \times 0.5 \dots\dots\dots (A. 10)$$

式中:

SQL(x, t)——*t*月份在像元*x*处到达地表的太阳短波辐射量, 单位为兆焦每平方米 ($MJ \cdot m^{-2}$)。

B.2.4.3 FPAR的估算

在一定范围内， $FPAR$ 与 $NDVI$ 比值植被指数 SR 之间分别存在线性关系。与 $NDVI$ 和 SR 线性关系按公式（A.11~A.13）计算：

$$FPAR(x, t) = \frac{NDVI(x, t) - NDVI_{i, min}}{NDVI_{i, max} - NDVI_{i, min}} \times (FPAR_{max} - FPAR_{min}) + FPAR_{min} \dots\dots\dots (A. 11)$$

$$FPAR(x, t) = \frac{SR(x, t) - SR_{i, min}}{SR_{i, max} - SR_{i, min}} \times (FPAR_{max} - FPAR_{min}) + FPAR_{min} \dots\dots\dots (A. 12)$$

$$SR(x, t) = \frac{1 + NDVI(x, t)}{1 - NDVI(x, t)} \dots\dots\dots (A. 13)$$

式中：

$NDVI_{i, max}$ ——对应第*i*种植被类型的 $NDVI$ 最大值，无量纲；

$NDVI_{i, min}$ ——对应第*i*种植被类型的 $NDVI$ 最小值，无量纲；

$FPAR_{max}$ ——取值与植被类型无关，为0.001，无量纲；

$FPAR_{min}$ ——取值与植被类型无关，为0.95，无量纲；

$SR_{i, max}$ ——对应第*i*种植被类型的95%下侧百分数，无量纲；

$SR_{i, min}$ ——对应第*i*种植被类型的5%下侧百分数，无量纲。

可将公式组合起来，取其平均值作为 $FPAR$ 的估算值，按公式（A.14）计算：

$$FPAR(x, t) = 0.5 \times FPAR_{NDVI} + 0.5 \times FAPR_{SR} \dots\dots\dots (A. 14)$$

B.2.4.4 最大光能利用率估算

按公式（A.15）计算：

$$\varepsilon_{max}(x, t) = \varepsilon_{max} \times T_1(x, t) \times T_2(x, t) \times W(x, t) \dots\dots\dots (A. 15)$$

式中：

$T_1(x, t)$ ——温度胁迫系数，无量纲；

$T_2(x, t)$ ——温度胁迫系数，无量纲；

$W(x, t)$ ——水分胁迫系数，无量纲。

B.2.4.5 温度胁迫因子估算

$T_1(x, t)$ 反映在低温和高温时植物内在的生化作用对光合作用产生限制而使净第一性生产力下降的影响，按公式（A.16）计算：

$$T_1(x, t) = 0.8 + 0.02 \times T_{opt}(x) - 0.0005 \times [T_{opt}(x)]^2 \dots\dots\dots (A. 16)$$

式中：

$T_{opt}(x)$ ——植物生长的最适温度，定义为某一区域一年内 $NDVI$ 值达到最高时的当月平均气温，单位为摄氏度（ $^{\circ}C$ ）。

注：当某一月平均温度小于或等于 $-10^{\circ}C$ 时， $T_1(x, t)$ 取0。

$T_2(x, t)$ 表示环境温度从最适温度 $T_{opt}(x)$ 向高温或低温变化时植物光能利用率逐渐变小的趋势，按公式（A.17）计算：

$$T_2(x, t) = \frac{1.184}{1 + \exp[0.2 \times T_{opt}(x) - 10 - T(x, t)]} \times \frac{1}{1 + \exp[0.3 \times -T_{opt}(x) - 10 + T(x, t)]} \dots\dots\dots (A. 17)$$

注：当某一月平均温度 $T(x, t)$ 比最适温度 $T_{opt}(x)$ 高 $10^{\circ}C$ 或低 $13^{\circ}C$ 时，该月的 $T_2(x, t)$ 值等于月平均温度 $T(x, t)$ 为最适温度 $T_{opt}(x)$ 时 $T_2(x, t)$ 值的一半。

B.2.4.6 水分胁迫因子估算

$W(x, t)$ 反映了植物所能利用的有效水分条件对光能利用率的影响，随着环境中有效水分的增加， $W(x, t)$ 逐渐增大，范围为0.5（在极端干旱条件下）到1（非常湿润条件下），按公式（A.18）计算：

$$W(x, t) = 0.5 + 0.5 \times E(x, t)/E_p(x, t) \dots\dots\dots (A.18)$$

式中：

- $E(x, t)$ ——区域实际蒸散量，单位为毫米（mm）；
- $E_p(x, t)$ ——区域潜在蒸散量，单位为毫米（mm）。

B.2.4.7 基于生态系统三级分类体系查找表

基于生态系统三级分类体系，对NDVI和SR最大值与最小值、最大光能利用率、最适温度进行了优化，按表B.3取值：

表B.3 生态系统分类NDVI和SR的最大值和最小值

| 生态系统分类 | $NDVI_{max}$ | $NDVI_{min}$ | SR_{max} | SR_{min} | ϵ_{max} | 最适温度（℃） |
|-------------|--------------|--------------|------------|------------|------------------|---------|
| 落叶阔叶林 | 0.87 | 0.1 | 14.38 | 1.22 | 0.830 | 19.5 |
| 常绿针叶林 | 0.85 | 0.1 | 12.33 | 1.22 | 0.740 | 22.4 |
| 落叶针叶林 | 0.83 | 0.1 | 10.76 | 1.22 | 0.520 | 18.2 |
| 针阔混交林 | 0.85 | 0.1 | 12.33 | 1.22 | 0.720 | 20.7 |
| 稀疏林 | 0.82 | 0.1 | 10.11 | 1.22 | 0.429 | 20.4 |
| 落叶阔叶灌木林（灌丛） | 0.82 | 0.1 | 10.11 | 1.22 | 0.429 | 22.6 |
| 常绿针叶灌木林（灌丛） | 0.82 | 0.1 | 10.11 | 1.22 | 0.429 | 22.6 |
| 稀疏灌木林（灌丛） | 0.82 | 0.1 | 10.11 | 1.22 | 0.429 | 22.6 |
| 草甸 | 0.70 | 0.1 | 5.67 | 1.22 | 0.542 | 15.4 |
| 草原 | 0.70 | 0.1 | 5.67 | 1.22 | 0.542 | 15.4 |
| 稀疏草地 | 0.70 | 0.1 | 5.67 | 1.22 | 0.542 | 15.4 |
| 灌丛沼泽 | 0.70 | 0.1 | 5.67 | 1.22 | 0.542 | 20.9 |
| 草本沼泽 | 0.70 | 0.1 | 5.67 | 1.22 | 0.542 | 19.8 |
| 沙地 | 0.70 | 0.1 | 5.67 | 1.22 | 0.542 | 18.3 |

B.2.5 总初级生产力

遥感估测总初级生产力模型主要分为3类：经验型植被指数模型、植被生态过程模型及机器学习模型，可根据评估区域和所具备的实际条件选择合适的模型和方法估算总初级生产力。其中植被生态过程模型中光能利用率模型应用较为广泛，按公式（A.19~A.20）计算：

$$GPP(x, t) = \frac{NPP(x, t)}{1 - A_{d0}(x, t)} \dots\dots\dots (A.19)$$

$$A_{d0}(x, t) = \frac{7.825 + 1.145 \times T(x, t)}{100} \dots\dots\dots (A.20)$$

式中：

- GPP ——总初级生产力，单位为每平方米有机碳含量的克数（ $gC \cdot m^{-2}$ ）；
- NPP ——净初级生产力，单位为每平方米有机碳含量的克数（ $gC \cdot m^{-2}$ ）；
- A_{d0} ——为自养呼吸消耗碳速率，无量纲。

B.2.6 指数归一化

将各指数值域转换到0~100之间，将属性非同向指数转换为同向，以方便后续构建生态系统质量综合指数，按公式（A.21）计算：

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \times 100 \dots\dots\dots (A. 21)$$

式中：

x' ——为归一化处理后指数；

x ——为原指数；

$\max(x)$ ——为各指数最大值；

$\min(x)$ ——为各指数最小值。

参 考 文 献

- [1] HJ 192 生态环境状况评价技术规范
 - [2] HJ 1141—2020 生态保护红线监管技术规范 生态状况监测（试行）
 - [3] HJ 1143—2020 生态保护红线监管技术规范 保护成效评估（试行）
 - [4] HJ 1166—2021 全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查
 - [5] HJ 1171—2021 全国生态状况调查评估技术规范——生态系统格局评估
 - [6] HJ 1172—2021 全国生态状况调查评估技术规范——生态系统质量评估
 - [7] DD 2013—12 多光谱遥感数据处理技术规程
 - [8] 区域生态质量评价办法（试行）（环监测〔2021〕99号）
-