



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113777055 A

(43) 申请公布日 2021. 12. 10

(21) 申请号 202111310011.6

(22) 申请日 2021.11.08

(71) 申请人 广东省科学院广州地理研究所
地址 510075 广东省广州市越秀区先烈中路100号大院之一

(72) 发明人 王智慧 孙中宇 耿守保 杨龙
温美丽

(74) 专利代理机构 广州骏思知识产权代理有限公司 44425

代理人 潘桂生

(51) Int. Cl.
G01N 21/25 (2006.01)

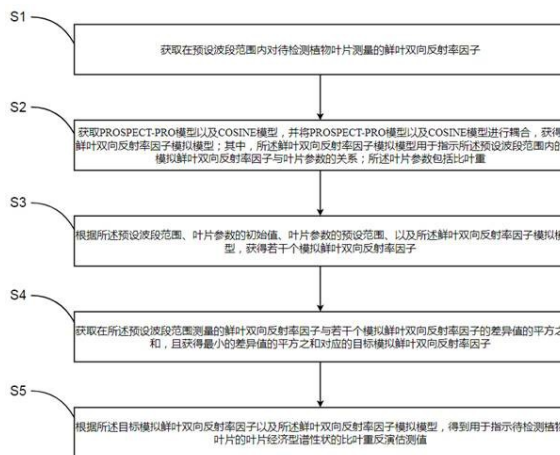
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种叶片经济型谱性状估测方法、存储介质和计算机设备

(57) 摘要

本发明提供一种叶片经济型谱性状估测方法、存储介质和计算机设备,估测方法包括:获取预设波段范围内对待检测植物叶片测量的鲜叶双向反射率因子;耦合PROSPECT-PRO模型和COSINE模型,获得用于指示模拟鲜叶双向反射率因子与叶片参数的关系的鲜叶双向反射率因子模拟模型;根据预设参数范围和鲜叶双向反射率因子模拟模型,获得模拟鲜叶双向反射率因子;根据测量的鲜叶双向反射率因子与模拟鲜叶双向反射率因子的差异获得目标模拟鲜叶双向反射率因子,以及对应的用于指示叶片经济型谱性状的待检测植物叶片的比叶重反演估测值。本发明可以高效地反演得到叶片经济型谱比叶重,降低测量成本和时间。



1. 一种叶片经济型谱性状估测方法,其特征在于,包括以下步骤:

获取在预设波段范围内对待检测植物叶片测量的鲜叶双向反射率因子;

获取PROSPECT-PRO模型以及COSINE模型,并将PROSPECT-PRO模型以及COSINE模型进行耦合,获得鲜叶双向反射率因子模拟模型;其中,所述鲜叶双向反射率因子模拟模型用于指示所述预设波段范围内的模拟鲜叶双向反射率因子与叶片参数的关系;所述叶片参数包括比叶重;

根据所述预设波段范围、叶片参数的初始值、叶片参数的预设范围、以及所述鲜叶双向反射率因子模拟模型,获得若干个模拟鲜叶双向反射率因子;

获取在所述预设波段范围测量的鲜叶双向反射率因子与若干个模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和,且获得最小的差异值的平方之和对应的目标模拟鲜叶双向反射率因子;

根据所述目标模拟鲜叶双向反射率因子以及所述鲜叶双向反射率因子模拟模型,得到用于指示待检测植物叶片的叶片经济型谱性状的比叶重反演估测值。

2. 根据权利要求1所述的叶片经济型谱性状估测方法,其特征在于,所述PROSPECT-PRO模型用于模拟指示出植物叶片在目标波段值的叶片有向半球反射率,其中,模拟指示植物叶片在目标波段值的叶片有向半球反射率和透过率为:

$$[DHR_{mod}(\lambda), DHT_{mod}(\lambda)] = \text{PROSPECT-PRO}(N_{struc}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA});$$

其中, DHR_{mod} 为模拟得到的叶片有向半球反射率, DHT_{mod} 为模拟得到的叶片有向半球透过率, λ 为目标波段值, N_{struc} 为叶片结构参数, Chl 为叶绿素, Car 为胡萝卜素, EWT 为水分, LMA 为比叶重。

3. 根据权利要求2所述的叶片经济型谱性状估测方法,其特征在于,所述COSINE模型为:

$$BRF_{mod}(\lambda) = DHR_{mod}(\lambda) + b_{spec};$$

其中, BRF_{mod} 为模拟鲜叶双向反射率因子, b_{spec} 为设有取值范围的镜面反射率因子。

4. 根据权利要求3所述的叶片经济型谱性状估测方法,其特征在于,所述获取在所述预设波段范围测量的鲜叶双向反射率因子与若干个模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和的计算方式为:

$$J = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} (BRF_{mes}(\lambda) - BRF_{mod}(\lambda))^2 = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} (BRF_{mes}(\lambda) - (DHR_{mod}(\lambda) + b_{spec}))^2;$$

其中, J 为差异值的平方之和; λ_1 为所述预设波段范围的最小波段值; λ_2 为所述预设波段范围的最大波段值; BRF_{mes} 为测量的鲜叶双向反射率因子。

5. 根据权利要求4所述的叶片经济型谱性状估测方法,其特征在于:所述预设波段范围为1600 - 2400 nm;

所述叶片参数的初始值为:

$$[N_{struc}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA}] = [1.5, 30, 5, 100, 100];$$

所述叶片参数的预设范围中,叶片参数的最小值为:

$[N_{\text{struc}}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA}] = [1, 0.5, 0.5, 10, 10]$;

叶片参数的最大值为:

$[N_{\text{struc}}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA}] = [3, 100, 20, 300, 250]$;

所述镜面反射率因子的取值范围的最大值为0.6,最小值为-0.2,所述镜面反射率因子的初始值为0.2。

6. 一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,其特征在于:所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至5任一项所述的叶片经济型谱性状估测方法的步骤。

7. 一种计算机设备,其特征在于:包括储存器、处理器以及储存在所述储存器中并可被所述处理器执行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至5任一项所述的叶片经济型谱性状估测方法的步骤。

一种叶片经济型谱性状估测方法、存储介质和计算机设备

技术领域

[0001] 本发明涉及生态遥感的技术领域,具体涉及一种叶片经济型谱性状估测方法、存储介质和计算机设备。

背景技术

[0002] 通过高光谱叶片反射率反映植物叶片的结构和内部组分,是一种获取叶片经济型谱性状比叶重的有效手段。一些技术中,高光谱叶片反射率反演叶片经济型谱性状主要包括经验统计和物理模型。经验统计方法反演精度较高但是受地域限制影响。而物理模型方法则基于物理定律模拟光在叶片表面和内部的反射、散射和吸收,通常利用方向-半球反射率作为模型输入来反演得到如叶片经济型谱性状比叶重等叶片参数,具有稳健性和通用性较高的优势,但是会病态反演可能造成模型反演精度较低;同时由于方向-半球反射率的测量需要用积分球完成,费用较高且费时较长。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服现有技术中的缺点与不足,提供一种叶片经济型谱性状估测方法、存储介质和计算机设备,可以高效地反演得到叶片经济型谱比叶重,大大降低了测量成本和时间。

[0004] 本发明的一个实施例提供一种叶片经济型谱性状估测方法,包括以下步骤:

获取在预设波段范围内对待检测植物叶片测量的鲜叶双向反射率因子;

获取PROSPECT-PRO模型以及COSINE模型,并将PROSPECT-PRO模型以及COSINE模型进行耦合,获得鲜叶双向反射率因子模拟模型;其中,所述鲜叶双向反射率因子模拟模型用于指示所述预设波段范围内的模拟鲜叶双向反射率因子与叶片参数的关系;所述叶片参数包括比叶重;

根据所述预设波段范围、叶片参数的初始值、叶片参数的预设范围、以及所述鲜叶双向反射率因子模拟模型,获得若干个模拟鲜叶双向反射率因子;

获取在所述预设波段范围测量的鲜叶双向反射率因子与若干个模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和,且获得最小的差异值的平方之和对应的目标模拟鲜叶双向反射率因子;

根据所述目标模拟鲜叶双向反射率因子以及所述鲜叶双向反射率因子模拟模型,得到用于指示待检测植物叶片的叶片经济型谱性状的比叶重反演估测值。

[0005] 相对于现有技术,本发明的叶片经济型谱性状估测方法通过鲜叶双向反射率因子模拟模型得到模拟鲜叶双向反射率因子,并根据在所述预设波段范围,测量的鲜叶双向反射率因子与模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和的最小值,获得对应的目标模拟鲜叶双向反射率因子,再根据所述目标模拟鲜叶双向反射率因子以及所述鲜叶双向反射率因子模拟模型,得到用于指示叶片经济型谱性状的所述待检测植物叶片的比叶重反演估测值。能够精确的反演得到叶片经济型谱比叶重,大大降低了测量成本和时间,提高了叶片经

济型谱估测的应用范围,例如适用于不同地理区域、物种类型、光照条件和生长阶段的植物叶片。

[0006] 进一步,所述PROSPECT-PRO模型用于模拟指示出植物叶片在目标波段值的叶片有向半球反射率,其中,所述模拟指示植物叶片在目标波段值的叶片有向半球反射率和透过率的过程如下公式:

$$[DHR_{mod}(\lambda), DHT_{mod}(\lambda)] = \text{PROSPECT-PRO}(N_{struc}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA});$$

其中, DHR_{mod} 为模拟得到的叶片有向半球反射率, DHT_{mod} 为模拟得到的叶片有向透过率, λ 为目标波段值, N_{struc} 为叶片结构参数, Chl 为叶绿素, Car 为胡萝卜素, EWT 为水分, LMA 为比叶重。

[0007] 通过所述PROSPECT-PRO模型,可以高效地模拟得到不同叶片参数的指示植物叶片在目标波段值的叶片有向半球反射率和透过率,从而得到叶片参数与叶片有向半球反射率的关系。

[0008] 进一步,所述COSINE模型为:

$$BRF_{mod}(\lambda) = DHR_{mod}(\lambda) + b_{spec};$$

其中, BRF_{mod} 为模拟鲜叶双向反射率因子, b_{spec} 为设有取值范围的镜面反射率因子。

[0009] 通过所述COSINE模型将有向半球反射率(DHR)和双向反射率因子(BRF)相关联。

[0010] 进一步,所述获取在所述预设波段范围测量的鲜叶双向反射率因子与若干个模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和的计算方式为:

$$J = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} (BRF_{mes}(\lambda) - BRF_{mod}(\lambda))^2 = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} (BRF_{mes}(\lambda) - (DHR_{mod}(\lambda) + b_{spec}))^2;$$

其中, J 为差异值的平方之和; λ_1 为所述预设波段范围的最小波段值; λ_2 为所述预设波段范围的最大波段值; BRF_{mes} 为测量的鲜叶双向反射率因子。

[0011] 通过上述计算方式得到测量的鲜叶双向反射率因子与各个模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和,从而筛选出与测量的鲜叶双向反射率因子相似的所述模拟鲜叶双向反射率因子。

[0012] 本发明还提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如上所述的叶片经济型谱性状估测方法的步骤。

[0013] 本发明还提供一种计算机设备,包括储存器、处理器以及储存在所述储存器中并可被所述处理器执行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如上所述的叶片经济型谱性状估测方法的步骤。

[0014] 为了能更清晰的理解本发明,以下将结合附图说明阐述本发明的具体实施方式。

附图说明

[0015] 图1为本发明一个实施例的叶片经济型谱性状估测方法的流程图。

[0016] 图2为本发明一个实施例的C国叶片样本和U国叶片样本的双向反射率因子均值和

标准差对比图。

[0017] 图3为本发明一个实施例的目标模拟鲜叶双向反射率因子和测量得到的鲜叶双向反射率因子的对比图。

[0018] 图4为本发明一个实施例的比叶重反演估测值和比叶重实测值的对比图。

具体实施方式

[0019] 为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本申请实施方式作进一步地详细描述。

[0020] 应当明确,所描述的实施例仅仅是本申请实施例一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请实施例中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本申请实施例保护的范围。

[0021] 下面的描述涉及附图时,除非另有表示,不同附图中的相同数字表示相同或相似的要害。在本申请的描述中,需要理解的是,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序,也不能理解为指示或暗示相对重要性。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。在本申请和所附权利要求书中所使用的单数形式的“一种”、“所述”和“该”也旨在包括多数形式,除非上下文清楚地表示其他含义。在此所使用的词语“如果”/“若”可以被解释成为“在……时”或“当……时”或“响应于确定”。

[0022] 此外,在本申请的描述中,除非另有说明,“多个”是指两个或两个以上。“和/或”,描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,A 和/或 B,可以表示:单独存在A,同时存在A和B,单独存在B这三种情况。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。

[0023] 请参阅图1,其是本发明一个实施例的叶片经济型谱性状估测方法的流程图,包括以下步骤:

S1:获取在预设波段范围内对待检测植物叶片测量的鲜叶双向反射率因子。

[0024] 其中,所述鲜叶双向反射率因子是指在一定的辐照和观测条件下,目标物的反射辐射亮度与处于同一辐照度和观测条件下的标准参考面(朗伯全反射面)的反射辐射亮度之比。

[0025] 所述预设波段范围为可以根据植物叶片的种类而设置,例如设置为1600 - 2400 nm。

[0026] 而步骤S1测量的鲜叶双向反射率因子为实测鲜叶双向反射率因子。

[0027] S2:获取PROSPECT-PRO模型以及COSINE模型,并将PROSPECT-PRO模型以及COSINE模型进行耦合,获得鲜叶双向反射率因子模拟模型;其中,所述鲜叶双向反射率因子模拟模型用于指示所述预设波段范围内的模拟鲜叶双向反射率因子与叶片参数的关系;所述叶片参数包括比叶重。

[0028] 所述PROSPECT-PRO模型是一种叶片反射率模型,可以根据叶片结构参数(N_{struc}),叶绿素(Ch1),胡萝卜素(Car),水分(EWT)以及比叶重(LMA)模拟叶片从可见光到近红外波段的反射率和透射率。因此,所述叶片参数还包括叶片结构参数,叶绿素,胡萝卜素,水分。

[0029] 作为一个可行的实施例,所述PROSPECT-PRO模型用于模拟指示出植物叶片在目标

波段值的叶片有向半球反射率,其中,所述模拟指示植物叶片在目标波段值的叶片有向半球反射率和透过率为:

$$[DHR_{mod}(\lambda), DHT_{mod}(\lambda)] = \text{PROSPECT-PRO}(N_{struc}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA})$$

;

其中, DHR_{mod} 为模拟得到的叶片有向半球反射率, DHT_{mod} 为模拟得到的叶片有向半球透过率, λ 为目标波段值, N_{struc} 为叶片结构参数, Chl 为叶绿素, Car 为胡萝卜素, EWT 为水分, LMA 为比叶重。通过所述PROSPECT-PRO模型模拟得到指示植物叶片在目标波段值的叶片有向半球反射率和透过率。

[0030] 所述COSINE模型表示,通过镜面反射率因子将有向半球反射率(DHR)和双向反射率因子(BRF)相关联。

[0031] 作为一个可行的实施例,所述COSINE模型为:

$$BRF_{mod}(\lambda) = DHR_{mod}(\lambda) + b_{spec};$$

其中, BRF_{mod} 为模拟鲜叶双向反射率因子, b_{spec} 为设有取值范围的镜面反射率因子。通过所述COSINE模型将有向半球反射率(DHR)和双向反射率因子(BRF)相关联。

[0032] 在本发明中,比叶重是指单位叶面积的叶片干重。

[0033] S3:根据所述预设波段范围、叶片参数的初始值、叶片参数的预设范围、以及所述鲜叶双向反射率因子模拟模型,获得若干个模拟鲜叶双向反射率因子。

[0034] 作为一个可行的实施例中,所述预设波段范围为1600 - 2400nm。这是因为本发明通过试验得到,在波段范围为1600 - 2400nm的中红外波段中,预测得到的比叶重反演估测值准确性高,误差小。

[0035] 而所述叶片参数的初始值为:

$$[N_{struc}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA}] = [1.5, 30, 5, 100, 100]。$$

[0036] 所述叶片参数的预设范围中,叶片参数的最小值为:

$$[N_{struc}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA}] = [1, 0.5, 0.5, 10, 10];$$

叶片参数的最大值为:

$$[N_{struc}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA}] = [3, 100, 20, 300, 250]。$$

[0037] 通过限制所述叶片参数的范围,可以提高预测得到的比叶重反演估测值的效率,而且,目前常见的大部分的植物叶片参数都在本实施例公开的叶片参数范围内,因此也可以提高预测得到的比叶重反演估测值的准确性。当然,本领域技术人员可以根据植物的种类而适当修改叶片参数范围,以提高反演的效率。

[0038] 例如,所述叶片参数为:

$$[N_{struc}, \text{Chl}, \text{Car}, \text{EWT}, \text{LMA}] = [2.18, 68.38, 10.15, 243.16, 141.50]时,其对应的模拟鲜叶双向反射率因子如表1所示:$$

波长 (nm)	模拟鲜叶双向反射率因子
1600	0.2797
1700	0.2871
1800	0.2465
1900	0.0309
2000	0.0406
2100	0.089
2200	0.1209
2300	0.0797
2400	0.0455

表1

S4: 获取在所述预设波段范围测量的鲜叶双向反射率因子与若干个模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和, 且获得最小的差异值的平方之和对应的目标模拟鲜叶双向反射率因子。

[0039] S5: 根据所述目标模拟鲜叶双向反射率因子以及所述鲜叶双向反射率因子模拟模型, 得到用于指示待检测植物叶片的叶片经济型谱性状的比叶重反演估测值。

[0040] 相对于现有技术, 本发明的叶片经济型谱性状估测方法通过鲜叶双向反射率因子模拟模型得到模拟鲜叶双向反射率因子, 并根据在所述预设波段范围, 测量的鲜叶双向反射率因子与模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和的最小值, 获得对应的目标模拟鲜叶双向反射率因子, 再根据所述目标模拟鲜叶双向反射率因子以及所述鲜叶双向反射率因子模拟模型, 得到用于指示叶片经济型谱性状的所述待检测植物叶片的比叶重反演估测值。能够精确的反演得到叶片经济型谱比叶重, 大大降低了测量成本和时间。

[0041] 在一个可行的实施例中, 所述获取在所述预设波段范围测量的鲜叶双向反射率因子与若干个模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和的计算方式为:

$$J = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} (BRF_{mes}(\lambda) - BRF_{mod}(\lambda))^2 = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} (BRF_{mes}(\lambda) - (DHR_{mod}(\lambda) + b_{spec}))^2;$$

其中, J 为差异值的平方之和; λ_1 为所述预设波段范围的最小波段值; λ_2 为所述预设波段范围的最大波段值; BRF_{mes} 为测量的鲜叶双向反射率因子。通过上述计算方式得到测量的鲜叶双向反射率因子与各个模拟鲜叶双向反射率因子的差异值的平方之和。

[0042] 所述镜面反射率因子一般为已知值, 根据待检测植物叶片的反射情况得到, 然而, 在一个可行的实施例中, 若存在不确定所述镜面反射率因子的具体数值时, 设所述镜面反射率因子的取值范围的最大值为0.6, 最小值为-0.2, 所述镜面反射率因子的初始值为0.2, 这是因为在本实施例的镜面反射率因子的取值范围中, 所述COSINE模型的有向半球反射率(DHR)和双向反射率因子(BRF)的相关性更准确。

[0043] 为了更好地体现本发明的效果, 下面以叶片的干重为例, 列举本发明的试验实例。

[0044] 在C国和U国分别获取不同类型的待检测植物叶片,其中在C国获取的待检测植物叶片包括来自3个不同省份4个站点的共110种植物物种的360个叶片样本,属于华南地区亚热带和热带的主要优势植物物种;而在U国获取的待检测植物叶片包括来自7个生态功能区18个野外站点共163个植物物种的3498个叶片样本,其中包括阔叶树、灌木和草本植物物种,阳叶和阴叶枝条,以及幼叶、成熟叶和老叶不同生长阶段的叶片样本,属于东部地区亚热带和温带的主要优势植物物种。

[0045] 利用ASD公司地物光谱仪及叶片夹测量各个叶片样本的鲜叶双向反射率因子,并对各个叶片样本进行扫描获取鲜叶面积,称取烘干后的各个叶片得到叶片的干重,利用所述干重除以所述鲜叶面积计算得到各个叶片样本的比叶重实测值。其中,如图2所示,图2为C国叶片样本和U国叶片样本的双向反射率因子均值和标准差对比图,其中黑色线部分为C国叶片样本的数据,灰色线为U国叶片样本的数据,由图可得知,C国叶片样本的比叶重均值要高于U国叶片样本,二者分别为 86.63 g/m^2 和 74.01 g/m^2 。

[0046] 通过上述步骤S2-S3得到各个叶片样本的若干个模拟鲜叶双向反射率因子,再根据步骤S4从所述若干个模拟鲜叶双向反射率因子中得到目标模拟鲜叶双向反射率因子,所述C国和U国某叶片样本的目标模拟鲜叶双向反射率因子和测量得到的鲜叶双向反射率因子的对比图如图3所示,图3是本发明一个实施例的目标模拟鲜叶双向反射率因子和测量得到的鲜叶双向反射率因子的对比图,其中图3(a)为C国某叶片样本的目标模拟鲜叶双向反射率因子和测量得到的鲜叶双向反射率因子的对比图,图3(b)为U国某叶片样本的目标模拟鲜叶双向反射率因子和测量得到的鲜叶双向反射率因子的对比图,其中颜色较深的为目标模拟鲜叶双向反射率因子,颜色较浅的为测量得到的鲜叶双向反射率因子。

[0047] 通过步骤S5,得到与所述目标模拟鲜叶双向反射率因子对应的比叶重反演估测值,通过对比所述比叶重反演估测值和所述比叶重实测值,若分别以C国和U国的某叶片样本为例,所述C国和U国某叶片样本的目标模拟鲜叶双向反射率因子、测量得到的鲜叶双向反射率因子、比叶重反演估测值和比叶重实测值的对比数据分别如表2和表3所示:

波长 (nm)	模拟鲜叶双向反射率因子	实测鲜叶双向反射率因子
1600	0.2797	0.2787
1700	0.2871	0.2901
1800	0.2465	0.2424
1900	0.0309	0.0318
2000	0.0406	0.0403
2100	0.0890	0.0867
2200	0.1209	0.1203
2300	0.0797	0.0819
2400	0.0455	0.0467
比叶重实测值:	145.47	
比叶重反演估测值:	141.50	
模型输入参数:	[2.18, 68.38, 10.15, 243.16, 141.50]	

表2

波长 (nm)	模拟鲜叶双向反射率因子	实测鲜叶双向反射率因子
1600	0.3104	0.3097
1700	0.3130	0.3167
1800	0.2843	0.2811
1900	0.0631	0.0665
2000	0.0815	0.0816
2100	0.1469	0.1453
2200	0.1799	0.1741
2300	0.1365	0.1407
2400	0.0917	0.0945
比叶重实测值:	57.88	
比叶重反演估测值:	54.85	
模型输入参数:	[1.38, 48.49, 6.91, 98.63, 54.84]	

表3

从表2和表3可以看出,对于C国和U国的某叶片样本,获取到与测量的鲜叶双向反射率因子接近的模拟鲜叶双向反射率因子后,可以得到对应的比叶重反演估测值,且得到的比叶重反演估测值与某叶片样本的比叶重实测值接近。

[0048] 而C国和U国的各种叶片样本的比叶重反演估测值和比叶重实测值对比结果如图4所示,其中图4(a)为C国叶片样本的比叶重反演估测值(横坐标)和比叶重实测值(纵坐标)

的对比结果,图4(b)为U国叶片样本叶重反演估测值(横坐标)和比叶重实测值(纵坐标)的对比结果,分别计算C国叶片样本和U国叶片样本的比叶重反演估测值和比叶重实测值的相对均方根误差(*NRMSE*),根据来衡量模型反演的误差情况,计算公式如下:

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i' - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right);$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i' - y_i)^2}{n}};$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{(y_{max} - y_{min})};$$

其中, R^2 为反演精度, $RMSE$ 为均方根误差, y_i' 为反演估测值, y_i 为实测值, \bar{y} 为实测性状均值, y_{max} 为实测最大值, y_{min} 为实测最小值, n 为样本总数。

[0049] 通过上述计算,可以得到C国叶片样本和U国叶片样本的比叶重反演估测值和比叶重实测值的相对均方根误差均小于11%,因此本发明的叶片经济型谱性状估测方法得到的比叶重反演估测值准确性高,误差小。进一步地,通过C国叶片样本和U国叶片样本的试验可以发现,本发明对各个不同区域的各种类型的叶片也可以快捷地进行叶片经济型谱估测,提高了叶片经济型谱估测的应用范围,例如适用于不同地理区域、物种类型、光照条件和生长阶段的植物叶片。

[0050] 本发明还提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如上所述的叶片经济型谱性状估测方法的步骤。

[0051] 本发明还提供一种计算机设备,包括储存器、处理器以及储存在所述储存器中并可被所述处理器执行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如上所述的叶片经济型谱性状估测方法的步骤。

[0052] 以上所描述的设备实施例仅仅是示意性的,其中所述作为分离部件说明的组件可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本申请方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0053] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0054] 本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产

生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中选定的功能的装置。这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中选定的功能。

[0055] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中选定的功能的步骤。

[0056] 在一个典型的配置中,计算设备包括一个或多个处理器(CPU)、输入/输出接口、网络接口和内存。

[0057] 存储器可能包括计算机可读介质中的非永久性存储器,随机存取存储器(RAM)和/或非易失性内存等形式,如只读存储器(ROM)或闪存(flash RAM)。存储器是计算机可读介质的示例。

[0058] 计算机可读介质包括永久性和非永久性、可移动和非可移动媒体可以由任何方法或技术来实现信息存储。信息可以是计算机可读指令、数据结构、程序的模块或其他数据。计算机的存储介质的例子包括,但不限于相变内存(PRAM)、静态随机存取存储器(SRAM)、动态随机存取存储器(DRAM)、其他类型的随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)、快闪记忆体或其他内存技术、只读光盘只读存储器(CD-ROM)、数字多功能光盘(DVD)或其他光学存储、磁盒式磁带,磁带磁磁盘存储或其他磁性存储设备或任何其他非传输介质,可用于存储可以被计算设备访问的信息。按照本文中的界定,计算机可读介质不包括暂存电脑可读媒体(transitory media),如调制的数据信号和载波。

[0059] 还需要说明的是,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、商品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、商品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括要素的过程、方法、商品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0060] 以上仅为本申请的实施例而已,并不用于限制本申请。对于本领域技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的权利要求范围之内。

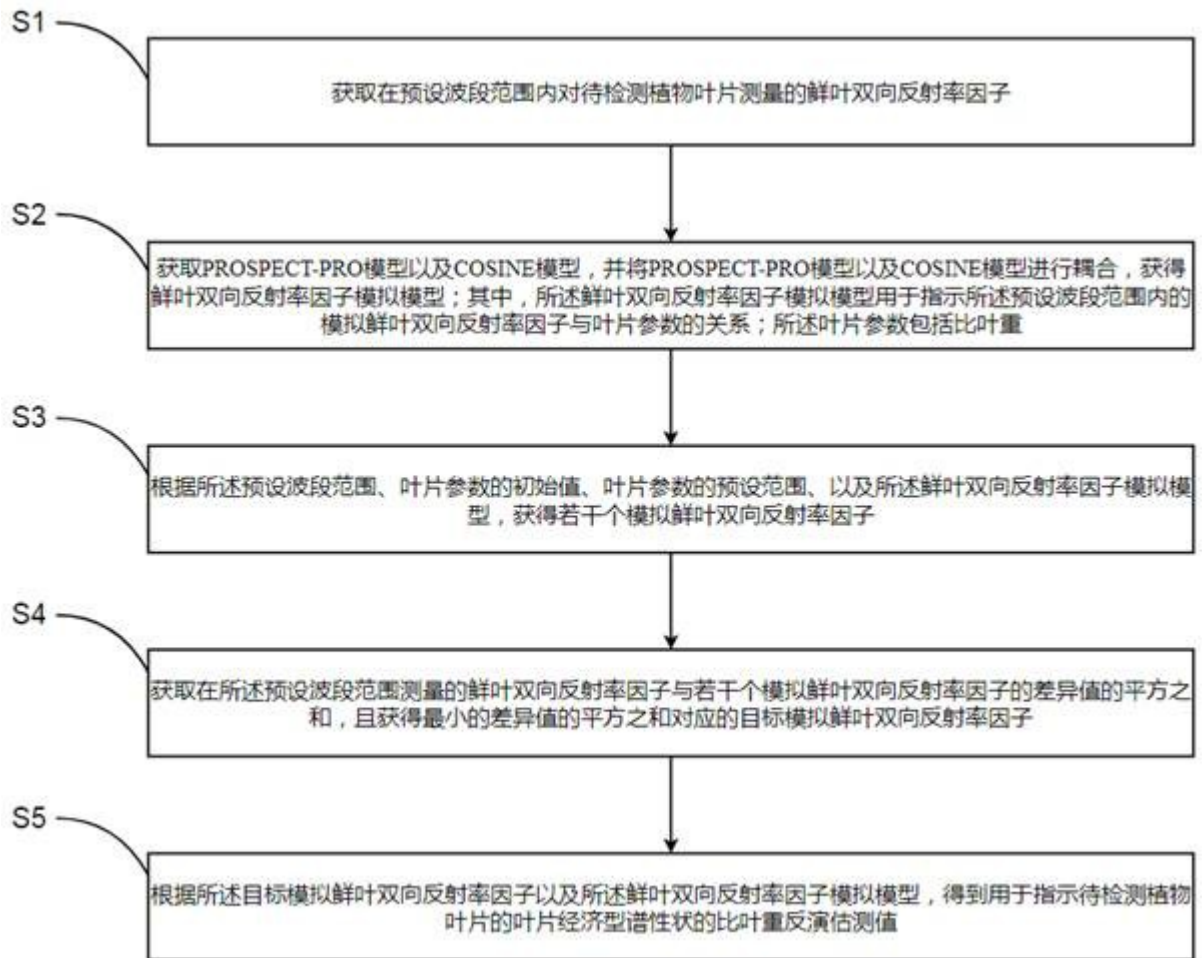


图1

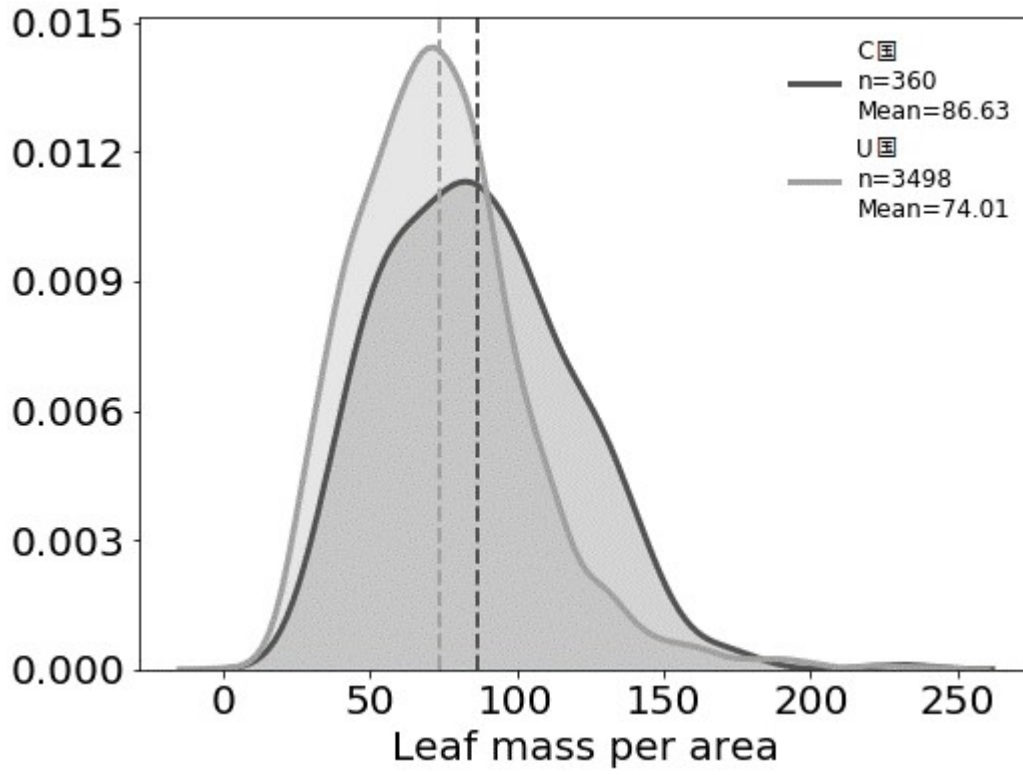


图2

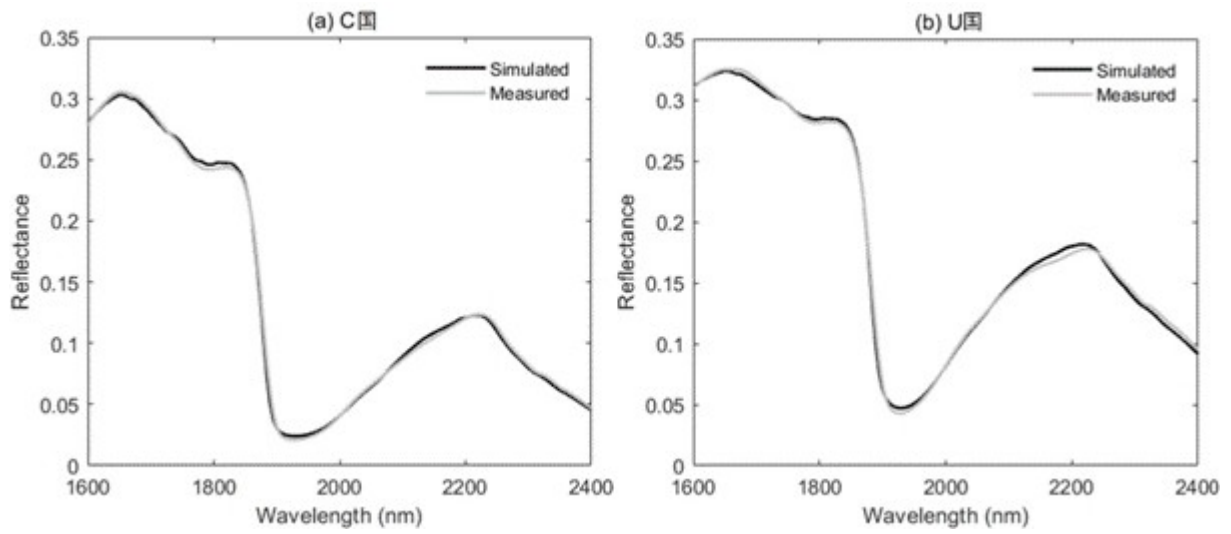


图3

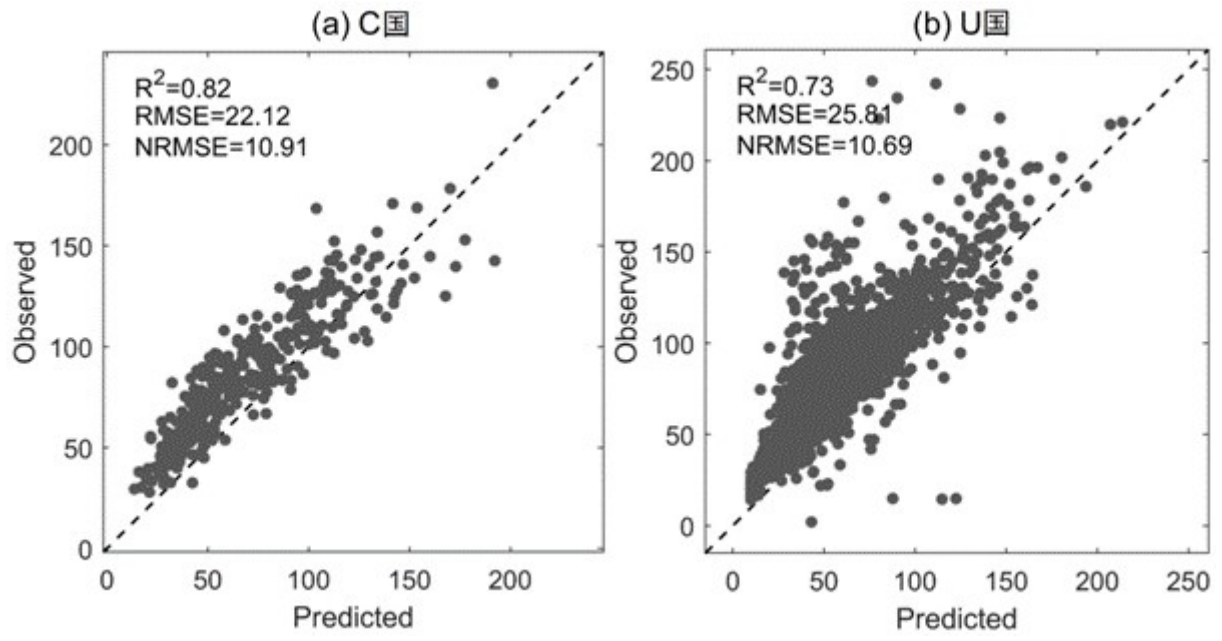


图4