

CSF

团 体 标 准

T/CSF 002-2021

森林生态质量监测指标体系及技术
规范

Monitoring indicator system and technological specification of forest
ecological quality

2021-06-16 发布

2021-06-16 实施

中国林学会 发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 森林生态质量监测指标体系.....	2
5 森林生态质量监测技术规范.....	3
6 森林生态质量评价.....	6
附录 A（资料性）.....	7
附录 B（资料性）.....	9

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。

本文件由中国林学会提出并归口。

本文件起草单位：中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所。

本文件主要起草人：牛香、王兵、宋庆丰、任军、管清成、李明文、徐丽娜、冯万富、刘斌、朱春雨、许庭毓。

森林生态质量监测指标体系及技术规范

1 范围

本规范适用于森林生态质量监测指标体系、监测技术等要求。
本文件适用于中华人民共和国森林生态质量监测工作。

2 规范性引用文件

下列文件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 33027 森林生态系统长期定位观测方法
GB/T 35377 森林生态系统长期定位观测指标体系
GB/T 38582 森林生态系统服务功能评估规范
GB/T 38590 森林资源连续清查技术规程
LY/T 2241 森林生态系统生物多样性监测与评估规范

3 术语和定义

GB/T 20000.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 森林生态质量 forest ecosystem quality

一定时空范围内森林生态系统结构、功能和抗干扰的综合特征，具体表现为森林生态系统结构特征的稳定性、生产能力、提供服务功能的能力和抗干扰能力。

3.2 群落结构 community structure

群落的物种组成、每个物种的个体数目和空间分布和动态变化等属性。

3.3 天然更新等级 natural regeneration level

用于评价更新效果，单位面积内更新苗木的长势和株数，主要根据幼苗各高度级的天然更新株数确定等级。

3.4 植被覆盖度 fractional vegetation cover

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，主要表征了植被水平结构状况。

3.5 归一化植被指数 normalized difference vegetation index

根据植被光谱特性，基于卫星可见光与红外波段的波段归一化差构造的指数，可以反映

植物群落地表覆盖、绿度、健康与否等生长状况。

3.6 叶面积指数 leaf area index

单位土地面积上植物叶片总面积与土地面积的比值，是反映植物群落冠层结构的指标。

3.7 郁闭度 canopy density

森林中乔木树冠的垂直投影面积与此林分总面积之比。

3.8 多样性指数 diversity index

用来度量区域森林生态系统组成丰富程度的指数，是判断森林生态系统稳定性的指标。

3.9 森林蓄积年增长率 annual growth of forest stock

林木在整个年龄期间每年的蓄积平均生长量。

3.10 净生态系统生产力 net ecosystem productivity

单位时间、单位空间内，土壤、凋落物及植物量等整个生态系统的有机物或能量的变化，亦即生态系统净初级生产力与异养呼吸（土壤有机质及凋落物呼吸）之差。

3.11 森林生态系统抗干扰能力 resilience of forest ecosystem

森林植被抵御病害、虫害、森林火灾以及其它自然灾害的能力。

3.12 土壤持水能力 soil water holding capacity

与土壤孔隙相对应的毛管持水能力和非毛管持水能力，是评价森林土壤涵养水源及水文调节的重要指标。

4 森林生态质量监测指标体系

森林生态质量监测指标体系详见表1。

表1 森林生态质量监测指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标获取方法
状态特征	森林结构	树种组成	地面调查
		龄组结构	地面调查
		林层与群落结构	地面调查
		平均胸径	地面调查、激光雷达
		平均树高	地面调查、激光雷达
		径级组	地面调查、激光雷达
		天然更新等级	地面调查
		植被覆盖度	地面调查、遥感
		叶面积指数	遥感
		郁闭度	遥感
	多样性指标	丰富度	地面调查

		Shannon Wiener 指数	地面调查
		均匀度指数	地面调查
		特有种指数	地面调查
		濒危物种指数	地面调查
功能特征	生产力	森林蓄积量单位面积年均生长量	地面调查、激光雷达
		净生态系统生产力	遥感、地面调查
	服务功能	空气负离子浓度	地面传感器
		土壤持水能力	地面传感器
		土壤有机质	地面调查、模型模拟
健康状态	抗干扰力	病虫害	地面调查、遥感
		森林火灾	地面调查、遥感
		气候灾害	地面调查、遥感
		其它灾害	地面调查、遥感

5 森林生态质量监测技术规范

5.1 树种组成

通过地面调查获取森林生态系统中的树种类别，并确定优势种与伴生种的分布。

5.2 龄组结构

通过地面调查获取不同龄组的分布结构。乔木林龄组根据优势树种（组）的平均年龄确定，速生丰产用材林、短轮伐期工业原料用材林龄组由各省（区、市）根据生物学特性和生长过程及经营目确定。

5.3 林层与群落结构

通过地面调查获取林层和群落结构组成，参照GB/T 38590。

5.4 平均胸径、平均树高

采用激光雷达定期测定并提取树高、胸径等结构参数，与地面实测数据对比较正后，利用这些参数构建随机森林回归模型，并建立树高胸径曲线模型。

5.5 径级组

依据平均胸径确定径级组，参照GB/T 38590。

5.6 天然更新等级

通过调查不同高度级的幼苗株数，进行天然更新等级确定，具体参照附表A.2。

5.7 植被覆盖度

区域植被覆盖度信息可由实地测量和利用遥感图像进行反演估算两种方法获取。其中，遥感估算法分为植被指数法和混合像元分解法。众多植被指数中归一化植被指数（NDVI）被广泛运用与植被生长状况的监测，且与植被覆盖度具有很好的相关关系。采用ERDAS的Model Maker 模块将归一化植被指数代入计算，进行植被覆盖度的反演。

其中通过遥感影像红光波段和近红外波段计算归一化植被指数（NDVI），具体计算公式如下：

$$NDVI_0 = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

式中，

$NDVI_0$ ——原始的 NDVI 值；

ρ_{nir} ——近红外波段的反射率；

ρ_{red} ——红光波段的反射率；

同时，采用 TIMESAT 软件对原始 NDVI 数据进行平滑重构处理，得到重构后的 NDVI。

5.8 叶面积指数

运用四尺度几何光学模型和切比雪夫多项式，并考虑二向反射分布（BRDF）效应，明确在不同地表覆盖类型、反射率、方位角条件下 LAI 与 SR 以及 RSR 之间的关系，计算有效的叶面积指数。计算公式如下：

$$L_E = f_{LE_SR}(SR \cdot f_{BRDF}(\theta_v, \theta_s, \phi)) \quad (2)$$

$$SR = \rho_{RED} / \rho_{NIR} \quad (3)$$

$$LAI = LE / \Omega_b \quad (4)$$

式中，

L_E ——有效叶面积指数；

f_{LE_SR} ——在特定视角和太阳高度角组合（ θ_V , θ_S , ϕ ）条件下，LE 和 LAI 之间关系；

SR ——简单比值指数；

ρ_{RED} ——MODIS 红波段；

ρ_{NIR} ——MODIS 近红外波段；

θ_S ——太阳天顶角；

θ_V ——传感器天顶；

ϕ ——太阳和传感器之间的相对方位角；

LAI ——真实的叶面积指数；

Ω_b ——植物群落 b 的植被冠层聚集度系数，禾草和禾谷类作物的植被冠层聚集度系数为 0.74，热带落叶林为 0.67，针叶林为 0.67，混合林为 0.69，灌木为 0.71。

5.9 郁闭度

地面调查方法应符合 GB/T 38590 的规定，遥感方法需要根据归一化植被指数（NDVI），结合土地覆盖数据，计算森林郁闭度，公式如下：

$$FCD = \frac{NDVI - NDVI_{non-crown}}{NDVI_{crown} - NDVI_{non-crown}} \quad (5)$$

式中,

FCD ——郁闭度;

$NDVI$ ——森林的 $NDVI$, 计算公式见 5.7;

$NDVI_{non-crown}$ ——非林冠覆盖地表的 $NDVI$;

$NDVI_{crown}$ ——全林冠覆盖地表的 $NDVI$ 。

5.10 多样性指数

采用地面调查的方法, 基于样地调查数据进行计算, 参照 LY/T 2241、GB/T 38582。

运用多样性指数表征生态系统类型的丰富程度, 计算公式如下:

$$DI = N \quad (6)$$

式中,

DI ——多样性指数;

N ——评价单元内生态系统类型的数量。

5.11 森林蓄积量单位面积年均生长量

地面调查法应符合 GB/T 38590 的规定, 基于地面调查和激光雷达相结合的方法, 用材积差法计算林分蓄积生长量。用一元材积表按下式计算各径阶材积差 ΔV :

$$\Delta V = \frac{1}{2c} (V_2 - V_1) \quad (7)$$

式中:

ΔV ——1cm 材积差, $m^3 \cdot hm^{-2}$;

V_1 ——比该径阶小一个径阶的材积, $m^3 \cdot hm^{-2}$;

V_2 ——比该径阶大一个径阶的材积, $m^3 \cdot hm^{-2}$;

c ——径阶距。

5.12 净生态系统生产力

监测技术方法应符合 GB/T33027 的规定, 植被净初级生产力扣除土壤异养呼吸 R_h 后的剩余部分, 其中土壤呼吸 R_h 的计算采用各土壤分碳库分解速率及在各碳库间的转移速率方程求解:

$$R_h = \sum_{j=1}^9 \tau_j k_j C_j \quad (8)$$

$$NEP = NPP - R_h \quad (9)$$

式中,

NPP ——净初级生产力, $gC/m^2 \cdot yr$;

NEP ——净生态系统生产力, $gC/m^2 \cdot yr$;

R_h ——异养呼吸;

τ_j ——碳库 j 定义的呼吸系数;

k_j ——碳库 j 的分解速率;

C_j ——碳库 j 的大小；
 A ——林分面积 (m^2)。

5.13 空气负离子浓度

在森林生态系统不同植被类型中设置监测场，建设要求参照 GB/T 33027、GB/T 35377。

监测方法如下：

- 1) 交通、电力等条件满足的情况下，采用原位空气负离子监测仪，长期连续自动测量不同时间间隔的林分内空气负离子浓度值。
- 2) 不满足 1 的情况或者加密测定应采用便携式手持设备。在同一监测点相互垂直的 4 个方向，待仪器稳定后每个方向连续记录 5 个负离子浓度的峰值，4 个方向共 20 组数据的平均值为此监测点的林分内空气负离子浓度值。
- 3) 所有监测数据实时传输至指定服务器或者接收端。

5.14 土壤持水能力

采用环刀法测定土壤容重和毛管孔隙度，采用比重瓶法测定土粒密度，计算出总孔隙度、非毛管孔隙度，应符合 GB/T 33027 的规定。计算公式为：

$$P_{\text{总}} = (1 - D_p/D_v) * 100\% \quad (10)$$

$$P_{\text{毛}} = 1 - P_{\text{非}} \quad (11)$$

式中，

D_p 、 D_v ——土壤容重、土粒密度 ($g \cdot cm^3$)；

$P_{\text{总}}$ 、 $P_{\text{毛}}$ 、 $P_{\text{非}}$ ——总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度 (%)。

5.15 土壤有机质

参照 GB/T 33027、GB/T 35377。

5.16 抗干扰指标

通过线路踏查、标准地调查、标本采集、拍照和遥感判读相结合的方法了解森林受灾情况，查清森林灾害类型（病虫害、森林火灾、自然灾害和其它灾害等）、危害面积（受害立木株数）及其受害程度。

6 森林生态质量评价

6.1 指标数据无量纲化处理

采用相对标准评价法来评价，即以全国该指标的最佳值为标准，将其具有不同量纲的指标转变成无量纲的属性数据。依据数量化理论 I（将反映生态质量的各因子作为项目，其各自不同的分级作为相应的类目）对每个评价指标因子各等级进行赋值，优 4 分，良 3 分，中 2 分，差 1 分。

$$Y_i = Y_{ijk} / \max Y_{ijk} \quad (12)$$

式中，

Y_{ijk} ——某一项指标的具体数值；

$\max Y_{ijk}$ ——该指标的最优值；

Y_i ——该指标的评价得分值。

6.2 森林生态质量评价模型

从森林结构、多样性指数、森林生产力、服务功能、抗干扰等方面，选取23个指标。对这些指标数量化和等级划分后，依据数量化理论 I 对每个评价指标因子各等级进行赋值，采用层次分析法和专家咨询法确定评价指标因子的相对权重。根据每个评价指标因子的权重值与等级分值进行加权计算求和，得到森林生态质量指数（ FEQ ，0-1），计算公式为：

$$FEQ = \sum V_i \cdot W_i / 23 \quad (13)$$

式中：

FEQ ——森林生态质量指数；

V_i ——各指标评分值；

W_i ——各指标权重。

附录 A

(资料性)

森林生态质量监测指标赋值标准与等级参考

森林生态质量监测指标赋值标准与等级见表A.1。

表 A.1 森林生态质量监测指标赋值标准与等级

类别	赋值标准与等级			
	I (优)	II (良)	III (中)	IV (低)
树种组成	优势树种明显、多个伴生树种	有优势种、少数伴生树种	一个优势树种、一个伴生树种	无优势树种或者单种
龄组结构	成熟林	近熟林	中龄林	过熟林、幼龄林
林层与群落结构	具有乔木层、灌木层、草本层和地被物层等完整结构	具有乔木层和其它两个下木层的较完整结构	具有乔木层和其它一个下木层的结构	只有一个乔木层简单结构
平均胸径 (cm)	≥29.0	17.0-28.9	5.0-16.9	<5.0
平均树高 (m)	≥16	10.0-15.9	4.0-9.9	<4.0
径级组 (cm)	≥38	26-36	14-24	6-12
天然更新等级	见表 A.2			
植被覆盖度	≥70%	40%-69%	20%-39%	<20%
叶面积指数	>5.0	3.0-5.0	2.0-2.9	<2.0
郁闭度	≥0.7	0.5-0.69	0.3-0.49	0.2-0.3
Shannon Wiener 指数	>5.0	3.1-5.0	1.0-3.0	<1.0
均匀度指数	≥0.80	0.70-0.79	0.50-0.69	<0.5
特有种指数	4	3	2	1
濒危物种指数	4	3	2	1
森林蓄积量单位面积年均生长量 (m ³ /hm ²)	>14	8-14	2-7	<2
净生态系统生产力 (gC/m ² /yr)	>500	350-500	200-349	<200
空气负离子浓度 (个/m ³)	>5000	1000-5000	600-999	<600
土壤持水能力	>60%	50%-60%	40%-49%	<40%
土壤肥力 (g/kg)	≥34	29-33	25-28	<25
病害	受害立木株数<10%	受害立木株数≥10%-29%	受害立木株数≥30%-59%	受害立木株数≥60%
虫害	未成灾	受害立木株数<20%	受害立木株数≥20%-49%	受害立木株数≥50%
森林火灾	未成灾	立木树冠受害<20%，受害株数<20%，均能恢复生长，无死亡木	立木树冠受害≥20%-49%，受害株数≥20%-49%，生长明显受到抑制，有少数死亡	立木树冠受害≥50%，受害株数≥50%，以濒死木和死亡木为主

其它自然灾害	未成灾	受害立木株数< 20%	受害立木株数 ≥20%-49%	受害立木株数 ≥50%
--------	-----	----------------	--------------------	----------------

表 A.2 天然更新等级划分

等级	高度 (cm)		
	<30	30cm-49	≥50
I (优)	≥5000	≥3000	≥2500
II (良)	4000-4999	2000-2999	1500-2499
III (中)	3000-3999	1000-1999	500-1499
IV (低)	<3000	<1000	<500

注：天然更新等级根据幼苗各高度级的天然更新株数（株/hm²或株/亩）确定。

附录 B

(资料性)

森林生态质量评价指标及权重参考

森林生态质量评价指标及权重参考见表 B.1。

表 B.1 森林生态质量评价指标及权重

目标层	约束层 (权重)	指标层 (权重)	因子层 (权重)
森林生态质量等级	森林生长状态 (0.4742)	森林结构 (0.3215)	树种组成 (0.0412)
			龄组结构 (0.0363)
			林层与群落结构 (0.0331)
			平均胸径 (0.0122)
			平均树高 (0.0094)
			径级组 (0.0205)
			天然更新等级 (0.0285)
			植被覆盖度 (0.0555)
			叶面积指数 (0.0373)
			郁闭度 (0.0475)
	多样性指标 (0.1527)	Shannon Wiener (0.0277)	
		均匀度指数 (0.0221)	
		特有种指数 (0.0398)	
		濒危物种指数 (0.0631)	
	功能特征 (0.3764)	森林生产力 (0.1873)	森林蓄积年生长量 (0.1039)
			净生态系统生产力 (0.0834)
		服务功能 (0.1891)	空气负离子 (0.0510)
			土壤持水能力 (0.0641)
			土壤肥力 (0.0740)
			抗干扰能力 (0.1494)
健康状态 (0.1494)	抗病害能力 (0.0298)		
	抗虫害能力 (0.0477)		
	抗森林火灾能力 (0.0357)		
	抗其它自然灾害能力 (0.0362)		