

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铤, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苳麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡

严菊芳¹, 张嵩午^{1,*}, 刘党校²

(1. 西北农林科技大学理学院低温植物研究室, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学生命科学院, 杨凌 712100)

摘要:冷型小麦具有代谢功能较好、活力较旺盛、抗旱能力较强的特征,因而,培育出越来越多的冷型小麦并将其推向生产对于小麦的高产、稳产十分重要。在干旱频繁出现的今天,小麦生产受到了极大的影响,因而研究干旱胁迫下冷型小麦的农田热量平衡,对明了冷型小麦农田小气候的形成机理,改善农田小气候环境具有重要意义。通过对相关气象要素和小麦生态指标的测定,研究了干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡,揭示了冷型小麦对干旱胁迫的适应机制。结果表明:①冷型小麦农田净辐射较暖型小麦偏低 16.35—47.57 W/m²,但经统计检验,两者差异未达显著水平。②活动层内 0.2 m—2/3 株高和 2/3 株高—冠顶冷型小麦的潜热通量较暖型小麦分别偏高 29.09—48.61 W/m² 和 47.41—134.89 W/m²,湍流热通量分别偏低 12.48—62.57 W/m² 和 29.37—85.81 W/m²;活动层与大气之间的潜热通量,冷型小麦较暖型小麦偏高 50.30—124.20 W/m²,湍流热通量偏低 30.50—102.40 W/m²。③冷型小麦的土壤热通量比暖型小麦偏低 24.60—65.19 W/m²。④冷型小麦加热植株体的热量 $Q_A + Q_T$ 较暖型小麦偏低 43.70 W/m²。在干旱胁迫条件下,冷型小麦田的能量分配创造出了冷湿的小气候环境,有利于小麦的生长发育和产量的提高。

关键词:冷型小麦;干旱胁迫;热量平衡

Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition

YAN Jufang¹, ZHANG Songwu^{1,*}, LIU Dangxiao²

1 Scientific Academy, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China

2 College of Life Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China

Abstract: Through studies on the canopy temperature and some other traits of wheat for more than 20 years, it was verified the presence of cold type wheat, which could maintain lower canopy temperature continuously and stably during its grain-filling stage, was discovered with the characteristics of better metabolism and vigor, and stronger tolerance to early senescence, especially for its strong adaptability to stress conditions, which posed an important role of cold type wheat in improving and stabilizing wheat production. With the advent of frequent drought stress, wheat production was affected greatly; therefore, investigating the heat balance in cold type wheat field under drought condition would benefit the understanding and improvement of formation mechanism of cold type wheat field environment and promote its application in wheat production. The experiments were conducted under rainout shelters for three continuous growth seasons to investigate the differences in canopy temperature, air temperature, air humidity, wind speed, net radiation flux density, latent heat flux, turbulent heat flux, soil heat flux and energy heating leaf blade and stem between cold and warm type wheat materials to investigate the heat balance in cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress and to reveal the adaptation mechanism of cold type wheat to drought stress. The results showed that, ①The net radiation flux density of cold type wheat is 16.35—47.57 W/m² lower than that of warm type one, but the difference was not significant. ②The latent heat flux measured at 0.2 m above ground to 2/3 plant height and 2/3 plant height to the canopy in rows of cold type wheat was 29.09—48.61 W/m² and 47.41—134.89 W/m² higher than that of warm type wheat, respectively; but the turbulent heat

基金项目:国家自然科学基金(30470333)

收稿日期:2010-01-22; 修订日期:2010-07-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Cold wheat@hotmail.com

flux of cold type wheat was $12.48 - 62.57 \text{ W/m}^2$ and $29.37 - 85.81 \text{ W/m}^2$ lower than that of warm type wheat, respectively. The latent heat flux between the active layer and atmosphere of cold type wheat was $50.30 - 124.20 \text{ W/m}^2$ higher than that of warm type wheat, but the turbulent heat flux poured into the atmosphere of cold type wheat was $30.50 - 102.40 \text{ W/m}^2$ less than that of warm type wheat. ③The soil heat flux of cold type wheat was $24.60 - 65.19 \text{ W/m}^2$ lower than that of warm type wheat. ④The energy heating leaf blade and stem of cold type wheat was 43.70 W/m^2 lower than that of warm type wheat. Under drought condition, heat distribution in cold type wheat field created cold and humid micro-climate environment through net radiation increased to latent heat and reduced to soil heat and energy heating leaf blade and stem, which benefited the growth and yield improvement of wheat under drought condition and improved its adaptability in stress conditions, especially for those grown in arid and semi-arid areas.

Key Words: cold type wheat; drought stress; heat balance

冷型小麦是一种灌浆结实期间冠层温度持续偏低的小麦^[1-3],自20世纪90年代提出这一概念后,人们对它的生物学特征进行了大量研究,尤其是在干旱成为威胁小麦生产最为严重的灾害性天气之一的形势下,冷型小麦对干旱的适应性如何变成了大家非常关心的重要农业问题。前人研究表明^[1-9],冷型小麦不但在正常天气下生长发育良好,具有明显的生物学优势,且在干旱胁迫下也显示了较强的适应能力,如2000年干旱棚内,冷型小麦“陕229”的籽粒饱满指数为67.1%，“小偃6号”为61.8%，而暖型小麦“9430”仅为56.1%；其超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶等保护性酶活性高、降幅小；丙二醛含量低且增长缓慢。但是,以前的研究多属于干旱条件下冷型小麦的生物学性状,而对其环境状况阐述的甚少,尤其干旱麦田的能量分配问题还尚无人涉及,这不能不是冷型小麦研究中的重要缺陷。本研究从干旱麦田的热量平衡切入,试图从能量分配的特点上阐明干旱胁迫下冷型小麦小气候环境形成的原因并揭示冷型小麦所以“冷”的机理,以为冷型小麦理论研究的深化和生产实践上的应用起到促进作用。

1 材料与方法

1.1 材料

为充分揭示干旱胁迫下冷型小麦能量分配的特点,特用灌浆结实期间冠温持续偏高的暖型小麦为对照,以形成较大反差,从而使有关规律得到更明显的显现。冷型小麦以典型的“小偃6号”为代表,暖型小麦以典型的“NR9405”为代表,这两个小麦材料均由西北农林科技大学理学院低温植物研究室提供。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验于2005—2007年在陕西杨凌($108^{\circ}04'E, 34^{\circ}20'N$)西北农林科技大学农作试验站进行,该站位于我国黄淮海平原冬麦区,为暖温带半湿润气候。多年平均气温 12.9°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 4169.2°C ,无霜期310 d,年降水量631.0 mm,年日照时数2 162.9 h,年日照百分率49.0%^[10-11]。

采用随机区组排列,重复3次。每小区播7行小麦,行长1.5 m,行距0.30 m,株距0.03 m,于10月上旬开沟带尺点播。播前按尿素 225 kg/hm^2 、磷酸二氢铵 225 kg/hm^2 和磷酸二氢钾 30 kg/hm^2 ,一次性施足底肥。田间管理按黄淮平原冬麦区品种比较试验的要求进行。

为了保证试验在干旱条件下进行,搭建了人工旱棚。从播种到翌年4月上旬小麦在自然状态下生长,从4月中旬(小麦孕穗期)至6月上旬(小麦成熟期),逢雨盖顶,断绝了一切自然降水和人工水分补给,造就了一个严重干旱的小气候环境,如2006年5月24日(乳熟期)测定,土壤深度0—20 cm、20—40 cm、40—60 cm、60—80 cm和80—100 cm的土壤含水量分别降至8.4%、10.9%、11.4%、13.2%和15.1%,已在总体上接近凋萎湿度。

1.2.2 测算方法

气象要素 土壤温度用地面温度表和测量深度为5 cm、10 cm、15 cm和20 cm的曲管地温表(河北衡水测

温仪表厂生产,型号 WQG-16)观测,设置两个重复,两材料小区地温表均沿行向安装(南北行向,球部朝北),按由浅入深的顺序由东向西排列。5月1日—5月29日8:00—20:00每隔3h观测1次;用阿斯曼通风干湿表(天津市通仪仪表成套有限公司生产,型号 DHM2)、热球微风仪(北京华运安特有限公司生产,型号 QDF-2A)测定0.2m、2/3株高、冠顶、零平面位移高度上方0.5m和2.0m高度处的空气温度、空气湿度、风速。用放置在作物层顶上方0.5m处的净辐射表(辽宁锦州仪器厂生产,型号 TDD-1)观测活动层的净辐射。各试验年均于5月1日前后(开花期)开始,每隔7天观测1次,遇阴雨天气则提前或推后进行,直到结实后期,观测时间为晴天午后14:00—15:00。

净光合速率用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 型便携式光合仪测定参试材料旗叶、倒2叶和倒3叶的净光合速率,每处理3次重复,每个重复取3片叶,每个叶位测量9片叶。和上述气象要素的观测同时进行。

绿叶面积用系数法测量,即绿叶面积=绿叶长×绿叶宽×0.8。每处理随机选取15个茎测定其所有绿叶面积,单株叶面积取其平均值;并选取1m²有代表性的样方数其总茎数。

热量平衡方程式各项的测算 农田活动层的热量平衡方程式可写为^[12]:

$$R = P + LE_c + Q_s + IA + Q_T + Q_A$$

式中, R 为净辐射, P 为湍流热通量, LE_c 为农田潜热通量, Q_s 为地面土壤热通量, IA 为光合作用中同化CO₂所消耗的热量, Q_T 为叶片与株茎的热交换, Q_A 为叶片积累的热量。

① R 为实测值。

② P 、 LE_c 活动层内部的 P 、 LE_c 用热量和蒸发潜热的铅直扩散方程^[12](见(1)—(3)并转化为差分形式)计算;活动层和大气之间的 P 、 LE_c 用 M. H. 布德柯工作式^[12]计算:

$$P = -\rho C_p K \frac{\partial T}{\partial Z} \quad (1)$$

式中, P 为湍流热通量(W/m²); ρ 为空气密度, $\rho = 0.0013 \text{ g/cm}^3$; C_p 为定压比热, $C_p = 0.24 \times 4.184 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} = 1.0032 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$; K 为湍流交换系数(m²/s); $\frac{\partial T}{\partial Z}$ 为温度垂直梯度(°C/m)。

$$LE_c = -\rho L K \frac{\partial q}{\partial Z} \quad (2)$$

式中, LE_c 为蒸发潜热通量(W/m²); ρ 同上式; L 为水的蒸发潜热, $L = 2508 \text{ J/g}$, E 为蒸发或凝结量; $\frac{\partial q}{\partial Z}$ 为比湿垂直梯度(g/kg); K 为湍流交换系数(m²/s):

$$K(z) = \frac{k^2(u_2 - u_1)}{\ln\left[\frac{Z_2}{Z_1}\right]} \left[1 + \frac{T_1 - T_2}{(u_2 - u_1)^2} \ln\left[\frac{Z_2}{Z_1}\right]\right] Z \quad (3)$$

对于1m高处, $Z=1$,于是就有:

$$K_{(1)} = \frac{k^2(u_2 - u_1)}{\ln\left[\frac{Z_2}{Z_1}\right]} \left[1 + \frac{T_1 - T_2}{(u_2 - u_1)^2} \ln\left[\frac{Z_2}{Z_1}\right]\right] Z \quad (4)$$

式中, $K(z)$ 为 Z 高度处湍流交换系数(m²/s); k 为卡曼常数,取0.38; T_1 、 T_2 和 u_1 、 u_2 分别为 Z_1 、 Z_2 高度处的气温和风速; Z 为 Z_1 、 Z_2 之间的某一高度。

为了适应野外和台站业务工作需要,规定 Z_1 取0.5m, Z_2 取2.0m,对于1m高处,则相应的温度差、风速差分别为 $T_1 - T_2 = \Delta T_{0.5-2.0}$; $u_1 - u_2 = \Delta u_{2.0-0.5}$; $\ln \frac{z_2}{z_1} = \ln 4 = 1.38$; $k = 0.38$,于是(4)式就变成工作式:

$$K_{(1)} = 0.104 \Delta u \left[1 + 1.38 \frac{\Delta T}{\Delta u^2}\right] \quad (5)$$

比较(3)、(4)式可得到:

$$K = K_{(1)} \cdot Z \quad (6)$$

实用时,如规定 $Z_1 = 0.5\text{m}$, $Z_2 = 2.0\text{m}$, $\rho = 0.0013\text{g/cm}^3$, $C_p = 1.0032\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$, 据以上各式得到布德柯工作式:

$$P = 1.35K_{(1)}(T_{0.5} - T_{2.0}) \times 696.6667\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} \quad (7)$$

$$\text{LE}_c = 2.1K_{(1)}\Delta e \times 696.6667\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} \quad (8)$$

高度从零平面位移高度算起。

③ Q_s 土壤表面的热通量可表示为: $Q_s = Q_{5\text{cm}} + S$, 其中 $Q_{5\text{cm}}$ 为 5cm 处的土壤热通量, 用经过校正的土壤热流板(辽宁锦州仪器厂生产, 型号 HF-1)测定。先选取有代表性的点, 各小区安装方位一致, 最后将同一小麦材料多点的观测值平均之。 S 为 5cm 以上土层土壤热贮量, 用土体容积热容量、变温率和土层厚度计算得出^[13]。

④ IA 还原固定 1 克分子的 CO_2 , 需要消耗 10 个爱因斯坦的能量^[14], 则据测定的净光合速率和单位土地面积上活动层所对应的各叶位叶片绿色面积即可计算出还原 CO_2 所消耗的能量。

⑤ $Q_T + Q_A$ R 与 $(P + \text{LE}_c + Q_s + IA)$ 之差即是净辐射 R 分配给植株用于加热叶片和株茎的能量。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫条件下不同温型小麦的农田净辐射

从图 1 看出, 随着生育期的推移, 麦田净辐射有逐渐增大的趋势。至于 5 月 25 日净辐射突然变小则和当日测量时天气生变未揭开棚顶致使光线明显减弱有关。据研究^[15], 小麦叶片变黄, 群体叶面积减小, 麦田反射率下降, 净辐射会有所增加。暖型小麦“NR9405”麦叶变黄较快, 如 5 月 1 日“NR9405”每茎平均仅有 3 片绿叶, 其中旗叶均为绿色, 倒 2 叶和倒 3 叶黄叶分别达 22%、63%; 而“小偃 6 号”每茎平均有 4 片绿叶, 其中旗叶和倒 2 叶均为绿色, 倒 3 叶和倒 4 叶分别有 16% 和 72% 变黄, 即“小偃 6 号”叶片活力好、功能期较长。据统计, 灌浆期每 m^2 面积“小偃 6 号”比“NR9405”约多 100 片绿叶, 故使“小偃 6 号”麦田反射率较大, 这可能是其冠层净辐射偏小的主要原因。

从总体上看, 冷型小麦“小偃 6 号”的净辐射比暖型小麦“NR9405”偏低 16.35—47.57 W/m^2 , 但经统计检验, 差异尚未达到显著程度, 这和前人在灌溉条件麦田内的测定结果一致^[16]。

2.2 干旱胁迫条件下不同温型小麦农田的潜热通量和湍流热通量

2.2.1 活动层内部的潜热通量和湍流热通量

由表 1 可知, 晴天午后冷型小麦“小偃 6 号”株间潜热通量在 0.2—2/3 株高和 2/3 株高—冠顶处较暖型小麦“NR9405”分别偏高 29.09—48.61 W/m^2 和 47.41—134.89 W/m^2 , 湍流热通量两高度分别偏低 12.48—62.57 W/m^2 和 29.37—85.81 W/m^2 。经 t 检验, 两品种活动层内部的潜热通量存在显著差异 ($P < 0.05$), 而湍流热通量存在极显著差异 ($P < 0.01$)。

冷型小麦“小偃 6 号”较高的潜热通量和较低的湍流热通量说明其用于蒸发蒸腾的能量较多而用于加热空气的能量较少, 这使得其株间湿度较大而气温较低^[17]。冷湿的田间小气候环境是“小偃 6 号”绿叶持续期长、后期衰老慢的主要外部原因。据测定, “小偃 6 号”旗叶、倒 2 叶和倒 3 叶平均蒸腾速率达 0.0090 $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 而“NR9405”仅 0.0065 $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 这与其净辐射能量中用于蒸散项的能量较多相一致, 也说明对于干旱胁迫而言, 冷型小麦“小偃 6 号”的抗御能力较强。

湍流热通量的大小不仅与温度梯度大小有关, 还与风速呈正相关, 小麦灌浆中、后期暖型小麦“NR9405”

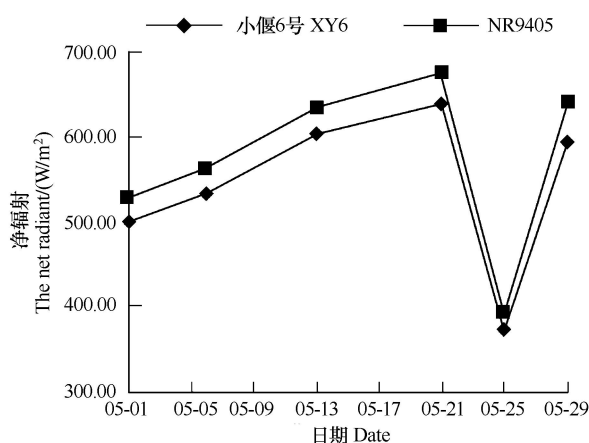


图 1 干旱胁迫条件下不同温型小麦灌浆结实期的农田净辐射
Fig. 1 The net radiant flux density of different temperature type wheats during milk-filling stage under drought stress

植株衰老快,茎叶稀疏,活动层风速较大(表2),因而促使湍流热交换进一步变强。

表1 干旱胁迫条件下不同温型小麦灌浆结实期农田活动层内的潜热通量和湍流热通量

Table 1 The latent heat flux and turbulent heat flux in active layer of different temperature type wheat during milk-filling stage under drought stress/(W/m²)

日期 Date	潜热通量 Latent heat flux				湍流热通量 Turbulent heat flux			
	0.2m—2/3 株高 0.2m—2/3 plant height		2/3 株高—冠顶 2/3 Plant height—Plant top		0.2m—2/3 株高 0.2m—2/3 plant height		2/3 株高—冠顶 2/3 Plant height—Plant top	
	NR9405	小偃6号 XY6	NR9405	小偃6号 XY6	NR9405	小偃6号 XY6	NR9405	小偃6号 XY6
05-01	89.24	—	211.13	258.71	8.12	—	50.2	20.83
05-06	60.45	89.54	189.73	242.13	25.13	7.92	71.58	27.50
05-13	52.27	85.10	107.92	225.15	28.38	15.19	103.34	55.04
05-21	34.67	83.28	65.44	200.33	72.31	18.23	158.15	82.47
05-25	18.15	52.81	49.52	158.42	60.34	25.11	142.12	56.31
05-29	11.85	43.12	50.33	138.32	92.70	30.13	167.9	84.59

5月1日“小偃6号”0.2m—2/3株高为逆温

表2 干旱胁迫条件下不同温型小麦作物层各高度的风速

Table 2 The wind velocity of different heights in crop layer of different temperature type wheats under drought stress/(m/s)

距地面高度 The height from ground	小偃6号 XY6	NR9405
0.2m	0.04	0.07
2/3 株高 2/3 Plant height	0.17	0.30
冠顶 Plant top	0.60	0.72

2007年5月21日测定

2.2 2 活动层与大气之间的潜热通量和湍流热通量

由表3看出,冷型小麦“小偃6号”活动层与大气之间的潜热通量较暖型小麦“NR9405”偏高 50.30—124.20W/m²,湍流热通量偏低 30.50—102.40W/m²,经 *t* 检验,其差异均达 0.05 显著水平。这表明,冷型小麦活动层传给空气的水汽明显较多,而传给空气的热量则显著少于暖型小麦,因而这就从活动层和大气之间水份、热量的输送关系中进一步揭示了干旱胁迫下冷型小麦冠层所具有的冷湿特征,显然,这对改善干旱胁迫下的干热小气候环境大有裨益。

表3 干旱胁迫条件下不同温型小麦灌浆结实期农田活动层与大气之间的潜热通量和湍流热通量

Table 3 The latent heat flux and turbulent heat flux between active layer and atmosphere of different temperature type wheats during milk-filling stage under drought stress/(W/m²)

日期 Date	潜热通量 Latent heat flux		湍流热通量 Turbulent heat flux	
	NR9405	小偃6号 XY6	NR9405	小偃6号 XY6
05-01	240.53	290.81	82.80	52.32
05-06	170.50	275.74	117.52	76.10
05-13	122.62	246.86	171.63	82.90
05-21	93.47	199.41	196.34	112.83
05-25	79.65	177.45	228.77	126.36
05-29	73.13	128.80	236.84	147.91

2.3 干旱胁迫条件下不同温型小麦农田的土壤热通量

由图2可看出,各次测定,冷型小麦“小偃6号”的土壤热通量都小于暖型小麦“NR9405”,总的来说,偏低 24.60—65.19W/m²,经 *t* 检验,两材料的差异达 0.05 显著水平。较低的土壤热通量使得“小偃6号”农田土壤温度较低^[17],并成为影响株间气温偏低的重要因素之一。较低的气温加上较高的水汽含量导致其相对

湿度偏高,致使“小偃6号”的农田小气候形成土壤温度、株间气温均偏低和株间水汽压、相对湿度均偏高的特点,这对缓解干旱条件下所造成的干热胁迫、防止小麦早衰及促进灌浆结实十分有利。

2.4 干旱胁迫条件下不同温型小麦农田光合作用所消耗的热量

由图3可知,还原固定 CO_2 所消耗的热量冷型小麦“小偃6号”明显高于暖型小麦“NR9405”,这说明冷型小麦比起暖型小麦有较旺盛的光合能力,在干旱胁迫下可有较多有机物的产出,这对产量的稳定和提升是非常有利的。从总体上看,偏高 $27.16\text{--}63.18\text{ W/m}^2$,且随着生育期的推移,二者都较快降低,差异也趋于减小。经 t 检验,两者差异达0.05显著水平。

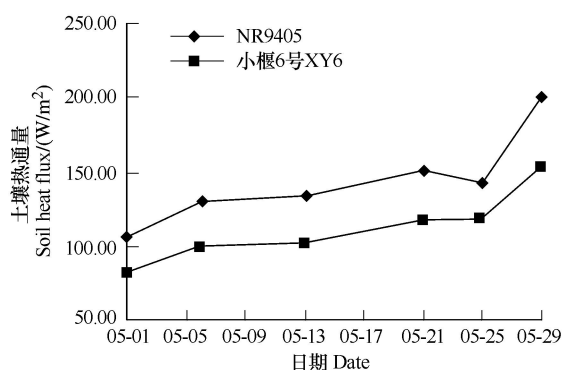


图2 干旱胁迫条件下不同温型小麦灌浆结实期的农田土壤热通量

Fig.2 The soil heat flux of different temperature type wheats during milk-filling stage under drought stress

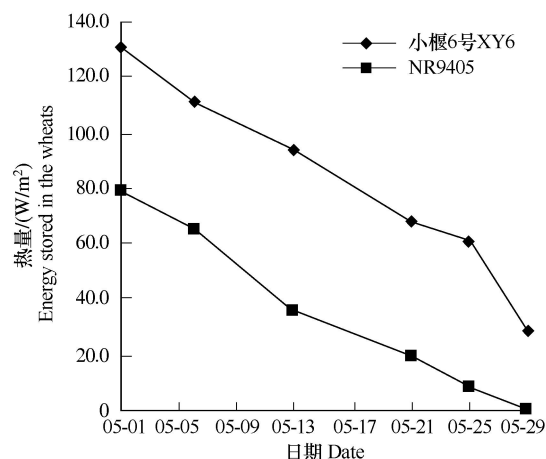


图3 干旱胁迫条件下不同温型小麦同化 CO_2 所消耗的热量

Fig.3 The energy stored in different temperature type wheats as a result of photosynthesis under drought stress

2.5 干旱胁迫条件下加热不同温型小麦植株体的热量

将历次同步测定的 R 、 LE_c 、 P 、 Q_s 、 IA 等项求平均值代入农田热量平衡方程式,得冷型小麦“小偃6号”和暖型小麦“NR9405”的 $Q_A + Q_T$ 分别为 54.40 W/m^2 和 98.10 W/m^2 ，“小偃6号”偏小 43.70 W/m^2 ,差异十分显著。可见,净辐射分配给冷型小麦“小偃6号”用于加热植株体的热量低于暖型小麦“NR9405”。长期测定表明,无论是干旱还是正常天气条件下,冷型小麦的冠层温度总比暖型小麦偏低,上面的结果就从能量分配角度阐明了冷型小麦之所以“冷”、暖型小麦之所以“暖”的生物-物理原因,这使研究得到了深化。

3 讨论

3.1 通过干旱胁迫条件下冷型小麦和暖型小麦热量平衡的对比研究,揭示了冷型小麦所以形成良好小气候环境的生物—物理基础,即由于冷型小麦的活力明显优于暖型小麦,尤其潜热通量显著高于暖型小麦,从而使净辐射 R 的能量分配发生了重大变化,并导致干旱胁迫下冷型小麦冷湿环境的出现,这对籽粒的灌浆结实、产量的提高十分有利。因而,对于小麦生产有突出影响的自然灾害——干旱如何进行抗御,除采取其它各种有力措施外,从小麦本身的生物学特性尤其是它的温度型归属上切入,努力培育出具有冷温特征的冷型小麦,这对改善干旱胁迫条件下小麦的生育环境并使产量进一步上升是有重要理论意义和实践价值的。

3.2 在干旱胁迫条件下,冷型小麦明显促进了小气候环境向冷湿方向的改善,但是,要保证持续高产,还应使这些良好的环境条件和优越的小麦产量骨架协调起来,那么,从小麦的生物学性状考虑,就必须保证小麦本身具有较大的潜在库容,以使良好的环境和较大的潜在库容相结合。所谓潜在库容^[18]是指称鲜粒体积高峰期出现时单位面积上全部鲜粒体积的总和,它是小麦单位面积潜在库大小之度量,当潜在库容较大时,有可能取得高产;当潜在库容较小时,由于容纳养分的空间狭窄,则绝无高产的可能,因而,把小气候环境较好且能提供丰盈物质流的冷型小麦和较大的潜在库容结合起来是一种值得重视的高产模式。

致谢:在光合测定中得到西北农林科技大学农学院王长发副教授的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Zhang S W, Wang C F. Cold type wheat and its biological characteristics. *Act Agronomic Sinica*, 1999,25(5):608-615.
- [2] Zhang S W. Concept, characteristics and future of cold type wheat. *Science Foundation in China*, 2007,15(1):51-57.
- [3] Zhang S W, Wang C F. Research status quo and future of low temperature wheat genotypes. *Agricultural Sciences in China*, 2008,7(12):1413-1422.
- [4] Feng B L, Zhang B, Gao X L, Gao J F, Wang C F, Zhang S W. Analysis on lower canopy temperature and physiological characteristics of drought-resistant wheat. *Act Agronomic Sinica*,2004,30(12):1215-1219.
- [5] Feng B L, Wang C F, Miao F, Zhang S W, He Y J. Leaf gas exchange characters of low canopy temperature wheat in drought conditions. *Journal of Triticale Crops*, 2001,21 (4):48-51.
- [6] Feng B L, Gao X L, Zhao L, Gao J F, Wang C F, Zhang S W. Relationships between canopy temperature and biological characters of wheat under drought conditions. *Chinese Journal of Ecology*,2005, 24(5):508-512.
- [7] Feng B L, Gao X L, Wang C F, Zhang S W, Li S X. Characteristics of flag leaf senescence and activated oxygen metabolism for cold type wheat under drought conditions. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005,13(4):74-76.
- [8] Zhang S W, Wang C F, Feng B L, Miao F, Zhou C J, Liu D X. Double adaptability of cold type wheat to drought and rainy weather. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 680-685.
- [9] Zhang S W, Wang C F, Feng B L, Miao F, Zhou C J, Zhang R P. Some traits of low temperature germplasm wheat under extremely unfavorable weather conditions. *Progress in Natural Science*, 2001, 11(12): 911-917.
- [10] Data Room of Shaanxi Weather Bureau. The Ground Weather Data of Shaanxi Province(I), Shaanxi;Shaanxi Weather Bureau Press,1971-1980: 25-43.
- [11] Data Room of Shaanxi Weather Bureau. The Ground Weather Data of Shaanxi Province(II), Shaanxi;Shaanxi Weather Bureau Press,1971-1980: 21-41.
- [12] Weng D M, Chen W L, Shen J C, Gao J B. Microclimate and Farmland Climate. Beijing: China Agricultural Press, 1981:69-74.
- [13] Mayocchi C L, Bristow K L. Soil surface heat flux: some general questions and comments on measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1995, 75:43-50.
- [14] Yang X G, Yu H N. China Climate Resource and Agriculture. Beijing: China Meteorological Press, 2006:70-73.
- [15] Dong Z G, Yu H N. Environment of Farmland Crop. Beijing: China Agricultural Sci-Tech Press, 1994:32-41.
- [16] Xu X J, Zhang S W. A study on the farmland heat distribution of cold type wheat during milk-filling. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10(4):40-43.
- [17] Yan J F, Zhang S W, Liu D X, Mu W H. Study on farmland microclimatic characteristics of different wheats under drought intimidation. *Journal of Northwest Sci-Tech of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition)*, 2006,34(10):49-54.
- [18] Zhang S W, Wang C F. Study on latent stockpile of wheat spike. *Journal of Northwest Agriculture*, 1999,8(2):16-19.

参考文献:

- [1] 张嵩午,王长发. 冷型小麦及其生物学特征. *作物学报*,1999. 25(5):608-615.
- [4] 冯佰利,张 斌,高小丽,高金峰,王长发,张嵩午. 抗旱小麦的冷温特征及其生理特性分析. *作物学报*, 2004,30 (12):1215-1219.
- [5] 冯佰利,王长发,苗芳,张嵩午,何永杰. 干旱条件下冷型小麦气体交换特性研究. *麦类作物学报*, 2001,21 (4):48-51.
- [6] 冯佰利,高小丽,赵琳,高金峰,王长发,张嵩午. 干旱条件下小麦冠层温度及其性状的关联研究. *生态学杂*, 2005,24 (5):508-512.
- [7] 冯佰利,高小丽,王长发,张嵩午,李生秀. 干旱条件下不同温型小麦叶片衰老与活性氧代谢特征的研究. *中国生态农业学报*,2005,13(4):74-76.
- [8] 张嵩午,王长发,冯佰利,苗芳,周春菊,刘党校. 冷型小麦对干旱和阴雨的双重适应性. *生态学报*, 2004,24(4): 680-685.
- [9] 张嵩午,王长发,冯佰利,苗芳,周春菊,张荣萍. 灾害性天气下小麦低温种质的性状表现. *自然科学进展*,2001,11(12):911-917.
- [10] 陕西省气象局资料室. 陕西省地面气候资料(上). 陕西:陕西省气象局出版社,1971-1980:25-43.
- [11] 陕西省气象局资料室. 陕西省地面气候资料(下). 陕西:陕西省气象局出版社,1971-1980:21-41.
- [12] 翁笃鸣,陈万隆,沈觉成,高家表. 小气候和农田小气候. 北京:农业出版社, 1981:69-74.
- [14] 杨晓光,于沪宁. 中国气候资源与农业. 北京:气象出版社,2006:70-73.
- [15] 董振国,于沪宁. 农田作物层环境生态. 北京:中国农业科技出版社,1994:32-41.
- [16] 许秀娟,张嵩午. 冷型小麦灌浆期农田热量分配状况初探. *中国生态农业学报*,2002,10(4):40-43.
- [17] 严菊芳,张嵩午,刘党校,穆婉红. 干旱胁迫下不同温型小麦农田微气象特征研究. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2006,34(10):49-54.
- [18] 张嵩午,王长发. 小麦潜在库容研究. *西北农业学报*,1999,8(2):16-19.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许可证	京海工商广字第 8013 号		

