

## 遥感光谱信息提取不同覆盖下植被水分信号的研究进展

张佳华<sup>1</sup>, 李莉<sup>1</sup>, 姚凤梅<sup>2\*</sup>

1. 中国气象科学研究院遥感与气候信息开放实验室, 北京 100081
2. 中国科学院研究生院地球动力学实验室, 北京, 100049

**摘要** 综述了基于遥感光谱信息的植被水分信号提取的研究进展, 包括直接利用光谱反射率反演植被水分信息到建立植被水分指数(WI), 再发展至利用辐射传输模型来获取植被冠层水分信息。着重评述了针对低植被覆盖条件下的提取其冠层水分信息的方法, 包括利用冠层生理参数估算植被水分信号; 基于去除土壤背景影响的光谱植被水分指数或辐射传输模型估算植被水分信息, 以及基于多角度的星-地观测提取稀疏条件下的植被水分信息。最后讨论了针对提取低覆盖植被冠层水分信息方法的可能发展趋势。

**关键词** 光谱指数; 植被水分; 水分指数; 低覆盖条件; 调整土壤植被指数; 辐射传输模型

**中图分类号**: TP7; S15 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)06-1638-05

### 引言

作物在生长发育的前期(如返青、拔节期)都处于低植被覆盖的条件下, 但对于作物而言这个时期却是关键的生长期阶段, 是作物营养生长、干物质积累和产量形成的重要时期。利用遥感光谱技术来监测该时作物的面积、长势、灾害和产量等农情信息以帮助确立作物耕作的有效措施, 其中准确的作物水分信息可确定作物灌溉量。当植物缺乏水分时, 直接影响到植株的生长发育、光合作用并最终导致减产。因此, 大面积动态提取该时期作物水分的信息甚为重要, 可用于迅速地判断主要作物生育前期的生长状况, 快速进行干旱评估和开展合理灌溉。

近20年利用遥感光谱等技术, 快速获取遥感影像并进行植被冠层水分含量的遥感反演已经得到很大发展, 但针对作物各个生育期尤其是处于低覆盖条件下的植被水分含量的遥感反演相对较少。一定程度限制了遥感光谱信息提取植被水分信号的精度。本文分别针对不同覆盖条件下植被水分的研究进展和方向进行综述和评论。

### 1 高覆盖条件下遥感植被水分信息提取方法的研究进展

近年来, 国内外在不考虑土壤背景的影响、对高覆盖条件下植被水分遥感反演的研究已经积累了大量相关技术和应

用模型。初期研究是利用统计方法, 在叶片和冠层尺度上建立光谱反射率数据与作物水分, 包括表征叶水分含量的参数如等价水厚度(EWT)等之间的统计关系。随后进一步引入了物理模型, 建立植被水分指数(WI), 以期在理论上探讨植被水分与植物光谱特征的内在联系, 以及分析光在植被冠层中的辐射传输过程, 并使光谱的遥感物理机理与植物生理过程有机结合, 建立基于机理分析的遥感监测模型, 实现提高植被水分的反演与监测精度。

#### 1.1 利用植被水分指数(WI)提取植被水分信息

国际上最初研究者探讨了水分含量对叶片反射率的影响并确定了在短波红外(SWIR)谱段内对水分信息敏感性最大的关键波段, 但发现只利用SWIR来对整个冠层或者植物的水分进行监测是不够的<sup>[1]</sup>; 随后研究者将研究尺度从叶片上推至冠层, 对遥感影像数据进行数学方法处理(如最小二乘法波谱匹配), 以及建立归一化水分指数NDWI( $NDWI = (R_{860} - R_{1240}) / (R_{860} + R_{1240})$ )和比值水分指数WI( $WI = R_{900\text{nm}} / R_{970\text{nm}}$ ), 获取植被冠层水分信息(以EWT等形式表现), 并与地面实测数据进行验证。结果表明, 近红外波段(NIR)的液态水吸收波段对冠层水分含量估计具有一定的适用性, 而且所建立的水分指数(WI)可以较为灵敏地反映冠层水分含量<sup>[2-4]</sup>; 研究发现短波红外对叶片等效水厚度十分敏感, 也较为容易受到叶片干物质含量和叶片结构参数的影响, 所以要将NIR与SWIR相结合, 建立各个不同波段组合的植被水分指数(WI)。可以成功地估算叶片的EWT<sup>[5-7]</sup>; 在

收稿日期: 2009-08-09, 修订日期: 2009-11-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771147)和国家(863计划)项目(2006AA10Z213)资助

作者简介: 张佳华, 1966年生, 中国气象科学研究院研究员 e-mail: zhangjh@cams.cma.gov.cn

\*通讯联系人 e-mail: yaofm@gucas.ac.cn

众多水分光谱指数研究中 NDWI 和 WI 被认为是对叶片和冠层水分最为敏感的指数,但经过比较验证表明这两个指数对叶片水分含量和等效水厚度的监测能力是有所不同;此外利用 MODIS 多波段数据生成 NDWI 分析地表反射率与叶片水分含量 FMC 之间的关系,结果也表明此方法对近实时的监测叶水含量有潜在的实用性<sup>[8]</sup>。

在叶片尺度上,国内研究根据田间观测数据,采用光谱归一化技术建立小麦叶片相对水分含量(RWC)与叶片特定波段光谱特征吸收峰深度( $A_h$ )和吸收面积( $A_s$ )之间的相关关系,提出了间接利用光谱反射率来反映小麦叶片水分状态的方法<sup>[9]</sup>;或者利用新建植被指数  $R(610, 560)/ND(810, 610)$  和比值植被指数 ( $R_{810}/R_{460}$ ) 建立作物冠层反射特性与作物叶片和植株的水分关系,结果表明这两指数可以反映作物的水分信息,但是该指数是建立在地面实测数据基础上,若要广泛应用还需进一步的研究<sup>[10]</sup>。通过测定多种田间试验条件下作物叶片的反射和吸收光谱,证明 1 400~1 600 nm 波段的光谱可以很好地用来反演植被水分状况<sup>[11]</sup>。

### 1.2 利用辐射传输模型提取植被水分信息

自从 20 世纪 60 年代开始,研究者发展一系列辐射传输模型,用于描述和模拟光辐射在植物群丛中的传播。植被冠层光谱模型如 Suits, SAIL 模型等<sup>[12-14]</sup>;植被叶片模型如 PROSPECT 等<sup>[15]</sup>。这些模型的广泛应用,可以对植被冠层和叶片的光学特性进行恰当模拟,获得叶片结构和生化组分的信息(如:叶绿素、氮素含量、干物质含量、水分含量等)。国内外的研究者们提出并实践验证通过模型耦合或模型与植被指数结合起来获取植被水分含量信息的综合方法,也获得了较大发展。

研究表明,模型耦合如 PROSAIL 模型和 PROKUUSK 模型都可以成功地在 400~2 500 nm 波段内反演反射率以获取植被水分信息,采用卫星高光谱数据和多光谱数据等反演植被水分含量均可得到较好结果。采用模型与植被指数结合,如基于模型建立的全球植被水分指数(GVMI)和短波红外垂直失水指数(SPSI)均可在考虑不同地表植被覆盖条件下反映植被的水分信息,但是土壤背景影响没能彻底消除,需进一步研究以提高不同地表植被覆盖条件下植被水分信息的提取精度<sup>[16]</sup>。

## 2 低覆盖条件下植被冠层水分信息提取方法的研究进展

上述的植被水分信息反演技术,多为地面植被覆盖较高的状况下,但所得的反演方法若应用到植被覆盖较低的区域,其结果会受到土壤背景因素的明显影响,导致提取植被水分信息的准确度大幅下降。所以如何在原有研究的基础上尽量减小或是有效去除土壤因素的影响,即在低覆盖条件下受到土壤背景明显影响的植被冠层中更为准确地提取作物水分信息成为了研究的重点<sup>[17]</sup>。

### 2.1 利用冠层生理参数间接提取低覆盖植被水分信息

相比较而言,叶片水分含量信息的获取,可以通过野外实际单体测量达到,而冠层水分含量信息则很难直接测量获

取。研究者探讨了利用已获取的较为准确的植被生理生化参数来间接的估算植被冠层水分含量信息。Dawson 等在不同程度的植被覆盖条件和不同的叶面积指数(LAI)条件下,通过对相对叶片含水量(FMC)上推尺度获取冠层水分含量信息,其中包括利用到比叶面积 SLA(specific leaf area)、LAI、冠层覆盖率等相关参数来进行计算的方法。利用该研究区域相应的实测数据验证获得不错的结果。但是该方法所涉及的 SLA 并不是固定不变的,而是依据植物物种类别和物候状态变化的<sup>[4]</sup>。所以,此方法适用于具有该参数具有先验数据的研究区域,且研究区域内物种应尽量少,以减小对该参数的影响。其后, Ceccato 等在利用辐射传输耦合模型进行全球敏感性分析的基础上,将 NIR 和 SWIR 波段结合成功地构建了全球植被水分指数(GVMI),并且探讨了不同 LAI 条件下水分信息与光谱之间的关系,从而利用 LAI 对植被的 EWT 作了修正。通过实测数据验证结果表明,该方法在 LAI 等于或大于 2 的条件下才更适合于反演获取植被水分信息,获得较高的准确度<sup>[18]</sup>。这说明利用相关生理参数来间接估算植被水分含量信息,可能出现的问题包括对所研究区域的冠层生理生化参数的预先获取,以及所要求适用的环境条件。这类方法应用受到地域的限制,而且对于低覆盖条件植被区域,需要较为准确地判断其植被覆盖程度。

### 2.2 利用含调整因子植被水分指数或模型提取低覆盖植被水分信息

对于低覆盖条件下的植被而言,土壤的二向性反射特征(BRDF)对于冠层光谱可能起着非常重要的作用,因此在估算低覆盖植被冠层水分信息时主要是去除其土壤背景信息,若利用经验模型,可采用去除土壤影响的植被水分指数来尝试更好反演植被水分信息。

由于土壤在 NIR 的反射通常是 VIR 的两倍,土壤的背景辐射会影响与红波段(Red)、NIR 有关的植被指数(VI),一般如归一化植被指数(NDVI)、变换植被指数(TVI)等都没有考虑土壤背景的影响,辨识能力明显下降,不适用于在低覆盖植被区域;而如垂直植被指数(PVI)则有所不同,PVI 是在植被指数的基础上采用“土壤线”发展而来,受土壤亮度的影响较小,可以部分去除土壤的影响,但只在植被覆盖较低时表现比较好,随着 LAI 增加就会变得对土壤背景很敏感,对植被就不会有太强的敏感性,比较适用于低覆盖度植被区域,如作物发育处于早-中期的农田。此外研究者们提出了包括校正因子或常量的替代方程生成的植被指数(VI),用以估测背景辐射的变化或者减弱背景辐射的影响以利于提取其植被水分信息。如土壤调整植被指数(SAVI),转换型土壤调整植被指数(TSAVI),校正转换型土壤调整植被指数(ATSAVI),修改型土壤调整植被指数(MSAVI)和优化型土壤调整植被指数(OSAVI)等。其中 SAVI 是建立了一个可适当描述土壤-植被系统的“简单模型”的植被指数,也确实降低了土壤背景的影响,但同时也降低了与植被覆盖度的相关性,极有可能丢失一部分植被信号,而且其中的调节因子 L 是随着植被盖度与土壤类型而变化的,不能完全正确表现植被的状况;转换型土壤调整植被指数(TSAVI)和校正转换型土壤调整植被指数(ATSAVI)是 SAVI 的转换形式,也源于

土壤线且都考虑了土壤背景的有关参数,而且后者通过附加一个“ $x$ ”值(也为调节因子),将土壤背景亮度的影响减小到最低,所以更适于低覆盖植被;修改型土壤调整植被指数(MSAVI),比SAVI更好地考虑了土壤因素,且不需要目标研究区的先验知识,非常适合于地表低覆盖植被区的研究;优化型土壤调整植被指数(OSAVI)则是通过模型模拟来获得优化值,并已证明在不同植被覆盖度能较有效地减少土壤噪声影响。Jiang等在Red-NIR平面上三角分析基础上,为降低土壤背景对角度型植被指数 $NDVI$ 的影响,提出了一个基于SAVI的角度型植被指数 $SAVI$ ,并利用实验观测光谱数据对 $NDVI$ 、 $SAVI$ 、 $NDVI$ 和 $SAVI$ 这4个植被指数的性能进行了比较,结果表明 $SAVI$ 不仅受土壤背景影响小,且线性相关较好,更适用于对低覆盖植被冠层信息的提取<sup>[16]</sup>。此外研究者们利用实测数据对多个植被指数进行比较验证,结果表明SAVI、TSAVI和MSAVI比NDVI更能减小因土壤亮度而造成的对植被冠层信息估算误差;MSAVI在监测低覆盖度时效果并非最佳,但随着植被覆盖度的增加,逐渐表现出一定的优势,其适用于覆盖条件不至最低且逐渐会发生变化的植被区域<sup>[19,20]</sup>。但是考虑到Red及NIR对植被水分信息并不非常敏感,所以利用这两个波段构建的上述植被指数很少直接应用于提取低覆盖条件下植被的水分信息,而是通过对原有的指数变化一定的数学形式或者是采用对水分信息敏感的SWIR来实现。沈艳等利用LOPEX 93数据所构造的SAVI土壤可调节水分指数和比值指数Ratio975的改进型光谱指数用来提取不同LAI条件下冠层水分信息获得较高的精度<sup>[21]</sup>。

利用各种形式的植被指数直接提取低覆盖植被冠层水分信息时,可能因其他各种外界环境因素影响而不能准确地反映出来。研究证明在植被较为稀疏、土壤反射率高的情况下,植被指数与植被覆盖率之间的关系不是固定的,它随地点而变,只利用简单的指数统计方法建立的经验模型并不是完全通用的方法,而只能针对特定地区特定时期进行分析。这种统计模型虽然在数学表达上既简单又有一定程度的准确性,但是它的特点就是所研究的植被冠层信息和指数之间的关系并不是源于对条件或者是对背景等的假设,也不是基于植被生物物理的规律和原理而建立的。

在提取低覆盖植被冠层水分信息时常会用到辐射传输模型,如Ustin等利用HFBA模型在960 nm吸收波段反演等效水厚度取得成功,但对于LAI值过低的冠层,由于土壤和阴影对稀疏植被的影响,该方法可行程度不高<sup>[22]</sup>;沈艳等在冠层层次上利用PROSAIL(PROSEPECT + SAILH)耦合模型模拟不同LAI和不同水分含量条件下的冠层光谱,提出用近红外和短波红外波段反射率构造土壤可调节水分指数(SAWI),结果表明此指数与其他指数相比明显地剔除了土壤背景的影响,更为准确地提取了冠层水分信息<sup>[21]</sup>;阿布等利用PROSPECT叶片模型、SAILH冠层模型和地气辐射传输模型6S,并结合ETM+数据,提出了基于NIR-SWIR光谱特征空间的用于植被水分监测的短波红外垂直失水指数(SPSI),结果证明SPSI和实测的FMC有较高的相关性,能在叶子严重缺水而失水后可以指示,但没能完全排除土壤背

景的干扰,在植被覆盖度越高的时候模型反演的结果才越为可靠<sup>[23]</sup>。

### 2.3 利用多角度遥感技术提取稀疏植被水分信号

对于稀疏植被而言,很多植被指数明显受到土壤背景的影响,利用模型仍然不能完全消除土壤噪声,且模型参数获取不易,地面验证数据量也有限。传统的单方向(一般是垂直方向)的遥感只能得到地面目标该方向的投影,缺乏足够的信息来推断或者监测目标的空间动态结构。而逐渐发展起来的多角度对地观测技术通过对地物固定目标多个方向的观测,能够获得大量立体结构信息,丰富目标的观测数据。近年来,多角度遥感逐渐应用到稀疏植被冠层信息研究中。黄文江等运用波长800 nm处小麦起身期的冠层反射光谱与该波长处拔节期和起身期冠层反射光谱的比值,并选取 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 和 $45^\circ$ 观测天顶角,与VIR和NIR处的二向反射冠层反射光谱变化结合,改善了反演作物LAI和叶绿素等生理生化参数的精度,同时利用冠层光谱来进行作物长势、营养状况和品质的监测精度<sup>[24]</sup>。冯晓明等提出一种适用于区域尺度的多角度多波段反射率模型,并采用多角度卫星MISR和MODIS数据进行验证,并证明较好的适用性。为多角度、多波段遥感数据用于半干旱草场植被的定量研究提出了可行的方法<sup>[25]</sup>。颜春燕等利用多项式表达与叶片模型PROSPECT的耦合,建立了冠层生化参量反演模型,其中多项式系数很好地反映了冠层光谱中的热点现象及观测角度、LAI和叶倾角的影响,利用实测的玉米冠层多角度光谱数据验证,获得了较为准确叶绿素含量反演结果<sup>[26]</sup>。

可见,对于稀疏植被(作物)而言,在原有研究方法的基础上,有机结合使用多角度遥感数据,有利于去除土壤背景的影响,准确地提取稀疏植被条件下的植被水分反演以及研究植被水分随时间变化动态。

## 3 讨论及结语

及时准确监测和诊断植被叶片和冠层含水量,可以准确反映植被受水分胁迫下的生理生态状况、快速识别干旱和及时采取灌溉措施。在植被叶片水平上,利用遥感光谱植被水分指数或者是在叶片层次建立含水量的模型是切实可行的。但是在冠层水平上,低覆盖植被更强烈地受到土壤背景因素的影响,仅简单将某种光谱水分指数与含水量建立相关关系来提取的冠层含水量,往往效果不甚理想。对于植被冠层水分信息的提取,多为关注如何确定对水分信息敏感的波段,如何对光谱反射率等进行形式变化以表现植被水分状况,或者是利用模型上推研究尺度,虽稍有考虑在提取水分信息时受到的土壤背景的影响,但均没有能够实现既完全有效去除土壤背景的影响,又能够以简单易算的表达方式来推广使用,尤其是针对低覆盖植被(草地或者是稀疏农田等)。所以要将先前的研究有机结合起来,一方面是植被冠层水分信息的准确提取,另一方面是去除土壤背景的影响,以二者的优势生成既能去除土壤背景影响又能有效准确提取植被冠层水分信息的方法,并且达到形式简单、计算方便且适用性强。

在研究植被水分反演模型时也发现利用模型仍然不能完

全消除土壤噪声,且模型数据获取不易,地面验证数据量也不够,还是有一定的局限性,所以数据类型的应用对结果有很大的影响,最初为多光谱数据,发展至使用高光谱数据,可以从众多窄波段中筛选出对植物生化成分光谱差异极明显的波段,也可以通过重组综合波段,更充分的利用植被的光谱信息,更便于去除土壤背景的影响,来实现提高精度的目的。逐渐发展应用多角度遥感数据,对地表的方向反射特性也做了更细致的刻画,具有对地物对象从多个方向上观测所

获取的几何特征,获得大量立体结构信息,丰富目标的观测数据,为植被定量遥感提供了更优的途径。

总之,对于稀疏植被水分提取,一是建立起来去除土壤背景影响的植被水分指数,确定对水分信息敏感的光谱波段,确定土壤影响因子等;另一个则是在耦合模型方面,配合更优算法,进行植被冠层水分信息的反演研究;再者是多角度遥感数据的应用,将之与前二者结合可以更发挥多角度的优势,获取更多植被立体几何信息,用于稀疏植被水分反演。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Carter G A . . Am. J. Botany, 1991: 78, 916.
- [ 2 ] Gao B C, Goetz A F H. Remote Sensing of Environment, 1995, 52: 155.
- [ 3 ] Penuelas J, Filella I, Serrano L. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17: 373.
- [ 4 ] Dawson T P, Curran P J, North P R J, et al. Remote Sensing of Environment, 1999, 67: 147.
- [ 5 ] Ceccato P, Flasse S, Tarantola S, et al. Remote Sensing of Environment, 2001, 77: 22.
- [ 6 ] Champagne C M, Staenz K, Bannari A, et al. Remote Sensing of Environment, 2003, 87: 148.
- [ 7 ] Hao Xianjun, John J Q. Remote Sensing of Environment, 2007, 108: 130.
- [ 8 ] TIAN Qing-jiu, GONG Peng, ZHAO Chun-jiang, et al (田庆久, 宫 鹏, 赵春江, 等). Chinese Sciences Bulletin(科学通报), 2000, 45 (20): 2645.
- [ 9 ] TIAN Yong-chao, CAO Wei-xing, JIANG Dong, et al(田永超, 曹卫星, 姜 东, 等). Chinese Journal of Plant Ecology(植物生态学报), 2005, 29(2): 318.
- [ 10 ] JI Hai-yan, WANG Peng-xin, YAN Tai-lai(吉海彦, 王鹏新, 严泰来). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(3): 514.
- [ 11 ] LIU Liang-yun, WANG Ji-hua, ZHANG Yong-jiang, et al(刘良云, 王纪华, 张永江, 等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2007, 11(3): 289.
- [ 12 ] Suits Gwynn H. Remote Sensing of Environment, 1972, 2(2): 117.
- [ 13 ] Verhoef W. Remote Sensing of Environment, 1984, 16(2): 125.
- [ 14 ] Kuusk A. Remote Sensing of Environment, 1995, 51(3): 342.
- [ 15 ] Jacquemoud S, Baret F. Remote Sensing of Environment, 1990, 34(2): 75.
- [ 16 ] JIANG Z, Huete Alfredo R, et al. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(9): 2506.
- [ 17 ] ZHANG Jia-hua, GUO Wen-juan, YAO Feng-mei(张佳华, 郭文娟, 姚凤梅). Journal of Basic Science and Engineering(应用基础与工程科学学报), 2007, 15(1): 45.
- [ 18 ] Ceccato P, Gobron N, Flasse S, et al. Theoretical Approach. Remote Sensing of Environment, 2002, 82: 188.
- [ 19 ] Purevdorj T, Tateishi R, Ishiyama T, et al. International Journal of Remote sensing, 1998, 19(18): 3519.
- [ 20 ] Leprieur C, Kerr Y H, Mastorchio S, et al. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(2): 281.
- [ 21 ] SHEN Yan, NIU Zheng, YAN Chun-yan, et al(沈 艳, 牛 铮, 颜春燕, 等). Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报), 2005, 16(7): 1218.
- [ 22 ] Ustin S L, Roberts D A, Pinzon J, et al. Remote Sensing of Environment, 1998, 65: 280.
- [ 23 ] GHULAM Abduwasit, LI Zhao-liang, QIN Qi-ming, et al(吾拉木·都瓦斯提, 李召良, 秦其明, 等). Science in China D(Earth Sciences)(中国科学D辑: 地球科学), 2007, 37(7): 957.
- [ 24 ] HUANG Wen-jiang, WANG Ji-hua, LIU Liang-yun, et al(黄文江, 王纪华, 刘良云, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2005, 21(6): 82.
- [ 25 ] FENG Xiao-ming, ZHAO Ying-shi(冯晓明, 赵英时). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2005, 9(4): 337.
- [ 26 ] YAN Chun-yan, LIU Qiang, NIU Zheng, et al(颜春燕, 刘 强, 牛 铮, 等). Science in China D(Earth Sciences)(中国科学D辑: 地球科学), 2005, 35(9): 881.

# Progress in Retrieving Vegetation Water Content under Different Vegetation Coverage Condition Based on Remote Sensing Spectral Information

ZHANG Jia-hua<sup>1</sup>, LI Li<sup>1</sup>, YAO Feng-mei<sup>2\*</sup>

1. Laboratory for Remote Sensing and Climate Information Sciences, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

2. College of Earth Sciences, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract** The present paper reviews the progress in the methods of retrieving vegetation water content using remote sensing spectral information, including vegetation spectral reflectance information (VIR, SWIR, and NIR) to directly extract vegetation water content and establish vegetation water indices (WI), i. e.  $NDWI = (R_{860} - R_{1240}) / (R_{860} + R_{1240})$  and  $PWI = R_{970} / R_{900}$ ; and using radiation transfer (RT) model such as PROSPAIL to detect plant water content information. The authors analyze the method of retrieving vegetation water content under low crop coverage condition. The plant water can be estimated by using canopy physiological parameters firstly, and using vegetation indices and radiation transfer model secondly, which can eliminate soil background effect. The estimated agricultural drought and vegetation water content by using multi-angle polarized reflectance and bi-directional reflectance (BRDF) was discussed in this paper. In the end, the possible development trend of retrieval methods for plant water information under plant low coverage conditions was discussed.

**Keywords** Spectral index; Vegetation water content; Water index; Low coverage condition; Adjusting soil vegetation index; Radiation transfer model

(Received Aug. 9, 2009; accepted Nov. 16, 2009)

\* Corresponding author