

文章编号:1001-9014(2011)02-0120-04

雄穗对玉米冠层热辐射方向性的影响分析

黄华国¹, 窦宝成¹, 胡妮²

(1. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 国家知识产权局专利审查协作中心, 北京 100190)

摘要:通过三维计算机模型 TRGM 模拟分析了抽穗期雄穗对玉米冠层热辐射方向性的影响, 并利用高架车平台和热像仪进行了地面遥感观测验证. 结果表明, 雄穗的存在对整体冠层的热辐射方向性特征影响较小, 在建模和反演过程中可以忽略.

关键词:雄穗; 热辐射方向性; 遥感

中图分类号:TP722.5 **文献标识码:**A

Tassel effect on the thermal emission directionality of corn canopies

HUANG Hua-Guo¹, DOU Bao-Cheng¹, HU Ni²

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing

Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Patent Examination Cooperation Center of State Intellectual Property Office, Beijing 100190, China)

Abstract: A realistic computer model was used to simulate the tassel effect on the thermal emission directionality of corn canopies, which was further validated by ground measurement. It is found that the tassel contributes little (mostly <6%) on the total directional brightness temperature. That means tassel can be omitted during modelling or inversion of the surface leaving thermal radiance.

Key words: tassel; thermal emission directionality; remote sensing

PACS: 44.40.+a

引言

提高陆地表面温度反演精度一直是定量遥感的热点和难点. 主要原因是陆地较为复杂, 遥感像元多为混合像元, 存在明显的热辐射方向性特征^[1]. 因此, 自上个世纪70年代末以来, 复杂地表的热红外辐射方向性建模和观测一直是热红外对地遥感的基础研究之一^[2-4]. 较为典型的是植被冠层的热辐射, 有着不可忽略的方向性特征^[3,4]. 但是尚未见到对抽穗时期的玉米的热辐射方向性的研究. 杜永明等曾经对小麦穗的影响进行了分析, 发现穗对方向性特征具有较大影响, 必须予以考虑^[4]. 抽穗前后, 玉米冠层的方向性特征是否有区别呢? 如果没有区别, 那就可以忽略穗的存在, 直接应用目前的土壤-叶片混合模型即可; 否则就应该予以修正.

通过三维计算机模拟和实地测量, 以分析穗对玉米热辐射方向性的影响.

1 方法和数据

热辐射方向性模型、含穗玉米的三维构建和实验验证是分析的三大关键. 下面我们就围绕这三个关键问题进行论述.

1.1 热辐射方向性模型

热辐射方向性通常采用方向发射率^[5]或者方向亮度温度来表示^[4]. 方向发射率模型存在较多争议, 因此选择方向亮度温度模型来表达热辐射方向性. 迄今为止, 存在两大类热辐射方向性模型: 几何投影模型和辐射传输模型. 两种方法也在互相借鉴, 共同发展.

收稿日期: 2010-06-30, 修回日期: 2010-09-29

Received date: 2010-06-30, revised date: 2010-09-29

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)课题(2007CB714402); 国家自然科学基金(40801135; 40730525); 中央高校基本科研业务费专项资金(BLYX200917)

作者简介: 黄华国(1978-), 男, 湖北荆门人, 博士, 副教授, 主要研究方向是热红外定量遥感、植被遥感和林业3S技术集成与应用, E-mail: hua-guo_huang@bjfu.edu.cn.

由于没有穗模型可供使用,只有三维模型才能在重构穗结构的基础上分析其影响.目前,只有基于光线追踪的 DART 模型^[6]和基于辐射度的 TRGM 模型^[7]可以考虑任意三维地表类型. DART 采用体元的方式,在大范围的地表,如森林等,这个条件容易满足;对于作物这种小尺度地表类型,不如 TRGM 模型采用面元更加精细和直观. 相比之下,TRGM 模型更为灵活,所以选择 TRGM 模型开展模拟分析.

1.2 抽穗玉米的三维构建

目前,关于玉米的三维重构研究较多^[8],玉米雄穗的建模研究较少^[9]. 玉米雄穗生长于茎秆顶端,由主轴、分枝、小穗和小花组成. 主轴较粗,与茎相连. 主轴中、下部有若干分枝,分枝数一般在 15~20 个,分枝较细. 参考前人研究成果^[9],忽略小穗和小花,将主轴和分枝都等效为圆柱体后构建含雄穗的三维玉米. 雌穗在冠层内部,和周围叶片温度差异较小,可等效为叶片看待.

1.3 实验数据及处理

野外实验在河北怀来中国科学院遥感科学综合试验场(40°20'56"N, 115° 47' 04"E)完成. 观测目标为一块 20m × 20m 的玉米地,行距 0.64m,株距 0.26m,见图 1(a)和 1(c). 测量日期为 2009 年 7 月 26 日. 当日,玉米已经抽穗,单株高度在 2.0~2.7m 之间,平均高 2.45m(图 1(c)),平均穗高度为 0.42m,小枝平均 18 个,多位于穗下部(0.4 倍穗长以下,见图 1(b)). 主茎直径在 2~3cm 之间,顶部茎直径在 0.6cm,穗主轴直径 0.5cm,穗分枝直径 0.3cm,各分枝平均角度 30°. 叶面积指数 2.5,绿叶 14~17 片,叶片最长可达 1.0m,最宽达 12cm,最上面的叶片基高 1.7~2.3m.

热辐射方向性的测量时间分别为上午 8 点和下午 14 点半. 测量采用高架车搭载 FLIR S60 热像仪(面阵 320 × 240,广角镜头视场角 80°,测温精度 0.08°C)在距离冠层上方 2.5m 高处(图 1(d)). 测量了两个平面,分别为太阳主平面和垂直太阳主平面,主光轴的天顶角从 -40°~40°,每隔 20°观测. 方向性观测场景参见图 1(d). 借鉴 Lagouarde 等的几何纠正方法^[10],从广角红外图像中提取了方向亮度温度. 组分亮度温度直接从热图像中提取,见表 1. 天空下行辐射等效亮温为 -20°C. 雄穗外观呈现黄色,说明红色分量和绿色分量接近,其差值小于 20. 该规则用于可见光图像分割,提取雄穗像素.

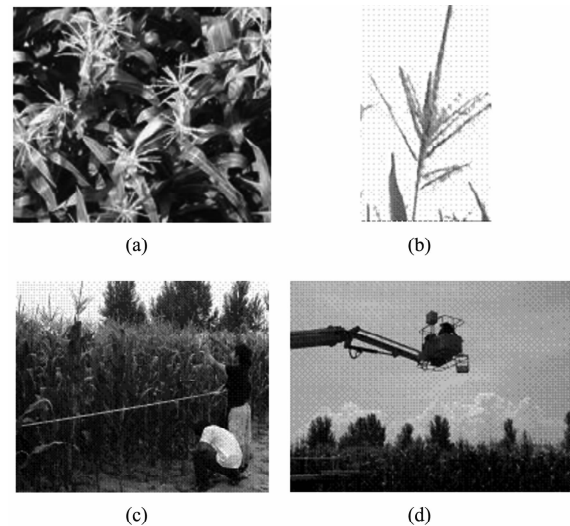


图 1 玉米地实验 (a)垂直下视照片 (b)玉米雄穗照片 (c)测量玉米高度 (d)高架车多角度观测

Fig. 1 Field observation on maize (a) nadir-view photo (b) tassel photo (c) canopy height measurement (d) overhead thermal camera

表 1 实测组分亮度温度

Table 1 Measured component brightness temperature

时间	组分亮度温度 (°C)	太阳		光照 阴影		光照 阴影		
		位置	土壤	土壤	穗	穗	叶片	叶片
July 25 17:10	(63°, 260°)		25.5	25.0	32.6	28.0	31.8	28.5
July 26 14:30	(34°, 241°)		29.5	28.5	35.3	32.7	33.9	31.2

1.4 模拟分析和参数设置

某一组分对冠层热辐射方向性的影响因素主要包括其可视面积比例和组分温度. 按照如下步骤可分析雄穗对玉米冠层热辐射方向性的影响. 首先,建立虚拟玉米场景,利用 TRGM 模型分析穗的可视面积比例,可从几何角度分析其贡献. 然后,基于实测组分温度,分别模拟有穗和无穗条件下的场景方向亮度温度,分析雄穗对总的热辐射方向性的贡献. 最后,改变穗的组分温度,从组分温度差异的角度分析穗的贡献.

TRGM 模型的主要输入参数包括:

(1) 抽穗玉米的虚拟三维场景,其中 LAI 为 2.5,其它结构参数同实测数据.

(2) 组分温度和发射率:根据光照条件,设置为实测亮度温度(见表 1);在实测穗温基础上,可调整光照穗和阴影穗的温度,进行模拟分析. 组分发射率均设为 1.0;

(3) 太阳位置:天顶角和方位角见表 1;

(4) 模拟波段:宽波段,8~14μm;

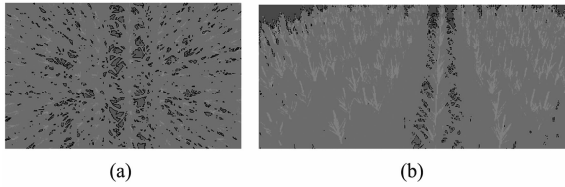


图2 虚拟玉米场景 (a)垂直下视效果 (b)顺垄方向的倾斜观测效果
Fig.2 Virtual maize (a)nadir-view (b)oblique-view

(5) 天空下行辐射:由于组分亮度温度已经包含了天空下行辐射的贡献,所以设为0.

2 结果

2.1 玉米虚拟场景

图2 给出了三维虚拟玉米群体场景,与实际照片相似度大,模拟冠层的叶面积指数为2.5.

2.2 雄穗的可视比例

根据几何光学原理,反射辐射或者热发射辐射的方向性特征均与组分的可视比例密切相关.通常,叶片和土壤是最主要的组分.雄穗的出现可能会影响冠层的方向性,可利用可视比例对其进行定量分析.图3(a)给出了 TRGM 模型计算的雄穗的可视比例.可以看出,雄穗可视比例小于9%,且当观测天顶角小于30°时,可视比例小于6%.

对实地可见光照片进行了图像分割(图3(b)和3(c)),结果表明,垂直观测和倾斜45°观测时穗像素比例分别为5.6%和7.0%,采用目视判断,分割精度可达90%以上.

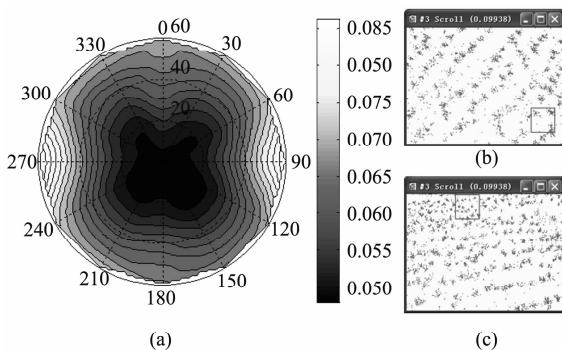


图3 玉米冠层中雄穗的可视比例 (a)可视比例随观测方位角(正北0°)和天顶角(极坐标的半径)变化的模拟结果 (b)垂直观测到的雄穗比例5.6% (c)倾斜45°观测到的雄穗比例7.0%

Fig.3 View fractions of the tassel in corn canopies (a) polar map of the view fraction variations with view azimuth (zero at North) and zenith angles (radius) from 0 to 60° (b) nadir fraction—5.6% (c) off-nadir (45°) fraction—7.0%

2.3 组分亮度温度差异

实测数据(见表1)表明,不论是否光照,穗和叶片组分的亮度温度差异一般在1~3℃左右.土壤多数被遮盖,阴影温度低于叶片温度.

2.4 雄穗对热辐射方向性的影响

图4和图5分别给出了与表1对应的两个时刻的热辐射方向性观测数据(MES)和模拟数据(SIM).模拟数据又分为含穗结果(SIM₁)与不含穗结果(SIM₀).穗对热辐射方向性的形状趋势无影响,和测量结果基本吻合.在量级上考虑穗和不考虑,两者的模拟结果偏差小于0.1℃.图4给出了在假设穗的亮度温度整体增加4℃,和叶片温度差异增大的情况下的模拟结果(SIM₂).结果表明,虽然亮度温度差异增大,但对热辐射方向性的形状基本无影响,温度量级增加约0.2℃.

3 讨论

模拟结果表明,雄穗对整体冠层的热辐射方向

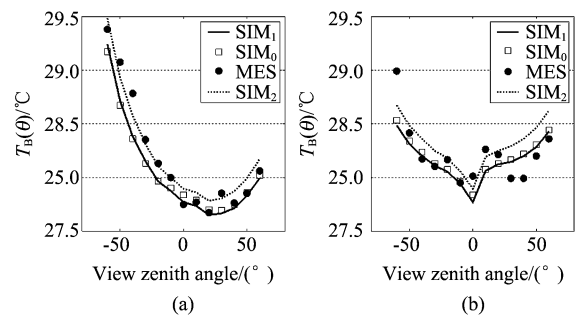


图4 模拟和实测热辐射方向性比较(7月25日下午5点)(a)太阳主平面 (b)垂直太阳主平面
Fig.4 Comparisons between simulated and measured thermal emission directionality at 17:00 on July 25, 2009 (a) solar principle plane (b) cross solar principle plane

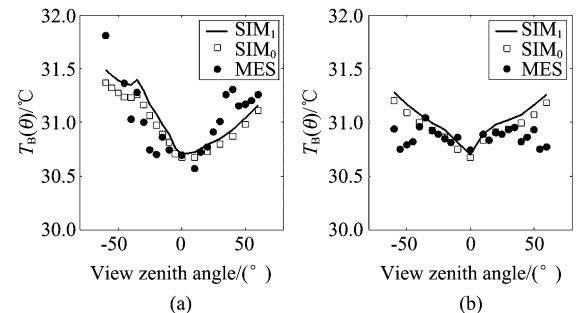


图5 模拟和实测热辐射方向性比较(7月26日下午2点30分)(a)太阳主平面 (b)垂直太阳主平面
Fig.5 Comparisons between simulated and measured thermal emission directionality at 14:30 on July 26, 2009 (a) solar principle plane (b) cross solar principle plane

性曲线形状影响很小,热辐射温度差异小于 0.2°C 。该结果和小麦冠层需要考虑穗的影响^[4]正好相反。小麦冠层高度一般在 $50\sim 80\text{cm}$ 左右,麦穗长度也可达 10cm 以上,所以穗的可视比例较大,其阴影也对叶片冠层造成较为显著的影响,所以穗不可忽略。为什么玉米雄穗影响很小呢?我们认为在抽穗阶段玉米冠层较为高大,穗虽然视觉上较为明显,但是实际可视比例很小,所以对热辐射方向性的贡献小。

热像仪的测量数据进一步检验了模型模拟结果的合理性。但是值得注意的是,用于检验的热辐射方向性测量数据并不平滑,部分角度周围抖动明显。这里面有两个主要原因:

一是测量的玉米冠层均匀性问题。实验采用固定观测点,转动热像仪进行热辐射方向性测量,当观测角度变化时,观测目标也发生了变化。观测玉米冠层的总面积为 400m^2 ,大部分均匀,但是在西南角处有一处 2m 见方的区域被自动气象站占据,温度差异较大;田块边缘处的玉米冠层的温度也略有不同。这些不均匀性都可能导致在部分角度出现偏差。

二是热像仪的阴影问题。热像仪 FLIR S60 装配在一个可以控制角度的盒子里,体积偏大,会产生较为明显的阴影。在图 5(a)中太阳主平面后向热点附近,就出现了典型的阴影效应。由于阴影处的冠层温度显著偏低 2°C ,所以热点附近的亮度温度偏低。

此外,观测两个平面需要大约 15min 的时间。期间,风速略有变化,对测量精度的影响大约在 0.3°C 左右。图 5(b)中当天顶角大于 40° 观测时,数据较为异常。一部分可以归因于上面的解释,另外也有广角镜头数据处理的问题。广角镜头 FOV 最大为 80° ,天顶角大于 40° 的像素偏少,而且多数为边缘像素,代表性不强。

模拟和测量结果均表明,垂直观测的热辐射通常最低。该现象源于土壤温度低于叶片温度的事实。而太阳观测方向附近存在较小的峰值,这是植被冠层典型的热点效应。但是由于热像仪阴影遮挡,测量的热点效应并不明显。

4 结论

基于实测的穗结构参数,构建了玉米雄穗的三维结构,并利用三维计算机模拟模型 TRGM,模拟分析了雄穗对玉米冠层热辐射方向性的影响,并通过高驾车平台进行抽穗期玉米冠层的热辐射方向性测量。目前在公开发表的文献中,尚未发现此项研究。研究发现,雄穗可视比例一般小于 6% ,对冠层整体

的热辐射方向性特征贡献通常小于 0.2°C 。尽管测量的热辐射方向性数据存在一定的抖动,但是在整体趋势及量级上和模拟结果是吻合的。因此,可以得出结论:在玉米抽穗阶段进行叶片土壤体系热辐射方向性建模时,可以考虑忽略雄穗的影响。

由于论文的重点在于探索雄穗的影响,所以玉米冠层本身的热辐射方向性特征并未过多解释。而陆地表层的热辐射方向性研究仍然是当前研究热点^[11]。在后续的研究中,将进一步探讨抽穗期玉米冠层的建模和反演问题。尽管仅针对热红外波段开展了研究,但是研究结果对可见光近红外波段的方向反射研究和微波辐射也具有一定参考价值。

REFERENCES

- [1] LIU Qiang, Study on component temperature inversion algorithm and the scale structure for remote sensing pixel[D] (刘强.地表组分温度反演方法及遥感像元的尺度结构.北京:中国科学院遥感应用研究所),2002.
- [2] Lagouarde JP, Kerr YH, Brunet Y. An experimental study of angular effects on surface temperature for various plant canopies and bare soils[J]. *Agric. For. Meteorol.*,1995, **77**(3-4):167—190.
- [3] Verhoef W, Jia L, Xiao Q, et al. Unified optical-thermal four-stream radiative transfer theory for homogeneous vegetation canopies[J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 2007, **45**(6):1808—1822.
- [4] DU Yong-Ming, A study of seasonal variation and models of directional thermal radiance over row-planted winter wheat canopy[D]. (杜永明.冬小麦冠层方向性热辐射的季相变化和模型研究.北京:中国科学院遥感应用研究所),2006.
- [5] Sobrino J A, Jimenez-Munoz J C, Verhoef W. Canopy directional emissivity: comparison between models[J]. *Remote Sensing of Environment*,2005, **99**(3):304—314.
- [6] Gastellu-Etchegorry J P, Martin E, Gascon F. DART: a 3D model for simulating satellite images and studying surface radiation budget[J]. *Int. J. Remote Sens.*,2004, **25**(1):73—96.
- [7] Liu Q H, Huang H G, Qin W, et al. An extended 3-D radiosity graphics combined model for studying thermal-emission directionality of crop canopy[J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*,2007, **45**(9):2900—2918.
- [8] Fournier C, Andrieu B. A 3D architectural and process-based model of maize development[J]. *Annals of Botany*, 1998, **81**(2):233—250.
- [9] XIAO Bo-Xiang, GUO Xin-Yu, WANG Dan-Hong, et al. Geometric modeling of maize tassel, *Journal of Maize Sciences*[J]. (肖伯祥,郭新宇,王丹虹,等.玉米雄穗几何造型研究.玉米科学),2006, **14**(4):162—164.
- [10] Lagouarde J-P, Ballans H, Moreau P, et al. Experimental study of brightness surface temperature angular variations of maritime pine (*Pinus pinaster*) stands[J]. *Remote Sensing of Environment*,2000, **72**(1):17—34.
- [11] Lagouarde J-P, H non A, Kurz B, et al. Modelling daytime thermal infrared directional anisotropy over Toulouse city centre[J]. *Remote Sensing of Environment*,2010, **114**(1):87—105.