华北地区冬小麦田辐射过程与热量过程的基本特征*

陆佩玲
(北京林业大学森林资源与环境学院 北京 100083)
于 强 罗 毅
(中国科学院地理研究所禹城试验站 北京 100101)

摘 要 观测了冬小麦全生育期田间小气候,分析了冬小麦田辐射过程和热量过程的特征。结果表明,1d中反射率中午低而早晚高,呈"U"字形,反射率中午最低值为0.12～0.17左右。晴天辐射平衡占太阳总辐射的60%～70%。充分灌溉的麦田中午潜热通量占辐射平衡的60%～75%。
关键词 辐射平衡 热量平衡 冬小麦 华北平原

Characteristics of radiation and heat processes over wheat field in North China Plain. Lu Peiling (College of Forest Resources and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083), Yu Qiang, Luo Yi (Yucheng Comprehensive Experimental Station, Institute of Geography, CAS, Beijing 100101), *EAR*, 2000, 8(1): 10～13

Abstract The microclimate over wheat field during total growth period was observed in 1998. The characteristics of radiation and heat processes over wheat field were analyzed. It is showed that the albedo of wheat canopy is low in midday and high in the morning and at night. The albedo range was from 0.12 to 0.17 in daytime. The radiation balance in clear days is 60%～70% of solar radiation. The latent heat flux is 60%～75% of radiation balance in daytime for well irrigated wheat field in North China Plain.
Key words Radiation balance, Heat balance, Winter wheat, North China Plain

农田能量收支、转换及水热通量是作物生态系统物质能量交换的重要方面。农田的辐射和热量过程是由大气、土壤的物理状况和作物生理过程共同作用的结果,在农业水分管理、陆面过程(Land surface processes)、作物与大气相互作用研究中有重要意义。20世纪90年代以来随着电子技术的应用,农田小气候的观测已由短期的人工观测发展为使用连续的自动采集系统,这为全面考虑物质能量特征提供了条件。冬小麦田辐射平衡和热量收支方面的研究已有不少报道,但观测项目较全面且有全年连续观测资料尚少见。本文使用华北地区农业生态试验站冬小麦全生育期的观测资料,分析了冬小麦田不同生育期能量平衡各分量的特征。

1 观测与计算方法

观测于1998年3～6月在中国科学院禹城农业生态试验站的冬小麦田进行。从冬小麦返

* "九五"国家自然科学基金重大项目(49890330)资助
收稿日期:1999-08-16 改回日期:1999-10-06

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

青～成熟期农田小气候的各种要素由自动观测系统同时测定，观测项目有作物冠层上方 1m、2m、3m、4m 高处温度、湿度、风测定；0cm、5cm、10cm、15cm、20cm、40cm、60cm 土层土壤温度测定；土壤热通量、太阳总辐射、反射辐射、净辐射和光合有效辐射测定等。采用长春气象仪器厂研制的 MAOS 小气候自动观测系统观测，每 h 采集 1 组数据（每次整点前后 5min 采集并取平均值）。

计算方法。热量平衡各分量用波文比-能量平衡法计算：

$$\beta=\frac{H}{\lambda E} \tag{1}$$

$$\beta=\frac{C_P\times P}{\varepsilon\times\lambda}\times\frac{\Delta T}{\Delta e} \tag{2}$$

$$R_n=\lambda E+H+G \tag{3}$$

$$\lambda E=\frac{R_n-G}{1+\beta} \tag{4}$$

式中，R_n 为下垫面上的净辐射，G 为土壤热通量，β 为波文比，λE 为潜热通量，H 为显热通量，λ 为汽化潜热，ε 为水汽分子对空气分子的质量比，C_P 为空气定压比热，P 为大气压强，ΔT 和 Δe 分别为作物冠层上方 1m 高处与 4m 高处的气温差和水汽压差。

2　结果与分析

2.1　冬小麦田辐射平衡的基本特征

选择了分别属于冬小麦各个发育阶段晴朗少云的典型天气，分析了它们的辐射平衡特征，也分析了整个观测期间晴朗少云天气的全部观测资料，得到了晴天辐射平衡的平均日变化特征。辐射平衡方程为：

$$R_n=(1-r)Q-L_n \tag{5}$$

晴天麦田反射率的日变化。作物冠层反射率取决于太阳位置、冠层结构和叶片的辐射特性。当太阳高度角较大时，群体的消光系数较小，太阳辐射易达冠层下部，冠层反射率较小。冬小麦田晴天反射率的日变化见图 1，反射率日变化特点是中午低而早晚高，与太阳高度角的变化较一致，反射率随生育期的变化特点与叶面积指数和叶片的光学特性变化有关，当叶面积指数较大时，冠层下部可进一步吸收太阳辐射而反射较少，因而反射率较低。冬小麦返青后期（3 月 29 日）反射率约为 0.15～0.28，返青～拔节期（4 月 2 日和 9 日）为0.17～0.4，拔节～孕穗期（4 月 14 日和 19 日）为 0.19～0.4，这期间叶面积指数大致在 0.5～2.0 间，反射率变化不大。进入旺盛生长期叶面积指数变化很大，孕穗～开花期（5 月 4 日）为 0.15～0.24，开花～灌浆期（5 月 17 日和 22 日）为 0.12～0.32，达最低值。至灌浆～成熟期（5 月 28 日和 30 日）为 0.14～0.26，反射率有所提高，与叶片颜色变浅有关。小麦收获后裸地反射率较高，为0.18～0.28（6 月 6 日和 10 日）。反射率随冬小麦生育期

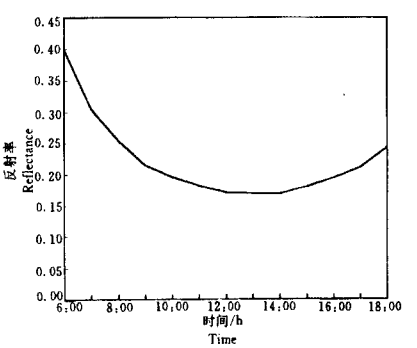

图 1　冬小麦田晴天反射率的日变化（1998-04-02）

Fig. 1　Diurnal changes of albedo over winter wheat canopy in clear days (on April 2, 1998)

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.

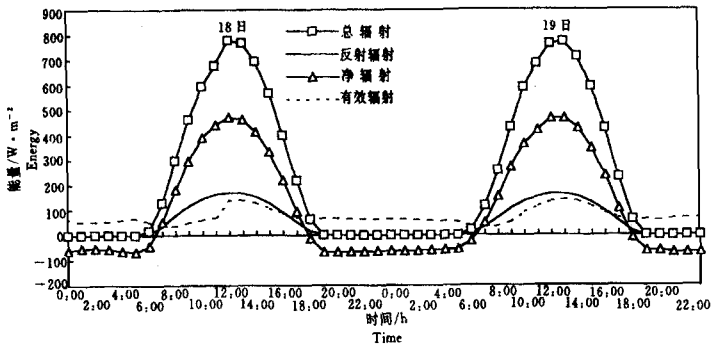

图2 冬小麦田晴天辐射平衡各分量的日变化(1998-04-18～19)

Fig. 2 Diurnal changes of solar radiation(Q), reflected radiation(R) and net radiation(R_n) in clear days(on April 18-19, 1998)

的变化中太阳位置和叶面积指数均同时起作用。

晴天辐射平衡的日变化。冬小麦拔节～孕穗期晴天少云天气下辐射平衡各分量的日变化曲线见图2，冬小麦全生育期中麦田的太阳总辐射(E_g)最高值在正午12:00左右。麦田的净辐射(R_n)最高值出现于中午前后左右，日出后和日落前1h左右，反射辐射R值通过0点，夜间R_n值稳定，均为负值，变化不大，最小值约为$-90W/m^2$；麦田的反射辐射(E_r)最高值在正午左右，最小值为$0W/m^2$，出现在早晨6:00和傍晚18:00。麦田的有效辐射(L_n)最高值在正午。

冬小麦返青后期麦田的太阳总辐射最高值大约为680～790W/m²。反射辐射最高值为130～150W/m²左右。有效辐射从白天到晚上在50～150W/m²间变动。麦田的净辐射通量密度最高值大约为420～480W/m²，约占总辐射的61%左右。冬小麦返青～拔节期麦田的太阳总辐射最高值大约为790～870W/m²；反射辐射最高值为140～170W/m²。有效辐射从白天到晚上在10～190W/m²间变动。麦田的净辐射通量密度大约为450～500W/m²，占总辐射的57%左右。由图2可知，麦田的太阳总辐射最高值大约为760～850W/m²，反射辐射最高值为140～180W/m²，有效辐射从白天到晚上在30～140W/m²间变动，麦田的净辐射通量密度大约为440～550W/m²，约占总辐射的58%～65%。冬小麦孕穗～开花期麦田的太阳总辐射最高值大约为870～940W/m²，反射辐射最高值为30～130W/m²，有效辐射从白天到晚上在0～200W/m²间变动，麦田的净辐射通量密度大约为580～660W/m²，约占总辐射的67%～70%。冬小麦开花～灌浆期麦田的太阳总辐射最高值大约为930～980W/m²，反射辐射最高值为100W/m²左右，有效辐射从白天到晚上在20～200W/m²间变动，麦田的净辐射通量密度大约为660W/m²，约占总辐射的67%～71%。冬小麦灌浆～成熟期麦田的太阳总辐射最高值大约为800～970W/m²，反射辐射最高值为90～100W/m²，有效辐射从白天到晚上在20～180W/m²间变动，麦田的净辐射通量大约为600～690W/m²，约占总辐射的71%～75%。冬小麦收获后的裸地太阳总辐射最高值大约为700～950W/m²，反射辐射最高值为130～190W/m²，有效辐射从白天到晚上在30～200W/m²间变动，麦田的净辐射通量大约为430～570W/m²，约占总辐射的60%左右。冬小麦全生育期中太阳总辐射自返青后逐渐增加，随生育期中叶面积指数的增加、太阳高度角的增大、反射率的降低，辐射平衡占总辐射的比例增大。

2.2 冬小麦田热量平衡各分量的基本特征

冬小麦活动层热量收支主要是净辐射，一部分储存于土壤，一部分通过湍流交换输送给大气，一部分消耗于农田蒸散，用于光合储存热量所占比例小。图3是返青～拔节期冬小麦田晴天热量平衡各分量的日变化。3月27日和28日冬小麦处于返青后期，4月2日和8日冬小麦

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

处于早期生长阶段，叶面积较小，棵间蒸发对潜热通量贡献大，植物蒸腾相对较小，潜热通量最大值为 200～340W/m^2，显热通量最大值为 90～130W/m^2，土壤热通量为 50～80W/m^2，潜热通量约占辐射平衡的 60%～75%。4 月 13 日和 14 日小麦处于拔节到孕穗期，5 月 4 日和 8 日小麦处于孕穗到开花期，5 月 12 日和 20 日小麦处于开花到灌浆期，叶面积增大，棵间蒸发对潜热通量贡献很小，植物蒸腾相对较大，潜热通量最大值为 430～500W/m^2，显热通量值大于土壤热通量值，最大值为 20～140W/m^2，而土壤热通量最大值仅为 20W/m^2，潜热通量约占辐射平衡的 66%～90%。5 月 25 日和 26 日小麦处于灌浆到成熟期，叶面积最大，麦田所得净辐射几乎全部用于植物蒸腾，潜热通量最大值达到 630W/m^2 左右，显热通量均为负值，最小值达－40W/m^2，土壤热通量大于显热通量，均为正值，最大值为 40W/m^2。6 月 6 日和 10 日为小麦收获后的裸地，潜热通量最大值降至 380W/m^2 左右。土壤热通量大于显热通量，均为正值并有所增加，最大值达 110～200W/m^2。

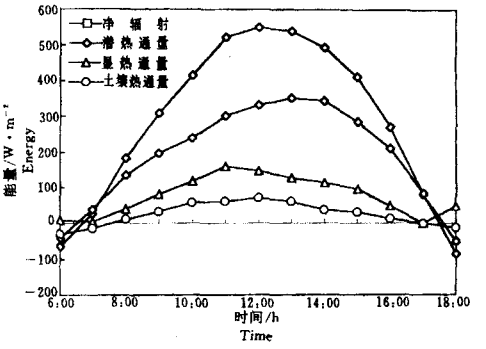

图 3　返青～拔节期冬小麦田晴天热量平衡各分量的日变化(1998-04-02)

Fig. 3　Diurnal changes of flux densities of net radiation (R_n), sensible and latent heat over wheat field in clear days (on April 2, 1998)

参 考 文 献

1　程维新等. 农田蒸发与作物耗水量研究. 北京：气象出版社，1994

2　唐登银. 程维新等. 我国蒸发研究的概况与展望. 地理研究，1984，3(3)：86～96

3　谢贤群. 中国农田蒸发研究概况与进展. 中国科学院禹城综合试验站年报(1988～1990). 北京：气象出版社，1991

4　左大康等. 国外蒸发研究的进展. 地理研究，1988，7(1)：120～132

5　程维新等. 华北平原冬小麦耗水量初步蒸发研究. 农田蒸发研究. 北京：气象出版社，1991

6　谢贤群. 朱治林. 波文比-能量平衡法计算农田蒸发量的精度检验. 农田蒸发研究. 北京：气象出版社，1991

7　谢贤群. 农田蒸发耗水量试验研究. 作物与水分关系研究. 北京：中国科学技术出版社，1992

8　谢贤群. 农田蒸发-测量与计算. 北京：气象出版社，1991

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd.　All rights reserved.