



团体标准

T/CES XXX-XXXX

农业园区低碳能源系统碳汇计量方法

Methods for carbon sink accounting of agricultural parks with low-carbon energy systems

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前言.....II

1 范围..... 3

2 规范性引用文件..... 3

3 术语和定义..... 3

4 碳汇计量边界..... 4

 4.1 地理边界..... 4

 4.2 时间边界..... 4

 4.3 计量边界..... 4

5 植物碳汇监测方法..... 4

 5.1 抽样方法..... 4

 5.2 测定方法..... 6

 5.3 数据记录和质量控制..... 7

6 可再生能源碳减排监测方法..... 7

 6.1 采样方法..... 7

 6.2 测量方法..... 7

7 碳汇计算方法..... 8

 7.1 计量步骤..... 8

 7.2 计量方法..... 8

 7.3 农业园区低碳能源系统全年总碳效益..... 10

附录 A （资料性） 农业园区低碳能源系统碳汇计量取样记录表..... 13

参考文献..... 15

 表 A.1.1 样地面积大小（m²）..... 13

 表 A.2.1 样地调查取样记录表..... 13

 表 A.2.2 可再生能源设备出力数据记录表..... 14

图 1 农业园区碳汇监测区块及样地设置示意图..... 5

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会电力能效技术组工作组归口。

本文件起草单位：国网甘肃省电力公司电力科学研究院、重庆大学、国网甘肃省电力公司

本文件主要起草人：张海龙、方斯顿、牛甄、赵麟祥、黄江帆、王仕俊、刘怀盛、罗颖冰、祁莹、王维洲、梁琛、何欣、吕梅琳、左佑茗、井天军、陈建鹏、蔡峡、张文、涂超、向昱瑾、高喜、王婷婷、李吉侗。

本文件为首次发布。

农业园区低碳能源系统碳汇计量方法

1 范围

本文件规定了农业园区低碳能源系统碳汇计量方法，包括碳汇计量边界、植物碳汇监测方法、可再生能源碳减排监测方法、碳抵消计算方法等内容。

本文件适用于各类以农业生产为主要功能的园区，包括但不限于设施农业（温室、大棚等）园区、草场牧场、农产品加工集聚区以及“光伏+农业”等复合型农业园区。

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 17215.321—2021 电测量设备（交流） 特殊要求 第21部分：静止式有功电能表（A级、B级、C级、D级和E级）

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

碳抵消量 carbon offset

是指农牧业生产园区通过使用可再生能源实现的碳减排量，以及园区地理边界范围内植物碳汇固碳量之和。

3.2

农业园区低碳能源系统 agricultural park with low-carbon energy systems

是指在农牧业生产园区中，通过集成生物质能、风能、太阳能等两种以上可再生能源技术替代传统煤、石油等化石能源，并结合高效储能技术，实现低碳减排的能源系统。

3.3

碳汇 carbon sink

是指通过植被种植、生境恢复等措施，利用植物和土壤等载体吸收和存储大气中二氧化碳，从而降低大气中二氧化碳浓度的过程、活动或机制。

3.4

净光合速率 net photosynthetic rate

是指在一定环境条件下，单位叶面积植物通过光合作用固定二氧化碳并扣除呼吸消耗后的净同化速率，通常以表示。

3.5

排放因子 emission factor

是指表征单位生产或消费活动量的温室气体排放的系数。

[来源：GB/T 32150]

3.6

叶面积指数 leaf area index

是指单位土地面积上植物叶片总面积占土地面积的倍数。

3.7

典型日 typical day

是指在典型气象年或特定系统中选取的，最能代表某一季节或日数据特征的一天。

3.8

监测区块 monitoring block

是指在农业园区地理边界内，根据温室、农田、露地等地块类型划分的、边界与面积明确且作为植物碳汇抽样与观测基本空间单元的网格化区域。

4 碳汇计量边界

4.1 地理边界

4.1.1 园区边界

园区边界限定为农业园区开展生产活动的空间区域，包括但不限于园区内的温室大棚、农田用地等，以园区规划的土地边界或地块台账为计量边界。

4.1.2 碳汇监测区块边界

在园区边界内，根据温室、农田、露地等地块类型划分网格作为碳汇监测区块，并明确各区块的边界和面积。在同一计量周期内，监测区块宜保持稳定，因土地利用变化确需调整时，应记录变更情况并据此修正碳汇计量结果。

4.2 时间边界

4.2.1 时间边界应以自然日为监测周期，以月度、季度或年度为基本计量周期，根据计量对象确定起止日期，可采用自然年或农业生产年度。

4.2.2 为反映生物节律对农业园区植物碳汇的影响，年度时间边界内宜按植物的生长状态和生长阶段划分为若干监测分段，并在各分段内安排光合测定与相关观测，获取代表不同季节日照强度和气候特征的基础数据。

4.2.3 为反映天气条件差异对农业园区植物碳汇的影响，光合测定及环境参数观测应覆盖晴天、多云、雨天、雪天等典型天气情形；同一监测分段内，不同天气条件下的观测数据宜按其出现频率及持续时长进行加权，用于推算季节尺度和年尺度碳汇量。

4.2.4 对一年内存在多茬种植或多生长季的系统，应按每一茬次或每一生长季分别核算碳汇量，再在年度时间边界内进行汇总。

4.3 计量边界

4.3.1 计量边界包括植物在计量周期内光合作用的二氧化碳净吸收过程而产生的碳汇，以及植物生长过程中园区采用可再生能源进行补光、温湿度控制、水肥供应等农业生产活动而产生的碳减排量。其中，植物产生的直接碳汇以植物净光合速率测量结果为基础进行碳汇计量，可再生能源产生的碳减排量以园区负荷对可再生能源的利用量和配电网碳排放因子为基础进行碳汇计量。

4.3.2 对于可再生能源供能范围与园区边界存在差异的情形，仅将满足园区负荷部分的可再生能源出力产生的碳减排量纳入计量范围。

5 植物碳汇监测方法

5.1 抽样方法

5.1.1 抽样要求

抽样设计需要同时考虑空间、时间、植物类型的差异，形成适应不同类型植物、与时空匹配的抽样方案，保证碳汇计量结果在评价期内具有代表性。

5.1.2 空间抽样方法

5.1.2.1 空间抽样

空间测量需要以碳汇监测区块为主体，按照草本、灌木、乔木的植物类型，植物在空间上的分布特点采用样方法设置样地。对于灌木、乔木，以及具有较高高度、日照条件下存在遮蔽叶的草本植物，采用分层取样对同一植株不同冠层深度叶片的光合指标数据进行测量。

5.1.2.2 样地设置方法

- a) 根据影像图、园区布局规划图等资料对碳汇监测区块所属的地块进行判读。
- b) 每个碳汇监测区块内设置一个样地。若该区块内包含多种类型的地块，但某一地块面积占该区块总面积的比例达到50%及以上，则可将该区块划分至该地块类型并在其中设置样地，否则不宜在该观测区块内设置样地。必要时，可根据植被类型、植被面积、观测区域地形条件等因素调整样地数量。
- c) 在设置样地时，将区块划分为3×3网格，随机选取其中1个网格内部及其中两条边界所包含的区域作为样地。每个区块选取的网格位置应相同，如图1所示。
- d) 选取样地时，四周应留有10m以上的缓冲区，避免边缘效应影响监测结果。样地面积为投影面积，不同区块选取样地的面积大小见附录表A.1。
- e) 样地应以正方形为宜，若因地形条件限制不能为正方形，可采用长方形，但其长和宽的比值不应大于3。
- f) 样地以正南-正北方向或平行（垂直）于等高线方向为宜。

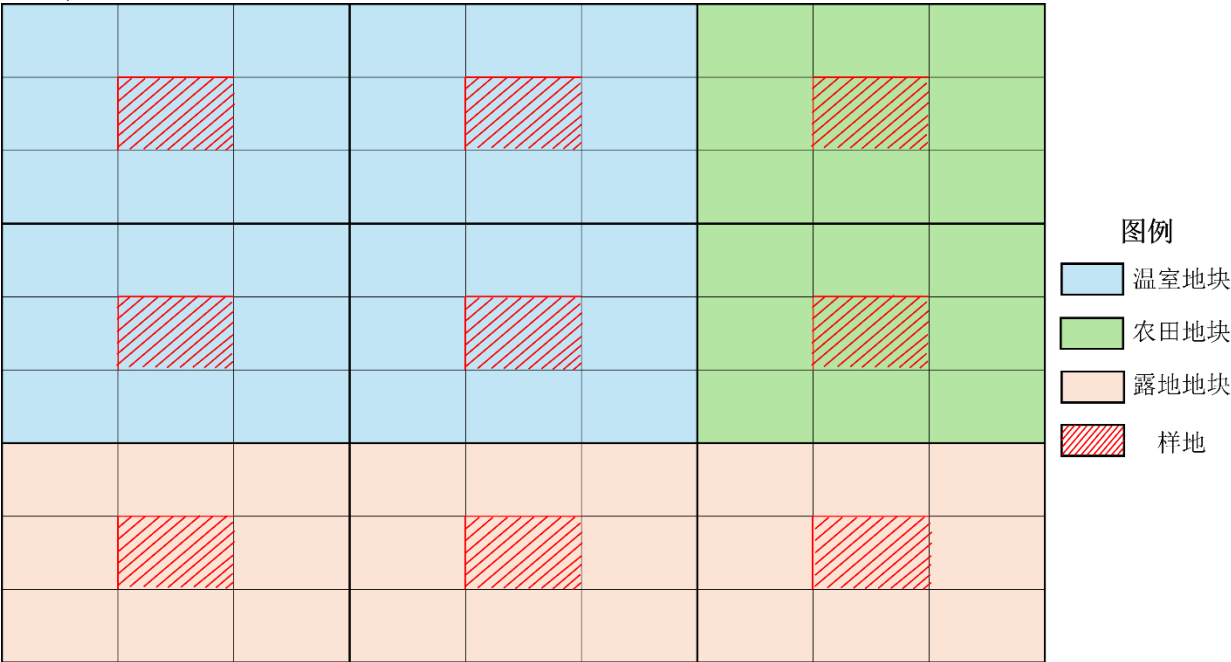


图 1 农业园区碳汇监测区块及样地设置示意图

5.1.2.3 分层取样方法

- a) 测量范围包括样地范围内的草本、灌木及乔木植物。在测量时应对样地内具有代表性的每种类型至少3株植物进行净光合速率测量；
- b) 对于低矮的草本植物，应选取全部的叶片逐个进行测量；
- c) 对于灌木及乔木植物，将灌木、乔木植物冠层按深度均分为上、中、下三层；
- e) 对于高度较高、具有遮蔽叶的草本植物，可按照上部叶、中部叶、下部叶分层；

f) 对于分层测量的植物，每个样地每层至少取3片叶。若该层同时存在日照叶与遮蔽叶，则各取3片日照叶与遮蔽叶进行净光合速率测量。

5.1.3 时间抽样方法

5.1.3.1 时间抽样

在一个自然日内，采用等间隔抽样在对样地植物进行测量。在日出和日落等自然光照变化剧烈的时间段，可以适当缩短测量的时间间隔。

5.1.3.2 观测日设置方法

- a) 提前了解天气状况，尽量选择日内天气变化程度不大的自然日作为观测日；
- b) 在一个碳汇计量周期内，选取的观测日应包含当地所有代表性天气情况，同时包含植物从出芽到成熟的所有生长阶段。

5.2 测定方法

5.2.1 测定指标

测定指标包含样地中各类代表植物的数量，植物叶片的净光合速率、叶片面积，以及各分层的叶面积指数。对于乔木，还需测量树冠直径、高度，以及树冠的投影面积。

5.2.2 测定对象

各样地中的所有代表植物，包括其中的草本、灌木、乔木。

5.2.3 测定流程

5.2.3.1 测定准备

- a) 根据园区规划图划分碳汇监测区块，选取合适的样地；
- b) 采用合适的测量仪器如光合测定仪进行测量，测量仪器的精度应满足相关要求，每年定期校准，校准机构应具备测量仪器检定资质，校准要求按照国家计量规程执行；

5.2.3.2 净光合速率测量

- a) 在选定观测日的指定测定时间，选取样地代表植株的待测叶片；
- b) 采用光合测定仪，按照通用规范对叶片的净光合速率进行测量，待示数稳定后将数据记录于附表A1中。

5.2.3.3 叶面积指数测量

- a) 对每一选定植株，统计其叶面积总和。若为分层的非乔木植物，则统计其各层位的叶面积指数；若为乔木，则通过5.2.3.4中的乔木参数计算得到植株的总叶面积指数；
- b) 对于规则种植的情况，以固定样地面积为其对应地面面积；
- c) 对于设施农业，以扣除通道和设备区域的有效种植面积作为对应地面面积。

5.2.3.4 乔木参数测量

- a) 采用投影法或土球直径测量乔木的树冠直径；
- b) 采用测高仪测量乔木的树冠高度；
- c) 基于树冠直径，计算得到乔木的树冠投影面积；
- d) 计算乔木叶面积指数。

5.2.4 测定要求

5.2.4.1 所有选取的样地应在图纸/台账中编号，并以图像等形式记录位置，保证复测空间一致。

5.2.4.2 宜选取天气变化较小的自然日作为观测日，如晴转阴等情况，但不同天气条件下测得的数据应当备注并且不得混用；

5.2.4.3 选取叶片时应健康、完整、无污染的叶片，避开病虫叶、机械损伤叶、过于幼嫩或已衰老的叶片（幼苗和已老化的植株除外）；

5.2.4.4 若采用夜间间隔补光，应当分别测定补光和非补光条件下的净光合速率，并进行备注；

5.3 数据记录和质量控制

5.3.1 数据采集

光合测定数据应采用统一格式记录，原则上做到一条记录对应一片叶片一次测定。光合测定数据宜采用统一的长列表记录格式，现场可使用纸质记录表或电子记录表。记录表格式可参照附录 A.2 的示例执行。

5.3.2 数据记录

5.3.2.1 每一观测时段开始前，应对光合测定仪进行简要功能检查，确认各测量通道工作正常、读数稳定，叶室及气路连接牢固、无明显泄漏。

5.3.2.2 对单片叶片的测定，应在仪器读数达到相对稳定后记录数据；如短时间内净光合速率读数持续剧烈波动，应暂停记录，检查叶片夹持、气路和环境条件，必要时重新测定。

5.3.2.3 测定过程中如遇突然阴云遮挡、阵风或其他突发环境变化，应暂停记录，待条件恢复稳定后继续测定；必要时应重新对同一叶片或同一株植物进行测定。

5.3.3 数据检查与整理

5.3.3.1 测定结束后，应对同一观测日、同一样地、同一物种、同一时段的记录进行检查，至少包括：

a) 完整性检查：核对是否存在样地编号、植物名称、测定时间、净光合速率等关键字段缺失情况；

b) 合理性检查：核对单位、数值范围和符号是否正确，是否与现场环境条件基本一致；

c) 异常值检查：识别与同组数据相比显著偏离且无法用现场情况解释的异常值。

5.3.3.2 对经确认为明显录入错误或仪器异常导致的测定记录，应予以更正或删除；被剔除的数据应在整理表中注明原因。确需补测的，应在条件允许时尽快安排补测。

6 可再生能源碳减排监测方法

6.1 采样方法

采样时需要同时考虑时间、可再生能源类型的影响，形成适应不同类型可再生能源、计及出力变化的采样方案，保证碳汇计量结果在评价期内具有代表性。

6.1.1 能源出力采样方法

依据NB/T 32015—2013《分布式电源接入配电网技术规定》第7.3.2条关于信息采集与监控的规定，对园区可再生能源出力进行采样，采样需要在园区边界范围内进行，采样对象包括园区内部装设的所有光伏发电、风力发电、沼气发电等可再生能源出力设备。对于装机数量不大的园区，采样时必须对园区的每一台设备进行采样；对于分布式电源装机数量众多且分散布置的园区，不宜对每一台设备进行逐台直接计量，而应在汇集母线侧、馈线并网柜处或箱式变压器低压侧总出线处装设智能电能计量终端，通过测量各汇集点的总出力获取该类分布式设备的整体出力水平，从而确保数据的完整性。

6.1.2 园区负荷采样方法

负荷采样应依据GB/T 15587《工业企业能源管理导则》在园区总进线及各主要功能区配电节点安装符合GB/T 17215系列标准的智能电能计量终端，以固定时间间隔连续采集有功功率、无功功率、电流、电压及功率因数数据，并注明测量时段所对应的生产工况与气候条件。在剔除通讯中断与设备检修等异常时段后，计算园区负荷。

6.1.3 时间采样方法

在一个自然日内，采用等间隔抽样在对设备的出力大小进行采样。在一个碳汇计量周期内，应当选取典型日对可再生能源出力数据进行采样，选取的典型日应包含当地所有代表性天气情况。

6.2 测量方法

6.2.1 测量指标

测量指标包含园区边界范围内所有可再生能源设备在典型日内不同时段输出功率。

6.2.2 测量对象

园区边界范围内的所有可再生能源设备

6.2.3 测量流程

6.2.3.1 测量准备

在园区边界范围内所有可再生能源设备的配电柜加装功率表，能够直观地显示设备的输出功率

6.2.3.2 输出功率测量

在选取的典型日内，采用等时间间隔读取各台可再生能源设备的功率表数据，记录在相应的记录表中。记录表的格式可参照附录A.2的示例执行。

7 碳汇计算方法

7.1 计量步骤

7.1.1 依照5的方法在全计量周期内收集各样地数据，并按照样地编号、测量时间进行整理；

7.1.2 根据一个计量周期的气象数据，基于观测日类型、植物的生长状态将周期内的每个自然日归类，以此得到每种观测日情况出现的频率；

7.1.3 基于7.2中的方法计算每个观测日内各个样地的总碳汇量；

7.1.4 根据7.1.2得到的每种观测日情况出现的频率，基于7.3中的方法推算农业园区低碳能源系统植物的碳汇量；

7.1.5 依照6的方法在全计量周期内收集各台可再生能源设备处理数据，并按照能源种类、设备编号、测量时间进行整理；

7.1.6 根据一个计量周期的气象数据，对可再生能源各典型日的出力数据归类，一次得到每种典型日情况出现的频率；

7.1.7 基于7.2中的方法计算每个典型日内各可再生能源设备的碳减排量；

7.1.8 根据7.1.6得到的每种典型日情况出现的频率，基于7.3中的方法，比较农业园区负荷，计算农业园区低碳能源系统可再生能源的碳减排量；

7.1.9 基于7.3中的方法，以及7.1.4和7.1.8的计算结果，计算得到农业园区低碳能源系统全年的总碳抵消。

7.2 计量方法

7.2.1 编号为*i*的样地中的第*j*株分层测量的非乔木植物，第*L*层的叶面积指数见式（1）：

$$LAI_{b,i,j,L} = \frac{A_{l,i,j,L}}{A_{s,i}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$LAI_{b,i,j,L}$ ——编号为*i*的样地中第*j*种分层测量非乔木植物的第*L*层叶面积指数；

$A_{l,i,j,L}$ ——编号为*i*的样地中第*j*种植物第*L*层的总叶面积，单位为平方米（ m^2 ）；

$A_{s,i}$ ——编号为*i*的样地对应的地面面积，单位为平方米（ m^2 ）。

7.2.2 在第*t*个观测时段，编号为*i*的样地中的第*j*株低矮草本植物的碳汇量见式（2）：

$$C_{g,i,j,t} = p_{g,i,j,k,t} \times A_{g,i,j} \times 0.044 \times 3600 \times 10^{-9} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$C_{g,i,j,t}$ ——在第*t*个观测时段，编号为*i*的样地中第*j*种低矮草本植物的碳汇量，单位为吨二氧化碳每小时（ tCO_2/h ）；

$p_{g,i,j,k,t}$ ——在第*t*个观测时段，编号为*i*的样地中第*j*种低矮草本植物的净光合速率，单位为微摩尔每平方米秒 [$\mu mol / (m^2 \cdot s)$]；

$A_{g,i,j}$ ——编号为 i 的样地中第 j 种低矮草本植物总叶片面积，单位为平方米 (m^2)；

0.044——由二氧化碳物质的量换算至吨二氧化碳的系数；

3600——由小时换算至秒的系数；

10^{-6} ——由微摩尔换算至摩尔的系数。

7.2.3 在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中的第 j 种分层草本或灌木植物的碳汇量见式 (3)：

$$C_{b,i,j,t} = \sum_{L=1}^3 \left\{ \left[\alpha_{b,i,j,L,k,t} p_{b,i,j,L,k,t}^{\text{straight}} + (1 - \alpha_{b,i,j,L,k,t}) p_{b,i,j,L,k,t}^{\text{shadow}} \right] \times LAI_{b,i,j,L} \right\} \times A_{s,i} \times 0.044 \times 3600 \times 10^{-9} \quad (3)$$

$C_{b,i,j,t}$ ——在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中第 j 种分层草本或灌木植物的碳汇量，单位为吨二氧化碳每小时 ($t \text{ CO}_2/h$)；

$p_{b,i,j,L,k,t}^{\text{straight}}$ ——在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中第 j 种分层草本或灌木第 L 层冠层日照叶的净光合速率，单位为微摩尔每平方米秒 [$\mu\text{mol}/(m^2 \cdot s)$]；

$p_{b,i,j,L,k,t}^{\text{shadow}}$ ——在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中第 j 种分层草本或灌木第 L 层冠层遮蔽叶的净光合速率，单位为微摩尔每平方米秒 [$\mu\text{mol}/(m^2 \cdot s)$]；

$\alpha_{b,i,j,L,k,t}$ ——在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中第 j 种分层草本或灌木第 L 层冠层日照叶的占比；

$LAI_{b,i,j,L}$ ——编号为 i 的样地中第 j 种分层草本或灌木植物第 L 层冠层的相对叶面积指数；

$A_{s,i}$ ——编号为 i 的样地对应的地面面积，单位为平方米 (m^2)；

0.044——由二氧化碳物质的量换算至吨二氧化碳的系数；

3600——由小时换算至秒的系数；

10^{-6} ——由微摩尔换算至摩尔的系数。

7.2.4 在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中的第 j 株乔木植物的碳汇量见式 (4) ~ (6)：

$$S_{A,i,j} = \exp(-4.3309 + 0.2942H_{i,j} + 0.7313D_{i,j} + 5.7217SH_{i,j} - 0.0148S_{i,j} + 0.1159) \quad (4)$$

式中：

$S_{A,i,j}$ ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的总叶面积，单位平方米 (m^2)；

$D_{i,j}$ ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的树冠直径，单位为米 (m)；

$H_{i,j}$ ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的树冠高度，单位为米 (m)；

$SH_{i,j}$ ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的树冠投影系数；

$S_{i,j}$ ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的树冠投影面积，单位为平方米 (m^2)；

4.3309——树木叶面积回归模型中的经验常数；

0.2942——树木叶面积回归模型中的经验常数；

0.7313——树木叶面积回归模型中的经验常数；

5.7217——树木叶面积回归模型中的经验常数；

0.0148——树木叶面积回归模型中的经验常数；

0.1159——树木叶面积回归模型中的经验常数。

[来源：康紫瑶,张琰,王闰霏. 园林植物碳汇估算方法研究 [J]. 建筑经济, 2024, 45 (S2): 491-496.

DOI:10.14181/j.cnki.1002-851x.2024S2491.]

$$LAI_{A,i,j} = S_{A,i,j} / SH_{i,j} \left(\frac{1}{4\pi} D_{i,j}^2 \right) \quad (5)$$

式中：

$LAI_{A,i,j}$ ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的总叶面积指数；

$S_{A,i,j}$ ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的总叶面积，单位平方米 (m^2)；

$SH_{i,j}$ ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的树冠投影系数；

D_{ij} ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的树冠直径，单位为米（m）；

$$C_{A,i,j,t} = p_{A,i,j,t} \times LAI_{A,i,j} \times A_{s,i} \times 0.044 \times 3600 \times 10^{-9} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$C_{A,i,j,t}$ ——在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中第 j 种乔木植物的碳汇量，单位为吨二氧化碳每小时（t CO₂/h）；

$p_{A,i,j,t}$ ——在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中第 j 种乔木植物的净光合速率，单位为微摩尔每平方米秒[μmol/（m²·s）]；

$LAI_{A,i,j}$ ——编号为 i 的样地中的第 j 种乔木植物的总叶面积指数；

$A_{s,i}$ ——编号为 i 的样地对应的地面面积，单位为平方米（m²）；

0.044——由二氧化碳物质的量换算至吨二氧化碳的系数；

3600——由小时换算至秒的系数；

10⁻⁶——由微摩尔换算至摩尔的系数。

7.2.5 在第 t 个测量时段，采用第 i 种可再生能源类型出力的第 j 台设备产生的碳减排见式（7）

$$C_{E,i,j,t} = P_{E,i,j,t} \times \Delta T_0 \times EF_{e,t} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$C_{E,i,j,t}$ ——在第 t 测量时段，采用第 i 种可再生能源类型出力的第 j 台设备产生的间接碳汇量，单位为吨二氧化碳每天（t CO₂/d）；

$P_{E,i,j,t}$ ——在第 t 测量时段，采用第 i 种可再生能源类型出力的第 j 台设备的输出功率，单位为千瓦（kW）；

ΔT_0 ——测量时间间隔，单位为小时（h）；

$EF_{e,t}$ ——电网实时的单位发电量 CO₂ 排放因子，单位为千克二氧化碳每千瓦时[kg CO₂/kW·h]；

10⁻³——由千克二氧化碳换算至吨二氧化碳的系数。

7.3 农业园区低碳能源系统全年总碳效益

7.3.1 在第 d 个观测日，农业园区低碳能源系统的植物碳汇量见式（8）：

$$C_{Agri,d} = \sum_{t=1}^{T_d} \left[\sum_{i=1}^{N_s} \frac{A_{ob}}{A_{s,i}} \times \left(\sum_{j=1}^{N_{g,i,j}} C_{g,i,j,t} + \sum_{j=1}^{N_{b,i,j}} C_{b,i,j,t} + \sum_{j=1}^{N_{A,i,j}} C_{A,i,j,t} \right) \right] \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$C_{Agri,d}$ ——第 d 个观测日农业园区植物的碳汇量，单位为吨二氧化碳每天（t CO₂/d）；

$C_{g,i,j,t}$ ——在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中第 j 种低矮草本植物的碳汇量，单位为吨二氧化碳每小时（t CO₂/h）；

$C_{b,i,j,t}$ ——在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中第 j 种分层草本或灌木植物的碳汇量，单位为吨二氧化碳每小时（t CO₂/h）；

$C_{A,i,j,t}$ ——在第 t 个观测时段，编号为 i 的样地中第 j 种乔木植物的碳汇量，单位为吨二氧化碳每小时（t CO₂/h）；

A_{ob} ——碳汇监测区块的面积，单位为平方米（m²）；

$A_{s,i}$ ——编号为 i 的样地对应的地面面积，单位为平方米（m²）；

T_d ——第 d 个观测日测量的总时段数，单位个；

N_s ——样地数量，单位个；

$N_{g,i,j}$ ——第 i 块样地中第 j 种草本植物的总数，单位株；

$N_{b,i,j}$ ——第 i 块样地中第 j 种分层草本或灌木植物的总数，单位株；

$N_{A,i,j}$ ——第 i 块样地中第 j 种乔木植物的总数，单位株。

7.3.2 农业园区低碳能源系统植物的全年碳汇计量结果见式（9）：

$$C_{\text{Agri}} = T_{\text{year}} \times \sum_{d=1}^{N_d} (w_d \times C_{\text{Agri},d}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

C_{Agri} ——农业园区植物的全年碳汇量，单位为吨二氧化碳每年（t CO₂/y）；

w_d ——第 d 个观测日天气情况在全计量周期内出现的频率；

$C_{\text{Agri},d}$ ——第 d 个观测日农业园区植物的碳汇量，单位为吨二氧化碳每天（t CO₂/d）；

T_{year} ——农业园区植物碳汇计量周期天数，单位天（d）；

N_d ——观测日的总数，单位天（d）。

7.3.3 在第 k 个典型日，农业园区低碳能源系统实际利用可再生能源产生的碳减排量见式（10）：

$$C_{\text{E},k} = \begin{cases} \sum_{t=1}^{T_k} \left(\sum_{i=1}^{N_E} \sum_{j=1}^{N_{m,i}} C_{\text{E},i,j,t} \right), & \sum_{i=1}^{N_E} \sum_{j=1}^{N_{m,i}} P_{\text{E},i,j,t} \leq P_{\text{Load},t} \\ \sum_{t=1}^{T_k} (P_{\text{Load},t} \times \Delta T_0 \times EF_{\text{e},t} \times 10^{-3}), & \sum_{i=1}^{N_E} \sum_{j=1}^{N_{m,i}} P_{\text{E},i,j,t} > P_{\text{Load},t} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$C_{\text{E},k}$ ——在第 k 个典型日，农业园区实际利用可再生能源产生的碳减排量，单位为吨二氧化碳每天（t CO₂/d）；

T_k ——第 k 个典型日测量的总时段数，单位个；

N_E ——农业园区低碳能源系统利用的可再生能源种类数，单位种；

$N_{m,i}$ ——第 i 种可再生能源对应的出力设备总数，单位台；

$C_{\text{E},i,j,t}$ ——在第 t 测量时段，采用第 i 种可再生能源类型出力的第 j 台设备产生的碳减排，单位为吨二氧化碳每天（t CO₂/d）；

$P_{\text{E},i,j,t}$ ——在第 t 测量时段，采用第 i 种可再生能源类型出力的第 j 台设备的功率，单位为千瓦（kW）；

$P_{\text{Load},t}$ ——在第 t 测量时段，农牧园区的总负荷，单位为千瓦（kW）；

ΔT_0 ——测量时间间隔，单位为小时（h）；

$EF_{\text{e},t}$ ——电网实时的单位发电量 CO₂ 排放因子，单位为千克二氧化碳每千瓦时[kg CO₂/kW · h]；

10^{-3} ——由千克二氧化碳换算至吨二氧化碳的系数。

7.3.4 农业园区低碳能源系统可再生能源产生的全年碳效益计量结果见式（11）：

$$C_E = T_{\text{year}} \times \sum_{k=1}^{N_o} (w_k \times C_{\text{E},k}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

C_E ——农业园区低碳能源系统可再生能源产生的全年碳减排，单位为吨二氧化碳每年（t CO₂/y）；

w_k ——第 k 个典型日场景在全计量周期内出现的频率；

$C_{\text{E},k}$ ——在第 k 个典型日，农业园区可再生能源的碳减排，单位为吨二氧化碳每天（t CO₂/d）；

T_{year} ——农业园区植物碳汇计量周期天数，单位天（d）；

N_o ——典型的总数，单位天（d）。

7.3.5 农业园区低碳能源系统的全年碳汇计量结果见式（12）：

$$C_{\text{total}} = C_{\text{Agri}} + C_E \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

C_{total} ——农业园区低碳能源系统全年碳汇量，单位为吨二氧化碳每年（t CO₂/y）；

T/CES XXX—XXXX

C_{Agri} ——农业园区植物的全年碳汇量，单位为吨二氧化碳每年（ $\text{t CO}_2/\text{y}$ ）；

C_{E} ——农业园区低碳能源系统可再生能源产生的全年碳减排量，单位为吨二氧化碳每年（ $\text{t CO}_2/\text{y}$ ）。

附 录 A
(资料性)
农业园区低碳能源系统碳汇计量取样记录表

A.1 样地面积大小

表 A.1.1 样地面积大小 (m²)

地块类型	面积范围
温室大棚用地	1~4
农田用地	1~4
仅包含草本植物的露地	1~4
包含灌木但不包含乔木的露地	16~40
包含乔木的露地	100~200

A.2 数据收集记录

表 A.2.1 样地调查取样记录表

园区名称																				
现场气温										测量仪器型号										
碳汇监测区块编号										地块类型										
样地编号						测定日期								天气状况						
样地面积						测定时间														
草本/灌木 植物名称																				
植株编号																				
各层次 叶面积																				
叶片层次																				
叶片类型																				
叶片编号																				
叶片 净光合速率																				
平均值																				
叶片面积																				
平均值																				
乔木名称																				
乔木编号																				
树冠高度																				
树冠直径																				
投影面积																				

备注			
记录人		复核人	

表 A.2.2 可再生能源设备出力数据记录表

园区名称						
设备编号		记录人			复核人	
输出功率						
采集时间						
备注						

参 考 文 献

- [1] GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则
- [2] NY/T 4300—2023 气候智慧型农业作物生产固碳减排监测与核算规范
- [3] NB/T 32015—2013 分布式电源接入配电网技术规定
- [4] GB/T 15587 工业企业能源管理导则
- [5] T/CMSA 0027—2022 区域陆地碳汇评估技术指南
- [6] 康紫瑶,张琰,王闰霏. 园林植物碳汇估算方法研究 [J]. 建筑经济, 2024, 45 (S2): 491-496.
DOI:10.14181/j.cnki.1002-851x.2024S2491.