

附件 3

四川省林草碳普惠项目方法学

草地生态修复

(SCER-LY-003-V01)

目 录

1 引言	1
2 适用条件	1
3 规范性引用文件	1
4 术语与定义	1
5 项目边界	3
6 计入期	3
7 碳库选择	3
8 项目减排量核算	4
9 监测方法	5
10 项目审定与减排量核查要点	9
附录 A 草原生态修复技术	11
附录 B 草地生态修复植被碳密度与土壤有机碳密度年变化量	12
附录 C 不同退化程度草地土壤有机碳密度年变化量	13
附录 D 野外监测方案	14
参考文献	19

四川省林草碳普惠项目方法学 草地生态修复

(SCER-LY-003-V01)

1 引言

四川拥有丰富的草地资源，草地生态修复是提升草地碳汇功能的重要举措。本方法学旨在为四川省域内的退化草地（自然或非自然因素）生态修复项目提供一套可测量、可追溯、可核查的碳普惠核算方法。

2 适用条件

本方法学使用需同时满足以下条件：

- a) 适用于四川省域范围内已完成的退化草地生态修复项目所产生的碳普惠减排量的核算，且生态修复成效或草原综合植被盖度符合项目设计要求，达到项目验收条件或生态修复成效监测要求等相关规定；
- b) 项目土地权属清晰，无权属纠纷；如草地上无权属证明，归集体所有的，须有批准权的人民政府或主管部门出具相应证明材料；
- c) 退化草地生态修复措施符合国家或地方关于生态环境保护和土地利用的法律法规，符合相关技术标准或操作规程；
- d) 草地生态修复工程面积不少于 0.0667 hm²；
- e) 草地生态修复措施包括但不限于退化或沙化草地恢复、放牧管控及草地改良等措施。

3 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 19377 天然草地退化、沙化、盐渍化的分级标准
GB/T 40451 草原与牧草术语
NY/T 1342 人工草地建设技术规程
NY/T 11905 草原鼠害安全防治技术规程
LY/T 3323 草原生态修复技术规程
LY/T 3253 林业碳汇计量监测术语
HJ 1231 土壤环境 词汇

4 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1 草原 grassland

以草本植物为主，或兼有覆盖度小于 40%的灌木和乔木，为家畜和野生动物提供栖息地，并具有社会文化等多种功能的自然综合体。

[来源：GB/T 40451，2.1，有修改]

4.2 碳储量 carbon stock

一定面积下的草原生态系统中碳的数量。

[来源：LY/T 3253，2.2.33，有修改]

4.3 草地退化 grassland degradation

天然草地在干旱、风沙、水蚀、盐碱、内涝、地下水位变化等不利自然因素的影响下，或过度放牧等人类不合理利用，或滥挖、滥割、樵采破坏草地植被，引起草地生态环境恶化，草地牧草生物产量及生产力下降，草地利用性能降低，甚至失去利用价值的过程。

[来源：GB 19377，有修改]

4.4 草地生态修复 grassland ecological restoration

在不破坏或尽量少破坏草地自然植被的前提下，采用一定的生物、生态及工程技术措施，遵循生态学原理和生态系统内在机制，使受损的草地生态系统实现恢复。

本文件中，草地生态修复包括但不限于以下措施：自然恢复（包括围栏封育、禁牧、休牧等）和人工干预修复[补播、补播+施肥、人工草地建设等（附录 A）]。

4.5 碳普惠项目 carbon inclusive project

基于碳普惠机制的增汇减排活动，按碳普惠方法学实施计量和监测，经核证的项目减排量可用于抵消碳排放。

4.6 项目边界 project boundary

指项目主体实施草原固碳活动的地理范围。一个项目活动可以在若干个不同的地块上进行，但每个地块都应有特定的地理边界。该边界不包括位于两个或多个地块之间的土地。

[来源：LY/T 3253，2.3.23，有修改]

4.7 土壤有机质 soil organic matter

存在于土壤中的，由动植物残体及其转化产物所构成的物质的总称。

[来源：HJ 1231，2.11，有修改]

4.8 土壤有机碳密度 soil organic carbon density

单位面积中一定厚度的土层中有机碳储量。

4.9 地上生物量 aboveground biomass

某一时刻单位面积内植物地上部分累积的生物质总量，包括植物茎、叶片等。

[来源：GB/T 40451，3.3.22，有修改]

4.10 地下生物量 underground biomass

某一时刻单位面积内草原植物地下部分累积的物质总量，包括植物根系等。
[来源：GB/T 40451，3.3.23，有修改]

4.11 凋落物 litter

土壤层以上，植物地表器官枯死后的有机物质的总称。
[来源：GB/T 40451，3.3.17，有修改]

4.12 基线情景 baseline scenario

在没有拟议的草地生态修复项目活动时，最能合理代表草地碳普惠项目边界内的未来情景。

4.13 计入期 crediting period

草地生态修复项目活动相对于基线情景产生的净碳汇量的时间范围。

5 项目边界

项目边界可采用以下三种方法之一确定：

- a) 实地核查时参考生态修复的工程规划设计图、施工范围图与现场实际情况进行核查；
- b) 利用卫星遥感影像，在地理信息系统辅助下直接读取生态修复边界坐标；
- c) 采用卫星定位系统进行单点定位或差分技术直接测量生态修复区边界拐点坐标。

注：如草地生态修复面积较大，经长时间（10 年以上）生态修复后的草地边界可能发生改变，项目边界可采用实地核查与遥感影像相结合的方式确定。

6 计入期

生态修复工程竣工验收后的第 2 年作为首次碳汇核算时间。项目计入期为 3—12 年，最长可至 12 年。

7 碳库选择

碳库选择草地地上生物量、地下生物量、凋落物和土壤有机碳。

表 1 碳库的选择

碳库	是否选择	备注说明
地上生物量	是	生态修复将显著增加植被地上生物量，会导致该碳库发生显著变化
地下生物量	是	生态修复将显著增加植被地下生物量，会导致该碳库发生显著变化
凋落物	是	凋落物是草地生物量的重要组成，生态修复后将显著增加凋落物碳储量，会导致该碳库发生显著变化
土壤有机质	是	生态修复将显著增加土壤碳储量，会导致该碳库发生显著变化

8 项目减排量核算

8.1 基准线情景识别

本文件规定的基准线情景为：不实施生态修复活动，维持项目活动之前的草地与土地利用管理方式。

退化草地由于短时间内自然恢复非常困难，基准线情景下植被生物质清除量视为 0；土壤碳储量变化在项目清除量计算中予以考虑。

8.2 额外性论证

本方法学采用四川省退化草地未进行生态修复活动为基准线情景，通过草地生态修复，提升草地生态质量与固碳功能，使退化草地固碳水平高于基准线情景，同时提高草地的生物多样性保护、涵养水源、保持水土、净化空气、保育土壤等方面的生态服务功能。

基于项目所发挥的社会效益与生态效益，草地生态修复碳普惠项目具有额外性，免以论证。

8.3 项目清除量计算

通过草地生态修复，项目清除量包括植被与土壤清除量。

8.3.1 植被清除量

项目植被清除量根据野外测量得到（监测及计算方法见附录 D）；若不具备野外监测条件，则按照如下公式计算：

$$\Delta C_{VEG,t} = \sum_i (\Delta C_{VEG,i,t} \times A_i) \times \frac{44}{12} \quad \text{公式（1）}$$

式中：

- $\Delta C_{VEG,t}$ — 项目边界内第 t 年植被清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $\text{t CO}_2\text{e} \cdot \text{a}^{-1}$ ）；
- $\Delta C_{VEG,i,t}$ — 项目边界内第 t 年第 i 生态修复区内植被碳密度年均变化量，单位为吨碳每公顷每年（ $\text{t C hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ ），见附录 B.1；
- A_i — 项目第 i 生态修复区面积，单位为公顷（ hm^2 ），下同；
- $\frac{44}{12}$ — 将 C 转换为 CO_2 的分子量比值，无量纲，下同。

8.3.2 土壤清除量

土壤清除量应根据草地生态修复后土壤有机碳的增加量与不实施生态修复的退化草地土壤有机碳损失量的差值计算，可根据野外测量得到（监测及计算方法见附录 D）；若不具备野外监测条件的按照如下公式计算：

$$\Delta C_{SOC,t} = \sum_i (\Delta C_{SOC,i,t} - \Delta C_{SOC,deg,i,j}) \times A_i \times \frac{44}{12} \quad \text{公式（2）}$$

式中：

$\Delta C_{SOC,t}$	—	项目边界内第 t 年土壤清除量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）；
$\Delta C_{SOC,i,t}$	—	项目边界内第 t 年生态修复区单位面积土壤有机碳密度年均变化量，单位为吨碳每公顷每年（ $t\ C\ hm^{-2}\ a^{-1}$ ），同生态修复年限的土壤有机碳密度年变化量见附录 B.2；
$\Delta C_{SOC,deg,i,j}$	—	第 i 生态修复区不实施生态修复第 j 种退化程度草地土壤有机碳密度年均损失量，单位为吨碳每公顷每年（ $t\ C\ hm^{-2}\ a^{-1}$ ）， $j = 1, 2, 3$ ，分别表示轻度、中度、重度退化程度，不同退化程度草地土壤有机碳密度年均损失量见附录 C。

8.4 项目碳泄漏

根据适用条件，本方法学适用于已完成生态修复草地碳普惠计算，不考虑农业活动的转移、燃油工具的化石燃料燃烧等导致的温室气体排放，故无潜在碳泄漏，即泄漏量 $LK_t = 0$ 。

8.5 项目减排量

项目减排量等于项目边界内植被与土壤清除量减去碳泄漏量。综上，可按照如下公式计算：

$$\Delta C_{PROJ,t} = \Delta C_{VEG,t} + \Delta C_{SOC,t} - LK_t$$

公式（3）

式中：

$\Delta C_{PROJ,t}$	—	项目边界内第 t 年项目减排量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t\ CO_2e \cdot a^{-1}$ ）。
---------------------	---	--

9 监测方法

9.1 无需监测的参数和数据

表 2 $\Delta C_{VEG,i,t}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$\Delta C_{VEG,i,t}$
应用的公式编号	公式（1）
数据描述	第 i 生态修复区第 t 年植被碳密度年均变化量
数据单位	$t\ C\ hm^{-2}\ a^{-1}$
数据来源	文献研究，或 IPCC，或调研取得的经验值综合计算所得
数值（如有）	0.55（0-10 年，种草）、1.23（0-10 年，灌木）、0（≥10 年，种草或灌木）
数据用途	用于计算植被碳增汇量

表 3 $\Delta C_{SOC,i,t}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$\Delta C_{SOC,i,t}$
应用的公式编号	公式 (2)
数据描述	第 i 生态修复区第 t 年单位面积土壤有机碳密度年均变化量
数据单位	$t\ C\ hm^{-2}\ a^{-1}$
数据来源	根据文献研究, 或 IPCC, 或调研取得的经验值综合计算所得
数值 (如有)	0.2 (0-2 年)、1.2 (3-5 年)、1.0 (5-8 年)、0.6 (8-12 年)、0 (≥ 10 年)
数据用途	用于计算土壤碳汇增量

表 4 $\Delta C_{SOC,deg,j}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$\Delta C_{SOC,deg,j}$
应用的公式编号	公式 (2)
数据描述	不实施生态修复第 j 类退化草地土壤有机碳密度年均损失量
数据单位	$t\ C\ hm^{-2}\ a^{-1}$
数据来源	文献研究, 或 IPCC, 或调研取得的经验值综合计算所得
数值 (如有)	0 (轻度退化草地)、-0.245 (中度退化草地)、-0.341 (重度退化草地)
数据用途	用于计算土壤碳汇增量

表 5 $D_{i,l}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$D_{i,l}$
应用的公式编号	公式 (D-8)
数据描述	第 i 生态修复区第 l 层土壤取样深度
数据单位	cm
数据来源	根据 IPCC 规定, 计算 0-30 cm 土壤有机碳储量变化
数值 (如有)	10 (0-10 cm), 20 (10-30 cm)
数据用途	用于计算土壤有机碳储量

9.2 需要监测的参数和数据

表 6 A_i 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	A_i
应用的公式编号	公式（1）、公式（2）
数据描述	第 i 生态修复区面积
数据单位	hm ²
数据来源	地面核查，或遥感
数值（如有）	/
数据用途	用于计算项目边界内清除量

表 7 $B_{aboveground,i}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$B_{aboveground,i}$
应用的公式编号	公式（D-4）
数据描述	第 i 生态修复区地上生物量
数据单位	t d.m.·hm ⁻²
数据来源	野外测定
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	皮尺、定位和导航设备
监测程序与方法要求	参照附录 D 及《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》相关程序与方法要求
监测频次与记录要求	3-5 年监测一次
质量保证/质量控制程序要求	监测样方具有代表性；质量控制参考《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》中相关质量检查规定
数据用途	计算地上生物量碳储量变化

表 8 $B_{belowground,i}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$B_{belowground,i}$
应用的公式编号	公式（D-5）
数据描述	第 i 生态修复区地下生物量
数据单位	t d.m.·hm ⁻²
数据来源	野外测定
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	皮尺、定位和导航设备

监测程序与方法要求	参照附录 D 及《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》相关程序与方法要求
监测频次与记录要求	3-5 年监测一次
质量保证/质量控制程序要求	监测样地具有代表性；质量控制参考《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》中相关质量检查规定
数据用途	计算地下生物质碳储量变化

表 9 $B_{litter,i}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$B_{litter,i}$
应用的公式编号	公式 (D-6)
数据描述	第 i 生态修复区凋落物生物量
数据单位	$t\ d.m. \cdot hm^{-2}$
数据来源	野外测定
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	皮尺、定位和导航设备
监测程序与方法要求	参照附录 D 及《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》相关程序与方法要求
监测频次与记录要求	3-5 年监测一次
质量保证/质量控制程序要求	监测样地具有代表性；质量控制参考《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》中相关质量检查规定
数据用途	计算凋落物碳储量变化

表 10 $SOC_{i,l}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$SOC_{i,l}$
应用的公式编号	公式 (D-8)
数据描述	第 i 生态修复区第 l 层土壤有机碳含量
数据单位	$g\ C\ kg^{-1}$
数据来源	野外测定
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	皮尺、土壤采样器、定位和导航设备
监测程序与方法要求	参照附录 D 及《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》相关程序与方法要求
监测频次与记录要求	3-5 年监测一次
质量保证/质量控制程序要求	监测样方具有代表性；质量控制参考《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》中相关质量检查规定
数据用途	计算土壤有机碳储量变化

表 11 $\theta_{i,l}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$\theta_{i,l}$
应用的公式编号	公式 (D-8)
数据描述	第 i 生态修复区第 l 层土壤石砾含量
数据单位	%
数据来源	野外测定
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	皮尺、土壤环刀、定位和导航设备
监测程序与方法要求	参照附录 D 及《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》相关程序与方法要求
监测频次与记录要求	3-5 年监测一次
质量保证/质量控制程序要求	监测样地具有代表性；质量控制参考《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》中相关质量检查规定
数据用途	计算土壤有机碳储量变化

表 12 $B_{i,l}$ 的技术内容和确定方法

数据/参数名称	$B_{i,l}$
应用的公式编号	公式 (D-8)
数据描述	第 i 生态修复区第 l 层土壤容重
数据单位	g cm^{-3}
数据来源	野外测定
监测点要求	所有野外监测样地
监测仪表要求	皮尺、土壤环刀、定位和导航设备
监测程序与方法要求	参照附录 D 及《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》相关程序与方法要求
监测频次与记录要求	3-5 年监测一次
质量保证/质量控制程序要求	监测样方具有代表性；质量控制参考《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》中相关质量检查规定
数据用途	计算土壤有机碳储量变化

10 项目审定与减排量核查要点

审定与核查机构应基于项目设计文件，对项目真实性进行逐条分析，重点确定以下内容：

- 核查项目是否符合国家和地方关于草地生态环境保护、生态修复、碳普惠等相关政策要求；确认项目是否已获得必要的立项审批手续；审查项目计划书和实施方案等；
- 土地权属是否清晰。在项目审定和减排量核查时，须核对项目的土地所有权（或使

用权)的证据,如不动产权属证书、土地(或草地)承包权或流转合同;或经有批准权的人民政府或主管部门出具的相关证明材料等;

c)项目开始与碳普惠计入期。项目开始时间可以是项目业主与施工方签署的施工合同和相关付款证明,或开始施工或管理的日期确定,如项目开工日期或施工日志开工日期等来确定;

d)项目边界。仔细核对项目地理边界,可以是规划设计图,施工范围图,或业主提供项目边界的矢量数据文件(如.shp文件或.kml文件),或项目所在区的遥感影像图,审定核查使用的方法应与开发方使用的监测方法一致。如果与实际情况不符合,可以按照实际测量补充完善;

e)减排量核算的准确性。须仔细核对减排量核算方法选择正确性,数据真实性及自选参数的合理性。审定过程中建议使用遥感或野外监测等方式验证,且使用方法应与开发方使用的监测方法一致。

附录 A 草原生态修复技术

草原生态修复技术包括但不限于以下措施：

表 A-1 草原生态修复技术

主要草原修复技术	具体技术措施
围栏封育	采用围栏实施封闭管理，将退化草原封闭，禁止割草、放牧、采集牧草种子等人为干扰，使草原以自我恢复能力进行修复
禁牧	对过度放牧利用的草原或打草场等特殊利用的草原，以年为单位，采取政策性、政令性及制度性等措施，实行1年以上禁止放牧利用
休牧	对轻、中度退化草原，在春季植物返青期或夏末秋初，通过设置围栏或其他方式管理家畜进入，以当地植物物候期确定开始和结束休牧的时间或采取轮牧的方式进行，休牧期一般不少于 45 d
补播	对退化草地实施围栏保护、松耙、补播、施肥、排灌等辅助性措施而培育的草地。
补播+施肥	对退化草地实施补播的基础上，同时采用沟施、撒施、施用有机肥料或无机肥料等方法进行草原养分补充，施肥量视土壤肥力、植物需肥量确定

来源：《NY/T 1342 人工草地建设技术规程》《LY/T 3323 草原生态修复技术规程》

附录 B 草地生态修复植被碳密度与土壤有机碳密度年变化量

表 B-1 生态修复后植被碳密度年变化量 ($\text{t C hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)

生态修复年限	种草	灌木
0-10 年	0.55	1.23
≥ 10 年	0	0

数据来源：文献整合，主要包括参考文献[1]-[4]。

表 B-2 草地生态修复土壤有机碳密度年变化量 ($\text{t C hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)

生态修复年限	年变化量
0-2 年	+0.2
3-5 年	+1.2
5-8 年	+1.0
8-12 年	+0.6
≥ 12 年	0

数据来源：文献整合，主要包括参考文献[5]-[13]。

附录 C 不同退化程度草地土壤有机碳密度年变化量

表 C-1 不同退化程度草地土壤有机碳密度年变化量 ($\text{t C hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)

退化程度	年变化量
轻度退化草地	0
中度退化草地	-0.245
重度退化草地	-0.341

注：退化程度可根据施工文件，或前期本底资料等进行判定。数据来源：参考文献 [14]-[20]。

附录 D 野外监测方案

如需实地监测草地生态修复碳普惠成效，野外监测方案可参考《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程》中规定的草地样方监测与调查方法。具体如下：

D.1 抽样设计要求

项目监测所需的样地数量，可按照如下方法进行计算：

第一步：计算样地数量 n 。如果 $n \geq 30$ ，则该步骤所得样地数为 n 值；如果 $n < 30$ ，则须采用自由度为 $n-1$ 时的 t_{VAL} 值，进行第二次迭代计算，得到的 n 值即为最终的样地数。

$$n = \frac{N \times t_{val}^2 \times S^2}{N \times E^2 + t_{val}^2 \times S^2} \quad \text{公式 (D-1)}$$

式中：

- n — 项目边界内所需的监测样地数量，无量纲；
- N — 项目边界内监测样地的抽样总体， $N=A/A_p$ ；其中 A 是项目总面积， A_p 是样地面积，无量纲；
- t_{val} — 可靠性指标，取值为 1.645，无量纲；下同；
- S — 项目边界内单位面积生物质碳密度或土壤碳密度估计值的标准差，单位为吨碳每公顷（ $t C hm^{-2}$ ）；项目设计阶段，采用单位面积生物质碳储量或土壤碳储量估计值的 10%；
- E — 项目单位面积生物质碳储量或土壤碳储量估计值允许的误差范围，单位为吨碳每公顷（ $t C hm^{-2}$ ）；项目设计阶段，采用项目单位面积生物质碳储量或土壤碳储量估计值的 10%。

第二步：当抽样面积较大时（抽样面积大于项目面积的 5%），按公式（D-1）进行计算获得样地数 n 之后，按照公式（D-2）对 n 值进行调整，从而确定最终的样地数（ n_a ）：

$$n_a = n \times \frac{1}{1 + \frac{n}{N}} \quad \text{公式 (D-2)}$$

式中：

- n_a — 调整后项目边界内所需的监测样地数量，无量纲；
- n — 项目边界内所需的监测样地数量，无量纲；
- N — 项目边界内监测样地的抽样总体，无量纲。

第三步：当抽样面积较小时（抽样面积小于项目面积的 5%），可采用简化方式计算：

$$n = \left(\frac{t_{val}}{E} \right)^2 \times S^2 \quad \text{公式 (D-3)}$$

式中：

- n — 项目边界内所需的监测样地数量，无量纲；

S	—	项目边界内单位面积生物质碳储量或土壤碳储量估计值的标准差，单位为吨碳每公顷 ($\text{t C}\cdot\text{hm}^{-2}$)；项目设计阶段，采用单位面积生物质碳储量或土壤碳储量估计值的 10%；
E	—	项目单位面积生物质碳储量或土壤碳储量估计值允许的误差范围，单位为吨碳每公顷 ($\text{t C}\cdot\text{hm}^{-2}$)；项目设计阶段，采用项目单位面积生物质碳储量或土壤碳储量估计值的 10%。

D.2 样地布设方案

- (1) 样地定位。根据设定的样地位置，采用 GNSS 导航、引线定位等方法进行样地定位。当采用差分定位技术确保定位精度达到 1 m 以内时，可以直接进行样地定位。否则，应当采用引线定位方法，当到达样地中心点理论位置 30~50 米范围内时，在现地寻找明显地物作为引点，用定位仪采集引点坐标，再从引点位置按方位角和水平距通过实测方法确定样地中心点。
- (2) 标志设置。以样地中心点为起点，使用智能罗盘仪测角、皮尺量距，分别以 0 度、120 度、240 度方位角三个方向测设 3 条 40 m 长（水平距）的样线（图 D-1），尽量避开障碍物。
- (3) 样地设置。以样地中心点为圆心、40 m 为半径设置面积为 0.5 hm² 的圆形样地。在 3 条样线端点处分别设置 3 个 2 m×2 m 观测小样方，样方对角线与样线重合。在观测小样方周围 5 米范围内，选取 3 个最能代表观测小样方状况的 1 m×1 m 测产小样方，但不得与样线和观测小样方重叠。

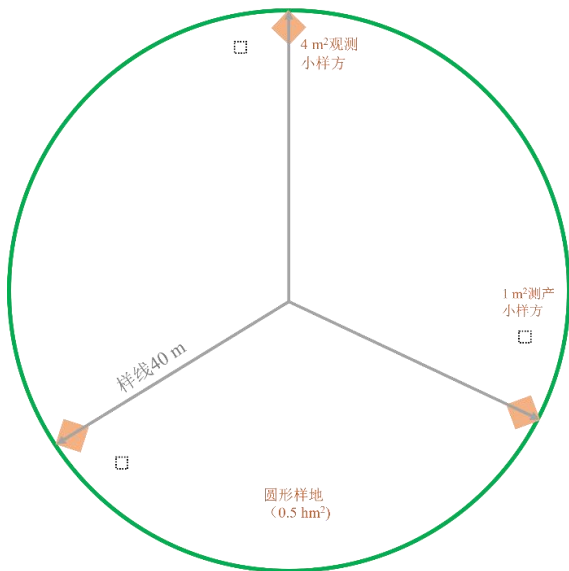


图 D-1 样地设置

D.3 样地调查

样地用于调查记录样地的相关属性，包括地形因子、土壤因子、地表特征，以及草原类、草原型、植被结构等因子。样地因子中的单位面积产草量、优势度、裸斑面积比例等指标通过样线、样方的调查结果测算。相关记录信息表格填写参照《2022 年全国森林、草原、湿

地调查监测技术规程》。

D.4 样地调整

项目实施阶段，如果为了满足抽样精度需要额外增加样地，须对样地数量和布设进行调整。在保留已有样地的基础上，按照上述原则和步骤，补充并布设新的监测样地，以确保抽样精度。

D.5 植被清除量计算

采用“碳储量变化法”计算项目边界内的地上和地下植被碳储量在一段时间内的年均变化：

$$\Delta C_{VEG, aboveground, t} = \sum_i \left(\frac{B_{aboveground, i, t_2} - B_{aboveground, i, t_1}}{t_2 - t_1} \times CF_{B_{aboveground, i}} \times A_i \right) \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 (D-4)}$$

$$\Delta C_{VEG, belowground, t} = \sum_i \left(\frac{B_{belowground, i, t_2} - B_{belowground, i, t_1}}{t_2 - t_1} \times CF_{B_{belowground, i}} \times A_i \right) \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 (D-5)}$$

式中：

$\Delta C_{VEG, aboveground, t}$	—	项目边界内第 t 年地上植被碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量（ $t \text{ CO}_2\text{-e} \cdot \text{a}^{-1}$ ）；
$\Delta C_{VEG, belowground, t}$	—	项目边界内第 t 年地下植被碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量（ $t \text{ CO}_2\text{-e} \cdot \text{a}^{-1}$ ）；
$B_{aboveground, i, t_2}$	—	项目第 i 生态修复区第 t_2 年的单位面积地上植被碳储量，单位为吨干物质每公顷（ $t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）；
$B_{aboveground, i, t_1}$	—	项目第 i 生态修复区第 t_1 年的单位面积地上植被碳储量，单位为吨干物质每公顷（ $t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）；
$B_{belowground, i, t_2}$	—	项目第 i 生态修复区第 t_2 年的单位面积地下植被碳储量，单位为吨干物质每公顷（ $t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）；
$B_{belowground, i, t_1}$	—	项目第 i 生态修复区第 t_1 年的单位面积地下植被碳储量，单位为吨干物质每公顷（ $t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）；
t_1, t_2	—	项目开始后的第 t_1 年和第 t_2 年，单位为年（ a ），且 $t_1 < t < t_2$ ；下同；
$CF_{B_{aboveground, i}}$	—	项目第 i 生态修复区地上生物质碳含量（%），可通过实验室测量；如无测量值，可采用缺省值 50% 估算；
$CF_{B_{belowground, i}}$	—	项目第 i 生态修复区地下生物质碳含量（%），可通过实验室测量；如无测量值，可采用缺省值 50% 估算；
A_i	—	项目第 i 生态修复区面积（ hm^{-2} ），下同；
$\frac{44}{12}$	—	将 C 转换为 CO_2 的分子量比值，无量纲，下同。

D.6 枯落物清除量计算

采用“碳储量变化法”计算项目边界内凋落物碳储量在一段时间内的年均变化：

$$\Delta C_{litter,t} = \sum_i \left(\frac{B_{litter,i,t_2} - B_{litter,i,t_1}}{t_2 - t_1} \times CF_{B_{litter,i}} \times A_i \right) \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 (D-6)}$$

式中：

$\Delta C_{litter,t}$	—	项目边界内第 t 年枯落物碳储量变化量，单位为吨二氧化碳当量（ $t \text{ CO}_2\text{-e} \cdot \text{a}^{-1}$ ）；
B_{litter,i,t_2}	—	项目第 i 生态修复区第 t_2 年的单位面积枯落物生物量，单位为吨干物质每公顷（ $t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）；
B_{litter,i,t_1}	—	项目第 i 生态修复区第 t_1 年的单位面积枯落物生物量，单位为吨干物质每公顷（ $t \text{ d.m.} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）；
$CF_{B_{litter,i}}$	—	$CF_{B_{litter,i}}$ —项目第 i 生态修复区枯落物碳含量（%），可通过实验室测量；如无测量值，可采用缺省值 50% 估算。

D.7 土壤清除量计算

采用“碳储量变化法”计算项目边界内土壤有机碳储量在一段时间内的年均变化：

$$\Delta C_{SOC,t} = \sum_i \frac{SOC_{PROJ,i,t_2} - SOC_{PROJ,i,t_1}}{t_2 - t_1} \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 (D-7)}$$

$$SOC_{PROJ,i} = \sum_l \sum_i SOC_{t,i,l} \times (1 - \theta_{i,l}) \times B_{i,l} \times \frac{D_{i,l}}{10} \times A_i \quad \text{公式 (D-8)}$$

式中：

$\Delta C_{SOC,t}$	—	项目边界内第 t 土壤有机碳储量年均变化量，单位为吨二氧化碳当量每年（ $t \text{ CO}_2\text{-e} \cdot \text{a}^{-1}$ ）；
SOC_{PROJ,i,t_2}	—	项目边界内第 i 生态修复区第 t_2 年的土壤有机碳储量，单位为吨碳（ $t \text{ C}$ ）；
SOC_{PROJ,i,t_1}	—	项目边界内第 i 生态修复区第 t_1 年的土壤有机碳储量，单位为吨碳（ $t \text{ C}$ ）；
$SOC_{PROJ,i}$	—	项目边界内第 i 生态修复区土壤有机碳储量，单位为吨碳（ $t \text{ C}$ ）；
$SOC_{t,i,l}$	—	第 i 生态修复区第 t 年第 l 层土壤有机碳含量（ $g \text{ C kg}^{-1}$ ）；
$\theta_{i,l}$	—	第 i 生态修复区第 l 层石砾含量（%）；
$B_{i,l}$	—	第 i 生态修复区第 l 层土壤容重（ $g \text{ cm}^{-3}$ ）；
$D_{i,l}$	—	第 i 生态修复区第 l 层土壤厚度（ cm ）。根据 IPCC 要求，土层深度一般估算至 30 cm 。本方法学按 0–10、10–30 cm 分层取样。

D.8 项目清除量

草地生态修复后第 t 年的项目清除量可按 D-9 计算：

$$\Delta C_{PROJ,t} = \Delta C_{VEG, aboveground,t} + \Delta C_{VEG, belowground,t} + \Delta C_{litter,t} + \Delta C_{SOC,t} \text{ 公式 (D-9)}$$

式中：

$\Delta C_{PROJ,t}$ — 项目边界内第 t 年项目清除量。

参考文献

- [1] 花蕊, 董瑞, 包达尔罕等. 基于无人机影像 VDVI 指数的不同草地类型地上生物量估算. 草原与草坪, 2024, 44(5), 124-131.
- [2] 郭学兵, 初玉, 杜明武等. 2005-2020 年中国干旱半干旱区典型草地和荒漠生态系统植被地上生物量数据集. 中国科学数据, 2024, 9(3), 50-63.
- [3] 赵佳俊. 草地植被碳储量时空格局变化及其影响因素分析. 中国环境科学研究院. 2024.
- [4] 生态环境部. 温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇 (CCER-14-001-V01) [S/OL]. 2023.
- [5] 郎山鑫, 胡嗣佳, 李梦等. 生态恢复措施提升高寒沙化草地的固碳效应. 环境科学与技术, 2021, 44(4), 149-157.
- [6] 蒲琴. 不同生态修复模式下川西北沙化土地有机碳、氮及酶活性的变化研究. 四川农业大学, 2017.
- [7] 苏生禹, 谢欢, 杨廷勇等. 封育对黄河上游高寒草地植被和土壤理化特征的影响. 草学, 2024, (4), 61-65.
- [8] 李露航, 类延宝, 陈秋捷等. 若尔盖高寒沙化草地恢复过程中土壤全碳和植物根系特征的变化. 生态学杂志, 2023, 42(2), 282-290.
- [9] 田应兵. 若尔盖高原湿地生态系统的恢复与土壤碳、氮变化的研究. 西南农业大学, 2003.
- [10] 林伟山, 张琳, 向雪梅等. 三江源区退化高寒草甸植被生物量和养分的动态研究. 西南农业学报, 2024.
- [11] 税伟, 白剑平, 简小枚. 若尔盖高原沙化草地治理区固碳能力研究. 自然灾害学报, 2016, 25(6), 9.
- [12] 胡嗣佳. 若尔盖高寒沙化草地生态恢复效应评价. 四川农业大学, 2019.
- [13] 韩东亮. 不同利用方式高寒草原土壤有机碳过程及其对增温与增雨的响应. 新疆农业大学, 2018.
- [14] 蔡晓布, 彭岳林, 于宝政. 西藏高寒草原土壤团聚体有机碳变化及其影响因素分析. 农业工程学报, 2013, 29(11), 92-99.
- [15] 蔡晓布, 周进. 退化高寒草原土壤有机碳时空变化及其与土壤物理性质的关系. 应用生态学报, 2009, 20(11), 2639-2645.
- [16] 马百兵. 若尔盖盆地草地沙化评估研究. 长安大学, 2018.
- [17] 宋小艳, 王长庭, 胡雷等. 若尔盖退化高寒草甸土壤团聚体结合有机碳的变化. 生态学报, 2022, 42(4), 1538-1548.
- [18] 钱虹宇, 陈子彦, 冯小轩等. 不同退化程度高寒草甸土壤可溶性有机质含量及光谱特征. 草地学报, 2024, 32 (12): 3715-3721.
- [19] 王洋. 不同退化程度下高寒草甸土壤有机碳及团聚体特征研究. 南京农业大学, 2012.
- [20] 陈秋捷, 张楠楠, 仲波等. 若尔盖高寒草地退化沙化过程中土壤养分与团聚体结构的变化特征. 生态科学, 2019, 38(4), 13-20.
- [21] 国家林业和草原局, 2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术规程, 2022.
- [22] 国家林业和草原局, 林业碳汇计量监测术语, 2021.