

涡度相关系统不同平均周期对干旱区玉米水热通量的影响

李 佳, 陈 岩, 秦淑静, 李思恩*
(中国农业大学, 北京 100083)

摘 要:【目的】研究不同平均周期对涡度相关通量数据计算的影响,提高涡度相关数据质量和能量闭合率。【方法】采用 Loggernet 软件将 2015 年 7 月河西走廊地区制种玉米 10 Hz 涡度相关原始数据以 1、2、5、10、15、30、60、120、180、360、720 min 的不同平均周期进行分割,利用分割得到的数据计算了相应时段内的能量通量,并分析了不同平均周期对于不同灌溉方式下制种玉米能量通量计算的影响。同时,以 30 min 周期计算结果为标准,分析了不同平均周期对通量计算的影响。【结果】当平均周期小于 30 min 时,平均周期的改变只影响白天(07:00—20:00)的通量,平均周期越小,能量通量越小;当平均周期在 30~180 min 时,平均周期的改变对通量计算结果的影响因通量变化阶段的不同而不同,在通量上升阶段,平均周期的延长使通量减小,在通量下降阶段,平均周期延长使通量增加;当平均周期为 360 min 和 720 min 时,能量通量的计算结果误差明显,能量闭合率均不足 40%。试验中 15、60 min 平均周期计算所得的通量闭合率最高,且 15、60 min 周期计算所得通量日平均值与 30 min 计算结果的相对误差最小,均小于 1%。【结论】干旱区玉米水热通量计算的最适平均周期为 15~60 min。

关 键 词:涡度相关; 平均周期; 能量通量

中图分类号:S513

文献标志码:A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2017.0733

李佳,陈岩,秦淑静,等. 涡度相关系统不同平均周期对干旱区玉米水热通量的影响[J]. 灌溉排水学报, 37(9): 69-72.

0 引 言

近年来,涡度相关技术被公认为是研究陆地生态系统通量最好的方法之一^[1-3]。涡度相关技术建立在一系列假设的基础上,其通量数据受各种因素影响,如果使用前没有对数据进行校正和质量控制,将会产生很大的误差和不确定性^[4-5]。采样问题(平均周期和频率)就是产生不确定性和误差的原因之一^[6-7]。平均周期 T 的范围通常为 10~40 min,采样频率 f 的范围为 5~20 Hz^[1]。在确定计算平均周期时,由于平均值中包含长时间的非定长性或倾向,这种倾向会对通量的计算产生影响^[1]。较短的时间尺度上,不同平均周期得到的通量计算值与通量本身的变化趋势相关,当通量为增大趋势时,平均周期延长可增大通量绝对值,相反,当通量为减小趋势时,平均周期延长会减小通量的绝对值^[2];当平均周期长度增加时,高大的森林下垫面通量比矮小的作物下垫面的增加倾向更明显,而且当平均周期大于 120 min 时,通量的计算结果变得不稳定^[1];通量计算的平均周期既不能过长,也不能过短。通量计算的平均周期比通常所采用的时间(30 min)应略长,以避免丢失低频造成的影响^[8]。虽然已有研究得出了禹城小麦和长白山落叶林的最合适周期分别为 30 min 和 30~60 min^[1],但是由于通量观测的复杂性,不能由此推出西北地区玉米田通量观测的最适合的平均周期。为此,兹主要研究不同的平均周期对制种玉米的能量通量的影响,分析和确定不同灌溉方式下制种玉米最适合的平均周期,以提高涡度相关观测数据的质量。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验在武威市凉州区中国农业大学石羊河实验站覆膜畦灌制种玉米地(试验点 I)和武威市黄羊河集团第四农场的膜下滴灌制种玉米地(试验点 II)进行。武威地处石羊河中上游,北纬 37°49',东经 102°52',海拔

收稿日期:2017-11-28

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(201501016);国家自然科学基金优秀青年科学基金项目(51622907)

作者简介:李佳(1991-),女。硕士研究生,主要从事农田水热通量研究。E-mail: 905762635@qq.com

通信作者:李思恩(1982-),男。副教授,主要从事农业水碳氮循环研究。E-mail: lisien@163.com

1 585 m。石羊河流域武威属区多年平均水资源量为11.27亿 m^3 。凉州为平原区,分布灰漠土,边缘有沙化灰漠土,绝大多数的面积为农田,主要粮食作物为玉米。该地区属于典型的内陆干旱荒漠气候,日照充足,夏季酷热,冬季严寒,昼夜温差大,降水少,蒸发强烈。全年日照时间达3 028 h以上,无霜期150 d以上,年平均气温 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$,大于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温为 $3\,550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,多年平均风速为 1.3 m/s 。地下水埋深达25 m,多年平均降雨量为 164.4 mm ,多年平均水面蒸发量为 $2\,000\text{ mm}$ 左右。土壤质地为沙质壤土。试验点 I 和试验点 II 均为长势良好的制种玉米田,地势平坦,四周开阔满足涡度相关系统对风浪区的要求,干体质量分别为 1.43 g/cm^3 和 1.47 g/cm^3 ,田间持水率分别为 $0.29\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 和 $0.30\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。

试验点 I 采用的涡度相关系统(Campbell Scientific Inc, USA)主要由数据采集器(CR3000)、温湿度传感器(HMP155A)、EC150、净辐射计(CNR4)、三维超声风速仪(CSAT3)、土壤热通量板(HFP01)等组成。主要计算潜热和感热瞬时值,CR5000 数据采集器记录原始数据和30min 的潜热感热平均值,并储存在仪器内的储存卡中。由于研究区域以西北风为主,将涡度相关系统布置在制种玉米地中部偏南处,以获取足够大的风浪区。试验地玉米全生育期灌水4次,每次灌水96 mm。

试验点 II 采用的涡度相关系统(Campbell Scientific Inc, USA)主要由数据采集器(CR1000)、EC150、温湿度传感器(HMP155A)、净辐射传感器(CNR4)、三维超声风速仪(CSAT3)等组成。CR1000 数据采集器记录原始数据和30 min 潜热、感热平均值,并储存在仪器内的储存卡中。因研究区以西北风为主,将涡度相关系统布置在制种玉米地中部偏南处。试验地玉米全生育期灌水7次,每次灌水60 mm。

1.2 数据处理

选取2015年7月某一晴天条件下覆膜畦灌和膜下滴灌2种灌溉方式的制种玉米的流量数据进行处理。为了检验不同平均周期对流量影响,利用涡度相关法观测的10 Hz 原始数据,采用Loggernet 软件将平均周期分为1、2、5、10、15、30、60、120、180、360、720 min。以30 min 作为标准,分析平均周期对流量的影响。

2 结果与分析

2.1 不同平均周期对流量日变化的影响

为了直观显示不同平均周期对潜热通量与感热通量之和(有效能)的影响,将不同灌溉方式下不同平均周期对应的能量通量变化过程绘于图1。

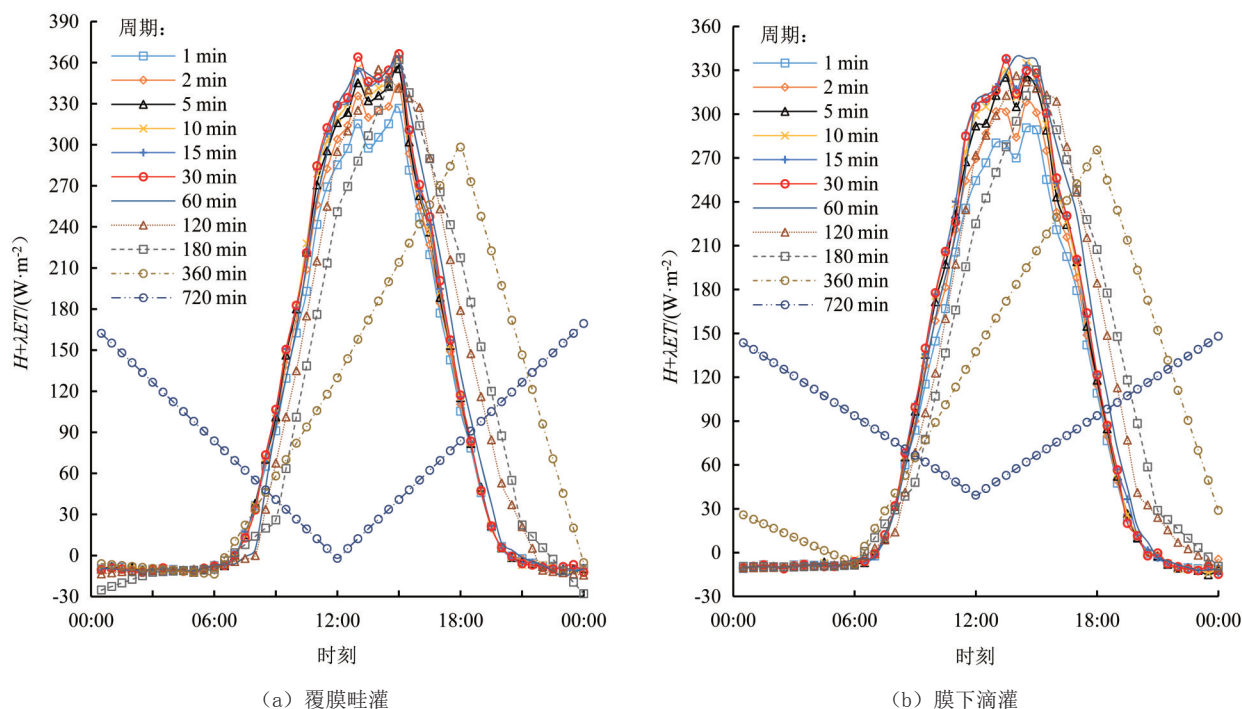


图1 潜热感热日变化过程

从图1可以看出,30 min 以下平均周期的改变只影响白天(07:00—20:00)的能量通量计算结果,而且当平均周期在30 min 以下时,潜热通量和感热通量之和(有效能)随平均周期的增加而变大,且越靠近12:00,

能量通量增加越明显;当平均周期大于 30 min 时,平均周期的改变对能量通量计算影响的时间范围扩大(06:00—00:00),由不同周期计算所得的感热与潜热的通量之和(有效能)表现出较明显的差异,当通量为增大趋势时,同一时刻较大的平均周期对应较小的能量通量值,当通量为下降趋势时,同一时刻较大的平均周期对应较大的能量通量值。但是当平均周期为 360 min 时,通量的大致变化趋势和较小周期保持一致,即先增大后减小,但峰值出现的时间明显滞后,而且通量的变化趋势线由曲线变为了折线,已经无法观察到通量的细微变化;当平均周期为 720 min 时,通量的变化趋势变得混乱,趋势线变成先减小后增大,已经表现出明显的误差。

覆膜畦灌和膜下滴灌 2 种灌溉方式下能量通量变化规律是一致的,而且 2 种灌溉方式下平均周期的改变对于能量通量计算的影响并无差别。当平均周期在 30 min 以下时,只有当平均周期小到 1、2 min 时,才可以看出能量通量值之间明显的差别,当平均周期在 5~30 min 之间时,不同周期计算所得有效能之间虽有差别,但是差异微小。

2.2 不同平均周期对能量闭合率的影响

能量闭合率是评价涡度相关数据质量最重要的指标之一,许多研究将能量闭合率作为评价数据质量的标准方法^[9],即潜热通量(LE)和感热通量(H)之和($LE+H$)与可利用能量($Rn-G$)的比值,其中 LE 、 H 由涡度相关系统直接测得,净辐射 Rn 和土壤热通量 G 分别由 CNR4 净辐传感器和土壤热通量板直接测得。不同平均周期 T 通量的能量闭合率(ECR)如表 1 所示,平均值为不同平均周期计算所得的($LE+H$)在 1 日内的均值, RE 表示其他平均周期计算所得通量日平均值与 30 min 周期计算所得通量日平均值的相对误差。

表 1 不同平均周期对能量闭合率的影响

站点	试验点 I												试验点 II											
T/min	1	2	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1	2	5	10	15	30	60	120	180	360	720		
$ECR/\%$	52.73	56.24	59.40	60.73	61.51	61.35	61.52	59.75	55.27	39.96	12.99	53.14	56.00	58.09	59.12	59.61	60.82	60.76	59.75	56.67	39.01	3.11		
平均值	84.77	90.7	95.76	98.02	99.52	98.98	102.0	103.2	101.4	108.4	93.67	93.66	98.75	102.5	104.3	105.0	106.0	105.8	107.3	103.5	102.2	83.65		
$RE/\%$	-14.3	-8.37	-3.26	-0.97	0.55	0.00	3.10	4.28	2.48	9.60	-5.37	-11.6	-6.87	-3.31	-1.62	-0.94	0.00	-0.17	1.20	-2.33	-3.55	-21.12		

从表 1 可以看出,试验点 I,10~60 min 周期的能量闭合率为 60% 以上,10、15 min 周期计算所得通量日平均值与 30 min 周期的相对误差小于 1%,长周期如 360 min 与 720 min 的能量闭合率低于 40%,明显低于平均水平。试验点 II,30~60 min 的能量闭合率为 60% 以上,其他平均周期的能量闭合率均为 60% 以下,15、60 min 周期计算所得通量日平均值与 30 min 周期的相对误差均小于 1%,但 60 min 周期计算所得通量日平均值的相对误差更小,只有 0.17%。长周期数据则较为混乱,与 30 min 周期的相差较大。试验点 I,7 月平均冠层高度为 152 cm,最适平均周期为 15~30 min;试验点 II,7 月平均冠层高度为 182 cm,最适平均周期为 30~60 min;2 个试验点的最适平均周期与平均冠层高度存在一定的相关性,在一定的范围内,下垫面高度越高,适合的平均周期也会越长。

3 讨论

平均周期的选择会对能量通量计算结果产生不同程度的影响。当平均周期小于 30 min 时,潜热感热之和会随着平均周期的延长而增大,但不同周期下的通量变化趋势是完全一致的,峰值出现的时刻也相同;可见,在较短的时间尺度上,平均周期只对通量值的大小产生影响,并且只对白天通量值的大小有影响;当平均周期在 30~180 min 之间变化时,不同平均周期计算得到的通量与通量本身的变化趋势有关,当通量为上升趋势时,通量随平均周期的延长而减小;当通量为下降趋势时,通量随平均周期的延长而增大。但是也有研究^[2]发现,在荒漠河岸林地,在较短的时间尺度上,当通量为增大趋势时,平均时间延长可增大通量绝对值,相反,当通量为减小趋势时,平均时间延长会减小通量绝对值,这与文中研究结果刚好相反,原因可能是下垫面的条件不同导致不同平均周期对能量通量值计算的影响不同。

虽然 2 种灌溉方式下能量通量在不同平均周期的影响下变化规律是一致的,但是通过对能量闭合率的研究发现,覆膜畦灌条件下(试验点 I)计算能量通量的适合平均周期为 15~30 min,而膜下滴灌条件下(试验点 II)计算通量的适合平均周期为 30~60 min。这可能是因为:虽然都是制种玉米,但是不同灌溉方式使 2 个试验地的玉米长势不同,2015 年 7 月试验点 I 的冠层高度为 152 cm,但试验点 II 的冠层高度达到 182 cm。因此冠层高度也会影响平均周期的选取。这与已有研究结果“禹城小麦平均周期取 30 min 是合

适的,长白山阔叶红松林平均周期选取 30~60 min 是合适的”^[1]和“森林观测数据的平均周期应该比通常采用的(30 min)长一些”^[8]的结论相似。

4 结 论

1)小于 30 min 的平均周期对能量通量的计算影响较小,大于 30 min 的平均周期对于通量计算的影响因通量变化趋势的不同而不同,当平均周期达到 180 min 时,通量计算出现明显误差。

2)平均周期的选取与下垫面的高度有关,即使是同一种作物,下垫面的高度可能会因为灌溉方式的不同而有所差异,因此在选取平均周期时应考虑灌溉方式。试验点 I,7 月平均冠层高度为 152 cm,最适平均周期为 15~30 min;试验点 II,7 月平均冠层高度为 182 cm,最适平均周期为 30~60 min。

参考文献:

- [1] 孙晓敏,朱治林,许金萍,等. 涡度相关测定中平均周期参数的确定及其影响分析[J]. 中国科学: D 辑, 2004, 34(A02): 30-36.
- [2] 张佩,袁国富,朱治林. 荒漠河岸林涡度相关通量测定中平均时间的确定及其对通量计算的影响[J]. 干旱区地理, 2013, 36(3):400-408.
- [3] 李思恩,康绍忠,朱治林,等. 应用涡度相关技术监测地表蒸发蒸腾量的研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 41(9): 2 720-2 726.
- [4] 彭记永,张晓娟. 麦田通量数据质量控制及能量闭合性分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(4): 68-72.
- [5] 王介民,王维真,刘绍民,等. 近地层能量平衡闭合问题:综述及个例分析[J]. 地球科学进展, 2009, 24(7): 705-714.
- [6] MOORE C J. Frequency response corrections for eddy correlation systems[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1986, 37(1/2): 17-35.
- [7] BOSVELD F C, BELJAARS A C M. The impact of sampling rate on eddy-covariance flux estimates[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 109(1): 39-45.
- [8] FINNIGAN J J. A re-evaluation of long-term flux measurement techniques part II: coordinate systems[J]. Boundary-Layer Meteorology, 2004, 113(1): 1-41.
- [9] 王春林,周国逸,王旭,等. 复杂地形条件下涡度相关法通量测定修正方法分析[J]. 中国农业气象, 2007, 28(3):233~240.

Effects of Different Average Periods in Eddy Covariance on Calculation of Heat and Water Fluxes in Maize Field in Arid Region

LI Jia, CHEN Yan, QIN Shujing, LI Sien*

(China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: 【Objective】 The accuracy of the eddy covariance is affected by various factors and the objective of this paper is to study of the impact of average period on water and heat fluxes in a maize field in arid region. **【Method】** The Loggernet software was used to analyze the 10 Hz eddy covariance data measured from a seedling corn field at Hexi Corridor of Gansu Province in July 2015 with the average period set at 1, 2, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 360 and 720 min. The data obtained from the segmentation were used to calculate the energy flux in the corresponding period, and we then analyzed the effects of different average periods on the calculated energy flux from the field under different irrigation methods. **【Result】** When the average period was less than 30 min, the change in average period only affected the value of daily flux data. The smaller the average period was, the smaller the energy flux was. When the average period was within 30~180 min, the change in the average cycle had a great impact on the calculated fluxes. During the rising period of the fluxes, the energy flux decreased as the average period increased. With flux declining, increasing the average period led to an increase in the fluxes. When the average period was 360 min and 720 min, there was noticeable error in the calculated energy flux. **【Conclusion】** Average period in 15~60 min appeared to be most appropriate for calculating water and heat fluxes from the corn field in the arid region.

Key words: eddy covariance; average period; energy flux

责任编辑:刘春成