

SRS 光谱反射传感器

操作手册



Decagon Devices, Inc.

本版更新于 2013 年 6 月 27 日

1 关于 SRS 光谱反射传感器

1.1 概述

SRS是双波段辐射传感器，它所测量的入射光和反射光可用于计算归一化植被系数（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）和光化学反射系数（Photochemical Reflectance Index, PRI）。传感器被制成四种型号：NDVI-半球型，NDVI-视场光阑型，PRI-半球型，PRI-视场光阑型。半球型（图1）传感器带有特氟龙（Teflon）扩散器用来进行余弦校正，该型号传感器主要用来测量上部的直射光。视场光阑型传感器的视场限制在20°，它主要用于测量NDVI和PRI波长中的冠层反射光。

来自植被覆盖层的反射光具有很大变异，它取决于植被总量和类型。这种变异性要求安装相对较多的传感器才足以反应出地表的特征。视场光阑型和半球型传感器均可用于定量测量冠层反射辐射。传感器类型如何选择取决于研究目标。半球型传感器在开阔面的反射辐射平均化中有着良好的表现，但是如果安装时和冠层表面非正交，那么天空辐射光也会参与平均化过程，这样就会产生测量误差。视场光阑传感器可以安装在特定地点和特定方向，旨在让使用者更大限度控制被测冠层。当在天底方向使用视场光阑传感器时，使用者需要注意该传感器不能朝向地平线以上。

计算NDVI或者PRI要求同时知道入射光和反射光。和反射光不同，冠层上的入射光在空间上是均一的。所以，要计算植被指数，你只需要一个向上的辐射传感器，但是向下的传感器却要很多个。向上的辐射传感器应该是水平的，且具有半球形视场。

SRS是一个数字传感器，它的数据输出符合SDI-12标准。SRS适用于Decagon公司的Em50、Em50R和Em50G数据采集器。但是，消费者也可以选用其它数据采集器，例如Campbell公司的数据采集器。

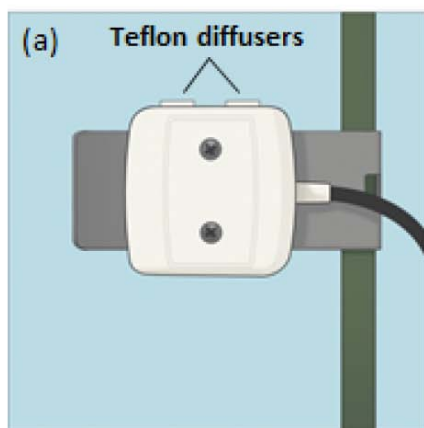


图1: 半球型

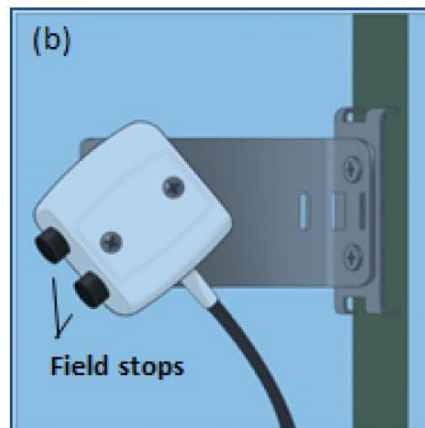


图2: 视场光阑型

1.2 技术参数

准确性: 大于10%的光学辐射率和辐照度

测量时间: <300ms

NDVI波段: 中央波长为630nm和80nm，半高全宽(FWHM)分别为50nm和40nm

PRI波段: 中央波长为531nm and 571 nm，半高全宽(FWHM)为10nm

尺寸: 43mm x 40mm x 27mm

电源要求: 3.6-15V直流电，4mA（读数状态，300ms），30μA（待机状态）

操作温度: -40-50°C

接口类型: 3.5 mm耳机接口或镀锡裸线接口

线长: 标配5m; 可根据要求定制

其他特性:

- ◆ SDI-12数字传感器, 与Decagon公司EM50系列和CSI数据采集器兼容
- ◆ 校准值储存在传感器内部
- ◆ 四种型号: NDVI-半球型; NDVI-视场光阑型; PRI-半球型; PRI-视场光阑型
- ◆ 带有特氟龙(Teflon)余弦校正头
- ◆ 带有透明塑胶密封的20度视场光阑
- ◆ NIST回溯校准, 可求出光学辐射率或辐照度
- ◆ 传感器可以朝上安装也可以朝下安装, 可以只安装一个, 也可以两个同时安装, 可以水平安装, 也可以对准某物安装
- ◆ 整机密封且能抵御紫外线, 减小了漂移量

2 原理

Decagon公司生产的SRS设备可以用来测量植物冠层的NDVI和PRI植被指数。我们需要提醒用户的是, NDVI和PRI值是根据冠层表面的电磁辐射推算出来的, 所以它可以给出我们所关心的冠层变量之间的间接或相对关系, 它们不能被看做是直接测量这些变量得到的结果。

NDVI在和冠层结构相关的遥感研究和生态应用中有着辉煌和悠久的历史。尽管PRI有望用于定量研究冠层生理功能, 但目前主要是通过实验得出的。尽管NDVI和PRI是推断植物冠层结构功能的有力工具, 解释数据时你仍然需要考虑它们的局限性。第三部分对理论进行了概述, 并且讨论了每个植被指数的应用和限制因子。

2.1 归一化植被指数 (NDVI)

很多非破坏性方法都可对特定冠层特性进行远程监控和定量研究。其中一些特性是: 叶片生物化学和色素含量、叶面积指数(LAI, Nguy-Robinson et al., 2012)、物候学和冠层光合作用(Ryu et al., 2010)。最常用的非破坏技术之一就是测量NDVI, 它是众多植被指数之一。它的原理源于一个著名的概念, 即植被在可见光谱范围(400 to 700 nm)和近红外光谱范围(>700 nm)对光的反射是不同的。

绿色叶片在可见光谱范围对光的吸收最强, 但在近红外光谱范围则反射最强(图3)。因为裸地、岩屑、茎、树干、枝条和其他非光合组分在可见光和近红外光中的反射差异不大, 因而二者反射光的差异和光合作用植被总量存在相关关系, 利用辐射传感器可测定视野范围内的植被总量。参见Royo和Dolors (2011)关于利用光谱指数测量植物冠层的进一步说明。

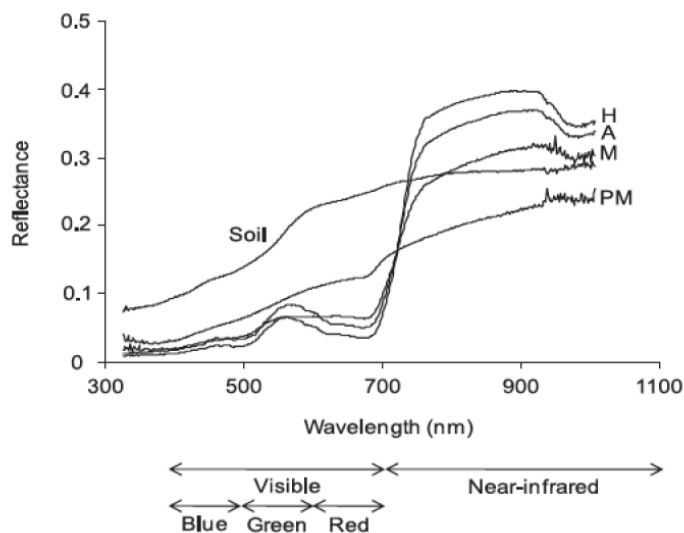


图3: 裸地(Soil)和不同生长期健康小麦的反射光谱: 抽穗期(H)、开花期(A)、灌浆期(M)和成熟后(PM)。考虑两个问题: 第一, 裸地和植物生长各个时期的反射光谱存在明显差异。第二, 随着冠层成熟和衰老可见光谱的变化。经Royo和Dolors(2011)同意后我们重新绘制了此图。

用公式1计算NDVI:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (1)$$

这里, ρ_{red} 和 ρ_{NIR} 是红光和近红外光(NIR)的反射百分率。我们假设反射率是特定波段反射光和入射光的比值。公式4详述了如何用测量得到的辐射值计算反射率。NDVI和绿色植物LAI显示出良好的相关性, 尽管这种关系对不同作物和自然冠层是不同的。例如, Aparicio et al. (2002)研究了利用两年时间研究了二十多种基因型的硬质小麦, 发现NDVI和LAI具有如图4所示的关系。Nguy-Robinson (2012)同样研究了玉米和大豆NDVI和LAI的关系。他们发现这两种植物中NDVI和LAI也具有类似的关系, 但并不完全相同。人们已经在一大批作物和自然冠层中发现了这种联系, 我们建议用户选择最佳的加以应用。

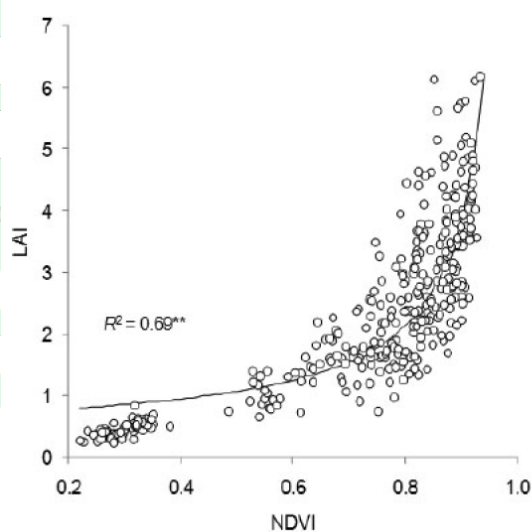


图4: Aparicio et al. (2002)利用两年时间研究20-25种不同基因型硬质小麦所得出的叶面积指数和NDVI的关系。图中所示数据来源于开花期和灌浆期。数据使用已征得作者同意。

2.2 光合有效辐射截获分数

用NDVI来确定叶面积指数有局限性。就像许多非破坏技术（例如鱼眼镜头和截获计）一样，随着LAI增大到某一特定值后，NDVI随LAI的变化就变得越来越不敏感了（图3）。Nguy Robinson et al. (2012)认为当LAI大于 $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ 就很难测出了。从光谱测量过程来理解这一点不足为奇。NDVI取决于叶片表面的反射光。随着冠层密度的增大，上部叶片开始遮挡下部叶片，下部叶片的增加对反射光的贡献逐渐减小。再加上叶片叶绿素强烈吸收红光波段的辐射，所以红光波段的反射便非常弱（图3）。因此，在某一特定值之上时，增大LAI和冠层叶绿素含量并不能有效改变红光反射。所以，当冠层的LAI较大时，用NDVI求算LAI有局限性。在某些应用中，LAI较大时NDVI饱和，它也就不那么重要了。

尽管在LAI较大时这种方法求解LAI的效果并不好，相对于阳光照射的叶片，被遮蔽的叶片对光捕获过程的影响较小，从而对冠层生产力的贡献也相应较小。作为常规模型参数，阳光直射的叶片数量需要被准确估计以便估计光合作用和生物量积累（例如碳吸收）。Monteith (1977)提出了著名的生物量积累和辐射俘获之间的关系，见公式2。

$$A_{n, \text{canopy}} = \epsilon f_s S_t \quad (2)$$

在公式2中， $A_{n, \text{canopy}}$ 是生物量积累或碳积累， ϵ 是转换效率，通常指光能利用效率(LUE)。LUE的值取决于很多因素，如光合作用积累、生理应激水平和植物种。 f_s 是冠层截获辐射的百分数， S_t 是总入射辐射值。Nguy-Robinson et al. (2012)研究中NDVI和LAI的关系，以及截获分数和LAI的关系(Campbell and Norman, 1998)表明，NDVI和截获分数大致呈线性关系(图5)。NDVI能很好地估计冠层中绿色叶片的截获分数，该分数是碳积累模型中的一个关键因子。

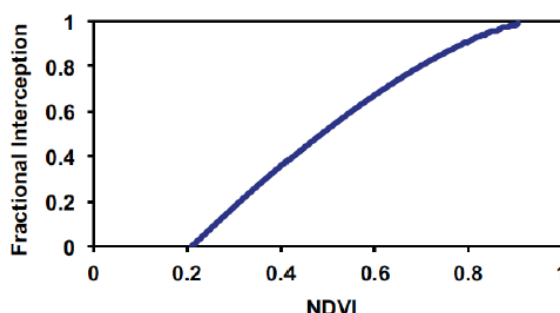


图5：冠层截获分数和NDVI的关系，此处NDVI已经采用Nguy-Robinson et al.(2012)的方法转换为LAI。Campbell和Norman (1998)给出了LAI和截获分数的关系。

2.3 冠层物候学

如许多光学测量一样，NDVI是间接测量值。过去，研究者对630 nm到800 nm测得相关参数感兴趣，例如LAI和 f_s 。除了这些关系之外，研究者还用NDVI估计了其他变量。其中的两个变量是Ryu et al. (2010)研究的焦点，他们花了四年时间在一个一年生草地上，用一个简易的双波段LED传感器（类似于SRS-NDVI）来测量冠层物候和其他变化。Ryu

et al (2010)发现NDVI和冠层光合作用存在指数关系，但是发现草地的LAI不超过 $2.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ 。NDVI传感器可用于追踪时间序列上的生态系统物候，但会产生错误。需要注意的是，他们通过限定太阳高度角过滤了数据（例如，每天在同一太阳天顶角和方位角采样）。

2.4 光化学反射指数

如上所述，归一化植被指数（NDVI）主要是作为一个表征树冠结构变量的参数。尽管结构特征是临界的，然而有时对了解冠层结构特征的信息是很有用的。例如，对于模拟全球碳平衡来说，估算生态系统的初级生产总值（GPP）是很重要的。在公式 2 中给出的简单模型可以从三个变量来预测 GPP：包括光（ S_t ）、遮挡光（ f_s ）和光利用效率（ ϵ ）。 S_t 可根据地理位置和一天中的时间或通过 PAR 传感器或日射强度计对比来大致地估计。鉴于归一化植被指数（NDVI）与上面提到的遮挡比例存在近线性关系，一个简单的双频段光谱反射传感器，比如 SRS-NDVI 传感器，就可以估算出来遮挡光（ f_s ）。为了准确预测 GPP，光利用效率（ ϵ ）仍然需要量化。

Gamon et al. (1990, 1992) 提出使用一个双频段植被指数（类似于 NDVI）去预测光利用效率（ ϵ ）。测量的基础是基于叶黄素色素在 531 nm 的吸光率与许多植被种类的光利用效率相关联（Gamon et al., 1997）。这个系数被称为光化学反射系数（PRI），可由公式 3 计算得出。

$$PRI = \frac{\rho_{531} - \rho_{570}}{\rho_{531} + \rho_{570}} \quad (3)$$

公式中 ρ_{531} 和 ρ_{570} 分别代表 531 nm 和 570 nm 处的反射率。如果联用，你就不需要其他技术手段，仅使用 NDVI 和 PRI 去预测生物累积量或生态系统的初级生产总值（Gamon et al., 2001）。因为传感器成本低、重量轻、占用空间小且功耗低，所以它们可以非常迅速部署，在时间或空间维度上来量化树冠生产力的时空变化（Garrity et al., 2010）。

除了光利用效率，光化学反射系数也被证实与从叶片到生态系统层面的植物光合性能相关的许多其他生理变量有关（Gamon et al., 1992, 1997, 2001）。叶黄素在 531 nm 处吸收辐射，并且叶绿素中心饱和将吸收更多的辐射。尽管在光饱和条件下 531 nm 处反射发生变化，然而在 570 nm 处反射的归一化没有变化，这表明了叶黄素吸光率的水平和植物光利用效率。因为增加叶黄素的吸光率并不仅仅与光利用效率相关，因而研究人员也调查了许多其他关系。

众多研究光化学反射指数与各种生理生态变异相关的指标包括叶黄素的环氧化状态，光系统II的最大化学效率，有效量子产率，最大光合速率，光饱和状态下的电子传递，非光化学淬灭，和叶绿素与类胡萝卜素含量的比率（Sims & Gamon, 2002; Garrity et al., 2011; Garbulsky et al., 2011; Porcar-Castell et al., 2012）。已有研究提供了一个很好的概述：就 PRI 而言什么需要做，包括 PRI 与几个变量在叶、树冠和生态系统水平的相关性分析（Garbulsky et al., 2011; Porcar-Castell et al., 2012）。我们鼓励客户能够使用这些引用作为初始资料。

2.5 太阳传感器曲面几何体的注意事项

由于辐射源、反射面和太阳传感器曲面几何体，光谱反射测量存在着固有的差异。显然，对于归一化植被指数和光化学反射指数的长期测量而言存在着很大的变异，这是很普遍的。以在亚高山草甸进行为期四天测量的每日归一化植被指数变化为例进行说明。图6展示了在干旱条件下的绿化对照处理。图7展示了在相同时间里已经过最初绿化的充分浇水处理。

关于这些数据有三方面需要注意：第一，在时间维度上，对照处理（上图）的冠层绿化率提高是清晰可见的；第二，每日的归一化植被指数的曲线通常是凹形曲线，这表明当把完整一天归结为一个单一值时，在同一太阳角（例如 60° 仰角（Ryu et al., 2012））或大约太阳正午时分采样是可行的。如果比较不同表面结构的太阳传感器获得的测量数据，首先计算双向反射分布函数（BRDF）是非常必要的。一旦你从测量和具体的冠层参数中导出双向反射分布函数，你就可以使用它来降低由跨昼夜引起的太阳传感器曲面几何体变化产生的变异。在时间维度上植被指数的双向反射分布函数标准化的其他详细信息，详见 Hilker 的研究（Hilker et al., 2008）。

有时候由于环境条件（见图6、7中的178天）的变化，双向反射分布函数将出现异常值。就剔除异常

数据值而言，数据过滤（比如目视检查短期数据或自动剔除程序处理长期数据）是必须的。

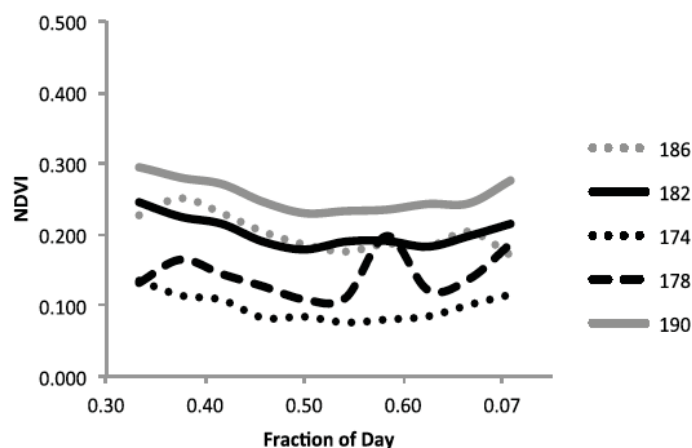


图6 位于亚高山草甸1 m处的归一化植被指数测量中的日变异

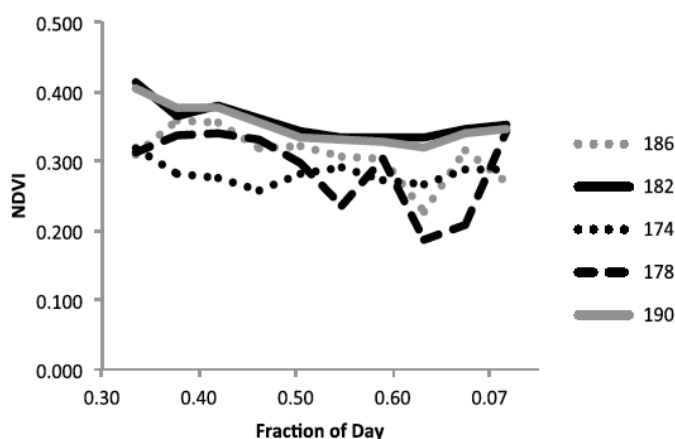


图7 位于亚高山草甸1 m处的归一化植被指数测量中的其他日变异

2.6 从配对的上下传感器来计算反射百分比

公式1表明，归一化植被指数是近红外反射率与红光反射率的差数与二者之和的比值。各反射率均值在各自的波段内反射（下方传感器）与入射（上方传感器）的辐射通量的比率。计算此比率的唯一可行的方法是在相同环境条件下同时采集反射波与入射波的辐射量。通常相隔甚远的传感器联合使用进行测量是不被建议的，这是因为气候条件（云量、气溶胶）在空间维度上存在巨大的差异。上下传感器间的合适距离，将取决于给定位置的典型辐射环境。

同样重要的是，同步采集配对的上下传感器的测定数据，这正解释了辐射环境的时间变化。在多个下方传感器部署在相互靠近的情况下，仅需要一个上方传感器。单一上方传感器的测量可以与每一个下方传感器的测量组合起来去计算反射率。

在上部传感器不可用的情况下，植被指数方程的重计算允许一个粗略的测量。下面的推导是对归一化植被指数而言的，然而类似的方程也适用于光化学反射指数。若 R_n 表示来自冠层的近红外辐射的反射， R_r 代表红外辐射的反射， I_n 表示近红外辐射，并且 I_r 代表红外辐射，那么

$$NDVI = \frac{R_n/I_n - R_r/I_r}{R_n/I_n + R_r/I_r} = \frac{(I_r/I_n)R_n - R_r}{(I_r/I_n)R_n + R_r} = \frac{\alpha R_n - R_r}{\alpha R_n + R_r} \quad (4)$$

其中 $\alpha = I_r/I_n$ 。如果你知道红外与近红外辐射的比率 α ，那么运用公式4可仅需要下部感应器的测量来计算归一化植被指数。虽然未广泛测试，但是就归一化植被指数波段来说，在相对晴朗的正午时分，比率1.86可作为粗略计算使用。然而，我们发现辐射随着气候条件和太阳倾斜角的变化而变化，因而下部传感器的直接测量更精确。

当你不想使用默认值或上部传感器的测量不可用时，你可以在光谱反射传感器停止工作的野外使用光谱摄像管或反射率标准来测量入射辐射量。使用下部传感器测量入射辐射的同时，在反射传感器停止工作的野外的可视范围内放置一个反射率标准，确保其放置水平，均匀照射，并完全处在照射板范围内。由其测定的数值必须乘以 π 将辐射转化为辐照度。辐照度可直接套用公式来计算 α 。

References

- Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Araus, J.L., and Royo, C., (2000). Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal*, 92: 83-91.
- Aparicio, N.; Villegas, D.; Araus, J.L.; Casadesus, J.; Royo, C., (2002). Relationship between growth traits and spectral reflectance indices in durum wheat. *Crop Science*, 42: 1547-1555.
- Campbell, G.S. and Norman, J.M., (1998). *An Introduction to Environmental Biophysics*, Springer-Verlag. New York.
- Gamon, J.A., Field, C.B., Bilger, W., Bjorkman, O., Fredeen, A.L., Penuelas, J., (1990). Remote sensing of the xanthophylls cycle and chlorophyll fluorescence in sunflower leaves and canopies. *Oecologia*, 85: 1-7.
- Gamon, J.A., Penuelas, J., Field, C.B., (1992). A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, 41: 35-44.
- Gamon, J. A., Serrano, L., Surfus, J. S., (1997). The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, 112: 492-501.
- Gamon, J. A., Field, C. B., Fredeen, A. L., Thayer, S., (2001). Assessing photosynthetic downregulation in sunflower stands with an optically based model. *Photosynthesis Research*, 67: 113-125.
- Garbulsky, M.F., Penuelas, J., Gamon, J., Inoue, Y., Filella, Y. (2011). The photochemical reflectance index (PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies: A review and meta-analysis. *Remote Sensing of the Environment*, 115: 281-297.
- Garrity, S.R., Vierling, L.A., Bickford, K., (2010). A simple filtered photodiode instrument for continuous measurement of narrowband NDVI and PRI over vegetated canopies. *Agricultural & Forest Meteorology*, 150: 489-496.
- Garrity, S. R., Eitel, J. U. H., Vierling, L. A., (2011). Disentangling the relationships between plant pigments and the photochemical reflectance index reveals a new approach for remote estimation of carotenoid content. *Remote Sensing of Environment*, 115: 628-635.
- Hilker, T., Coops, N. C., Hall, F. G., Black, T. A., Wulder, M. A., Nesic, Z., Krishnan, P., (2008). Separating physiologically and directionally induced changes in PRI using BRDF models. *Remote Sensing of Environment*, 112: 2777-2788.
- Monteith, J.L., (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions Royal Society of London B*, 281: 277-294.
- Nguy-Robertson, A., Gitelson, A., Peng, Y., Via, A., Arkebauer, T., and Rundquist, D., (2012). Green leaf area index estimation in maize and soybean: Combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. *Agronomy Journal*, 104: 1336-1347.
- Porcar-Castell, A., Garcia-Plazaola, J. I., Nichol, C. J., Kolari, P., Olascoaga, B., Kuusinen, N., Fernandez-Marn, B., Pulkkinen, M., Juurola, E., Nikinmaa, E., (2012). Physiology of the seasonal relationship between the

photochemical reectance index and photosynthetic light use efficiency. Oecologia, 170: 313-323.

Royo, C. and Villegas, D., (2011). Field Measurements of Canopy Spectra for Biomass Assessment of Small-Grain Cereals, Biomass-Detection, Production and Usage, DarkoMatovic (Ed.), ISBN: 978-953-307-492-4, InTech, Available

from:

<http://www.intechopen.com/books/biomass-detection-production-and-usage/field-measurements-of-canopy-spectra-for-biomass-assessment-of-small-grain-cereals>.

Ryu, Y., Baldocchi, D.D., Verfaillie, J., Ma, S., Falk, M., Ruiz-Mercado, I., Hehn, T., Sonnentag, O., (2012).

Testing the performance of a novel spectral reectance sensor, built with light emitting diodes (LEDs), to monitor ecosystem metabolism, structure and function. Agricultural & Forest Meteorology, 150: 1597-1606.

Sims, D. A., Gamon, J. A., (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. Remote Sensing of Environment, 81: 337-354.

3 连接 SRS

3.1 与 Decagon 数据采集器连接

SRS 与 Decagon 公司的 Em50, Em50R 和 Em50G 数据采集器连用最为简单 (软件版本为 2.13 或更新的版本)。SRS 也可以与其他 SDI-12 型数采连用, 如 Campbell 数采, 但其需要一个 3.6~15V 范围内的激发电压。

从 Em50 系列数采下载数据至您的电脑时, 需要您预先在电脑上安装 ECH₂O Utility 或者 Data Trac 3 等应用软件。以下软件均可支持 SRS 传感器:

Em50 2.14 或更高版本

ECH₂O Utility 1.68 或更高版本

Data Trac 3.8 或更高版本

ProCheck 1.51 或更高版本

注: 请检查您的软件版本以确保其能连上 SRS。

如需升级您的软件至最新版本, 请访问 Decagon 网站: <http://www.decagon.com/support/>.

SRS 与 Em50 系列数据采集器连用时, 只需要将其耳机插头式插线插入数据采集器的五个端口中的任意一个即可, 然后使用 ECH₂O 或者 Data Trac 3 软件 (具体见相应使用手册) 将该端口配置选择为 SRS 并且设置数据记录间隔时间即可。

Em50 和 Em50R 数据采集器的最高记录频率为 1 分钟采集一个数据, 而 Em50G 数采则为 5 分钟采集一个数据。对于 Em50 系列数采, 当您设置的记录间隔时间超过 1 分钟时, 显示的读数是数采记录每分钟的数据样本的自动平均值。当您使用 SRS 连接至 Em50 系列数采时, 请留心采样间隔的设置, 以防止平均功能导致错误的测量。如您每天只需记录一个读数, 您可以选择采样间隔为 24 小时, 这时每 24 小时的读数将会是之前 1440 分钟的数据的一个平均值, 包括夜晚的读数。为了避免这种错误, 我们建议您采集数据的频率相应设置的更密些, 即使您并不需要使用所有的采集到的数据。

如果用户所需的采样间隔小于 1 分钟, 那就必须使用 Campbell 或者其他类似的能将采样间隔设置为您所需要的时间的数据采集器。

3.2 3.5mm 耳机式插头接线

SRS 光谱反射传感器使用一根 3.5mm 的耳机式插头接线连接至 Decagon 数采盒。这种耳机接头允许其与 Decagon 的 Em50 和 Em50G 数采快速直连，图 8 显示的是该连接头的结构。



图 8.3.5mm 耳机式插头接线

3.3 连接至非 Decagon 数据采集器

用户有可能购买 SRS 时与非 Decagon 系列数据采集器连用，这些传感器通常会配置剥离的镀锡导线（尾纤）来与 SDI 总线终端连接，您可参阅您所使用数采的说明书来进行线路连接。我们的综合使用手册上有关于 SRS 连接非 Decagon 数据采集器的具体说明，您可以登录 www.decagon.com/support 下载综合使用手册。

3.4 尾纤端接线



图 9.尾纤端接线

使用尾纤端连接线时，SRS 传感器可以定制电缆长度（最长 305 米），按米收费，可以通过线路连接来实现此操作（但连接处同时也是潜在的故障点）。您可以按照图 10 将线缆与数据采集器相连，供电线（白线）与激发电压相连，数字输出线（红线）与数字输入相连，裸线接地。

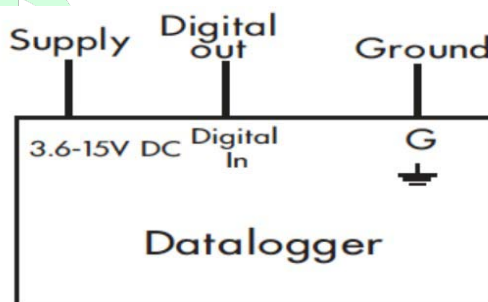


图 10.尾纤端接线连接数采

注：激发电压为 3.6~15V 之间的直流电，如果您想使用 Campbell 数采来收集 SRS 数据，您需要使用 12V 或者是调至 12V 档位的电源给传感器供电。

如果您的 SRS 配备了标准的 3.5 毫米插头，但是您希望将它连接到一个非 Decagon 数据采集器，你有两种方法进行连接。

首先，您可以剪掉传感器的接头，剥掉外皮，露出三根镀锡线，直接将其与数采相连。这种连接方法的优点是在直接连接的同时传感器不容易被拔出，但是，剪过后的线头之后不能再与 Decagon 系列数采连用了。另外一种方式是从 Decagon 厂家购买一个线缆适配器。这种 3 线的适配器一端有一个可以插传感器耳机式接头的接口，另一端则是三根可以与数采直连的连接线（因此它也被称为尾纤适配器，如图 10）。两种方法连接数采时，三根线的连接方法均与上面介绍的一致，即：白线连接激发电压，红线代表数据输出，裸线接地。

注：连接耳机式插口和适配器时务必格外留心，以确保在使用过程中传感器不会断开连接。

4 通讯

SRS 使用 SDI-12 协议进行通讯，本节主要讨论 SDI-12 通讯的特点。您可以登录 www.decagon.com/support 获取更多相关信息。

SDI-12 通讯

SRS 传感器使用 SDI-12 协议通讯，一个三线接口可以让所有的传感器在公用接线上实现供电（白线），接地（裸线）和通讯（红线）（您可以登陆 www.sdi-12.org 搜索更多关于 SDI-12 的相关信息）。这一通讯方式同时具有积极和消极两方面的意义。一方面，多个传感器可以接到同一个数据采集器上，由其提供 12V 电压并与之通讯，这种通讯方式由于不需要使用多路器从而简化了布线。另一方面，一个传感器出现问题的话会导致全部矩阵瘫痪（如电路短路）。为避免这一问题，我们建议用户可以使用独立的接线盒将每一个传感器的接线连接到耳线束，这样的话，如果某个传感器出现问题，其他传感器会各自断开。接线盒和数据采集器之间可以通过一根独立的三线电缆连接。

SDI-12 协议要求所有的传感器都有自己独立的地址。SRS 传感器出厂自带一个 SDI-12 地址“0”。如果要增加更多的 SDI-12 传感器到系统里，其对应地址必须得更改。地址选择包括 0-9, A-Z, a-z。更改地址有两种方式，最简最佳方法是使用 Decagon 的 ProCheck 软件（如果您的 ProCheck 操作执行不了，请将固件升级到最新版本）。SDI-12 地址可以通过选择“SDI-12 Address”添加到“CONFIG”菜单里，这样就可以通过简单的上下箭头进行切换，找到您想要使用的地址，然后按“Enter”键选择。SDI-12 通讯可以实现多个参数同时通讯，因此您可以实时查看各种参数如传感器模式，SDI-12 版本等。

SDI-12 通讯协议支持 Campbell 公司的数据采集器，如 CR10X, CR200, CR1000, CR3000 等。在“Connect”界面下的“Tools”菜单中选择“Terminal Emulator”模式，可以支持 SDI-12 直接通讯。关于使用 CSI 数据采集器时的地址设置，详情请登录我们的网站 <http://www.decagon.com/support/downloads>。

传感器可以使用 3.6-15V 的直流电进行供电。

SDI-12 通讯方式支持传感器连续供电，因此供电线（白线）可以连接到持续的 12V 电压环境中，同时，传感器也可以使用具有 12V 档位的可调电压。这样不仅可以降低电源的消耗，同时也允许传感器在发生故障时自动重启（SRS 能耗极低，仅为 0.03mA）

Campbell 系列数据采集器利用 SDI-12 协议与 SRS 连用时，需要调用一个函数。在我们的软件专区 <http://www.decagon.com/support/> 上可以找到一个 Edlog 与 CRBasic 的示范程序。

5 理解数据输出

5.1 应用 Decagon 的 EM50 系列数据采集器

当连接到 EM50 数据采集器上时，每个 SRS 传感器产生多个输出。确切的输出内容一部分取决于连在数据采集器上的传感器数目和类型。此外，所有的 SRS 传感器都配备了一个内置倾斜传感器。SRS 的方向及其内部传感器的方向都决定着每个传感器的输出。

5.1.1 向上的传感器输出

对于任何朝上放置的半球传感器，其输出包括已校准的光谱辐照度 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$) 和值。α 是个比值，对于 NDVI 传感器是 630nm 和 800nm 波长的比值，而 PRI 传感器则是 570nm 和 532nm 的比值。关于 α 更多的细节见公式 4。

5.1.2 向下传感器输出

当半球或视场光阑传感器被装置在向下的方向时，其输出包括每个波段已校准的光谱辐照度 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$) 和 NDVI/PRI。如果上下传感器是相同类型的（例如上下都是 NDVI 传感器）且被连在相同传感器上，那么上部传感器的 α 值会和下部传感器的光谱辐射值结合起来用于校准植被指数（利用公式 4）。若只有向下传感器连接在数据采集器上，默认的或用户指定的固定的 α 值会被用于植被指数的校准。基于普尔曼地区附件收集的数据，WA (46_45'0"N, 117_09'6"W)，对于 PRI 和 NDVI，α 值分别被设定为 0.98 和 1.86。请注意真实的 α 值是随着天气条件和太阳角度的变化而变化的，因此建议用户使用一个向上的半球传感器来测量 α 值。如果上下传感器安装在相近的位置但是连在不同的数据采集器上，可以把数据以 excel 表格的形式导出，然后手动把上部传感器的 α 值和下部传感器的光谱辐射值结合，从而校准 PRI 或 NDVI。

5.2 用其它的数据采集器

当传感器连接在非 Decagon 数据采集器上（如 Campbell scientific）时，其输出包括已校准的光谱辐照度或每个波段的辐射度及倾斜传感器反映的方向值。短波和长波传感器的光谱辐照度和辐射度是以辐射通量的形式输出的 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ 或 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$)。倾斜传感器的读数是 0-2 之间的一个单一值输出，其中 0 表示不确定方向，1 表示向下，2 表示向上。若您想获得更多关于 SRS 和非 Decagon 数据采集器的应用的信息请登陆 www.decagon.com/srs。更多关于连接 SRS 到非 Decagon 数采信息请参考本手册 4.3 节。

6 安装 SRS

6.1 安装于调平

SRS 配有多种安装硬件，可以安装在柱子、钢筋、电线杆、三脚架等上面。通过安装硬件可以调整传感器的垂直及杆上的安装方向，而且可以调整传感器的倾斜。向上传感器有特氟龙（Teflon）散光器，并从整个上半球测量辐射。因此，传感器应该被水平放置，并安装在无遮蔽且天空视图清晰的位置。

对于向下的传感器，SRS 可以安装在距离冠幅的任意位置，但是需注意的是，传感器离冠层越近植物个体对读数的影响也越大。

您可能会使用半球型向下传感器，但是得确保传感器正对着下方使其“看”不到天空。用视场光阑辐射计可以避免杆及天空的影响。这类传感器得到的是目标区域内 20°视角的平均值。要确保传感器“看”的范围具有代表性，并仔细选择视角仰角和方位角。当视角直接远离太阳时，传感器看到的是太阳照射的树叶。如果感应点垂直于太阳光线，传感器看到的阴影部分增加。视场光阑传感器测量的是冠层反射辐射，因此安装方向不能向上。

6.2 清洁和保养

光学镜面表面需要保持干净，不要沾有灰尘、碎屑及沉积物。定期用蘸水的软布擦拭清洁镜面是必要的。在野外安装的辐射计大概一年需要返厂校准一次。更多校准信息见 7.3 节。

7 故障排除

SRS 最常见的问题表现为通讯失败或读数错误。在联系 Decagon 之前，按以下步骤检查排除故障。

7.1 数据采集器

- 1.检查并确保数据采集器的连接正确安全。
- 2.保证您的数据采集器电池有电。
- 3.在 ECH2O Utility或DataTrac 3软件中检查您的数据采集器系统配置，确保您选择了正确的SRS版本（PRI或NDVI）。
- 4.如果您使用的是Decagon数据采集器，确保您选择的固件和软件版本正确。

7.2 传感器

- 1.保证您参照本手册的“安装”部分正确安装了传感器。
- 2.检查传感器的电缆，刻痕或切口会导致故障。

7.3 校准

Decagon厂家利用NIST标准光源来校准光谱反射传感器。可根据需要提供传感器校准的详细信息。我们有重新校准的服务，建议您一到两年把SRS传感器返厂重新校准一次。当您的传感器返厂做校准的时候您需要返厂材料授权(RMA)表格。请致电509-332-5600或发邮件至support@decagon.com来联系Decagon公司，以获取RMA表格或传感器校准的相关信息。