

# 小麦冷源及其在干旱条件下的适应性

张嵩午<sup>1</sup>, 冯佰利<sup>2</sup>, 王长发<sup>2</sup>, 苗 芳<sup>1</sup>, 周春菊<sup>1</sup>, 刘党校<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 生命科学学院; 2. 西北农林科技大学 农学院, 杨凌 712100)

**摘要:**冷型小麦具有代谢功能较好、活力较旺盛、抗旱衰能力较强的特征,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、稳产具有十分重要的意义。在这样的形势下,小麦冷源的发现明显促进了这一进程。小麦冷源是一种能够传递冷温特征的新遗传源,各种温度型的小麦与之杂交后,其后代降温的频率较高,且在这些降温的材料中能够涌现出较多的冷型小麦,从而有力促进了冷型小麦的选育。为了抵御干旱对小麦生产的严重威胁,进一步对冷源和非冷源材料进行了干旱适应性试验。通过对比发现,两者在一些重要内、外性状上,如叶片功能期、叶绿素含量、可溶性蛋白质含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、净光合速率和籽粒饱满指数等方面,小麦冷源较非冷源明显为优,表现出干旱胁迫下亦具有代谢好、活力强的特点,无疑,这就进一步拓宽了小麦冷源的应用范围,提高了它的研究和生产实践价值,可望借助这个新的遗传源,加速适应于干旱条件的优良品种的培育,其前景将会十分广阔。

**关键词:**小麦冷源; 干旱; 适应性

## Wheat cold source and its adaptability under drought conditions

ZHANG Song-Wu<sup>1</sup>, FENG Bai-Li<sup>2</sup>, WANG Chang-Fa<sup>2</sup>, MIAO Fang<sup>1</sup>, ZHOU Chun-Ju<sup>1</sup>, LIU Dang-Xiao<sup>2</sup> (1. Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry College of Life Sciences; 2. Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry College of Agronomy, Yangling 712100, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2558~2564.

**Abstract:** Through study on the canopy temperature and some other traits of wheat for 10 years and more, the authors found that all of the wheat materials in any agro-ecological zone could be divided into three microclimate ecological types based on their canopy temperature (plant temperature), that was, cold, intermediate and warm types. The canopy temperature of cold type wheat was equivalent to or continuous lower than that of the control and its metabolic function, premature senility resistance and vitality were better than that of the control. On the contrary, warm type wheat had a continuous higher canopy temperature than that of the control and its metabolic function, premature senility resistance and vitality were also worse than that of the control and cold type wheat. For the intermediate type wheat, its canopy temperature, metabolic function presented a obvious polymorphism, that was, its characters mentioned above were unstable and were affected by the environmental conditions, especially the meteorological conditions and fluctuated between the characters of cold and warm type wheat. Intermediate type wheat had played a main role in wheat production for a long time. Obviously, cold type wheat was superior to intermediate and warm type wheat in metabolic function and kernel-filling. Therefore, It is very important

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30070150)

**收稿日期:**2002-09-21; **修订日期:**2003-01-26

**作者简介:**张嵩午(1940~),男,山西五台人,教授,主要从事作物生理生态和农业气候研究。E-mail: Coldwheat@hotmail.com

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No. 30070150)

**Received date:** 2002-09-21 **Accepted date:** 2003-01-26

**Biography:** ZHANG Song-Wu, Professor, main research field: crop physiol-ecology and agro-climatology.

and significant for wheat's high-and stable-yield to breed more and more cold wheat varieties and apply them in wheat production. In this case, the discovery of wheat cold source promotes remarkably the progress in cold type wheat breeding. Wheat cold source is a new kind of germplasms, when crossed it with other wheat materials, over 80% combinations of F1 hybrids presented a drop of canopy temperature and more than 30% of the combinations turned into cold type wheat in our experiments. So the metabolic functions of the progenies derived from wheat cold source have been improved greatly and the breeding of cold type wheat has been promoted obviously. There is a large range of arid area in China and wheat production is threatened by drought frequently in this area and even in non-arid area. It has been well known that wheat cold source can transfer a lower temperature traits to its progeny. However, whether it is resistant to drought needs to be investigated. If the application of wheat cold source in the breeding program could increase the chance of selecting drought-resistant varieties with excellent metabolic function, it would have a greater significance in wheat breeding. For this purpose, the authors of this paper established a severe drought microclimatic circumstances (soil moisture content was 9.3%, 10.9%, 11.8%, 12.9% and 13.2%, respectively, approaching blighting moisture at the depth of 0~20cm, 20~40cm, 40~60cm, 60~80cm and 80~100cm underground) and launched out into a comparative experiment on the characters of wheat cold source and non-wheat cold source for three consecutive years and leaf functional duration, chlorophyll content, soluble protein content, SOD activity, CAT activity, net photosynthetic rate and kernel plumpness index were tested in this experiment. The results showed that a series of traits including plant vitality and drought resistance in wheat cold source were better than that of non-wheat cold source under drought conditions. Therefore, wheat cold source is an excellent new genetic source having important theory and practice meanings in wheat breeding and many good wheat varieties, suitable for drought conditions will be released by taking advantages of its strong genetic heritability in metabolic function and drought resistance. Wheat cold source will have a promising future.

**Key words:** wheat cold source; drought condition; adaptability

文章编号:1000-0933(2003)12-2558-07 中图分类号:Q948 文献标识码:A

20多年来,关于在完全相同的气候、土壤和栽培条件下不同基因型小麦冠层温度(体温)有别现象的报道已陆续问世<sup>[1~7]</sup>。小麦温度型的观点提出后<sup>[8]</sup>,此项研究有了进一步深化并且更紧密地和小麦品种选育及生产上的应用联系起来。结果表明,在任一农业生态地区,所有小麦材料均可依其冠层温度之高低分别归属于下列3种类型之一:①冷型。灌浆成熟期间(开花~成熟,下同),和当地经久不衰、有重要影响、作为对照的品种相比,冠层温度相当或持续偏低;②暖型。和对照品种相比,冠层温度持续偏高;③中间型。和对照品种相比,冠层温度不够稳定,不同年份分别表现为不同的温度状态,或冷型态,或暖型态,或介于上述两种状态之间。3种温度型小麦互相比较,冷型小麦的根系较发达,地上部活力较强,具有较高的代谢水平和较明显的抗旱衰能力,利于小麦的高产、稳产,比其它两种类型均优,而暖型小麦则是3种温度型中最差者。因而,如何加速这种小麦的培育就自然受到人们的特别关注,在这种形势下,小麦冷源的发现打开了一条解决上述问题的通路,而对其干旱条件下的生态适应性之研究则把严重威胁小麦生产的干旱问题的解决从探求小麦基础遗传材料的角度明显向前推进了一步。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

整个研究始于1984年,最初着眼于不同基因型小麦冠层温度的比较和分类,随着研究的深入,小麦冷源被逐渐认识,从1998年起,对其开展了专项研究,持续至今。试验地设在西北农林科技大学农作一站,属我国小麦的**生产数据**—黄淮平原冬麦区,为暖温带半湿润气候。试验设计的基本思想是:选用含有不同温度型的多个材料,进行完全双列杂交,形成数以10计的组合,通过对亲本和后代冠层温度关系以及其他

诸多性状的观测、研究,以证实小麦冷源的存在并对其基本性质进行揭示。这期间曾进行了多次  $6 \times 6$  和  $8 \times 8$  的双列杂交,分别形成包括亲本和正、反交组合在内的 36 个和 64 个材料,比如“ $8 \times 8$ ”就有小偃 6 号、陕 229、WCS-2、AC104、HTG-1、NR9405、偃师 9 号和郑 891 等 8 个材料作为亲本参与其中。小麦冷源确定后,专门搭建了干旱棚,持续 3 年,将冷源和非冷源材料种于其中,从 4 月中旬(拔节后期~孕穗)起,断绝了一切自然和人工水分补给,直到成熟,造就了一个严重的干旱小气候环境(资料见后)。田间和干旱棚内的前作均为空茬,地力在当地属中上;每个材料种 3 行(干旱棚内 5 行),行长 1.6m,行距 0.25m,随机区组排列,重复 3 次,10 月上旬点播,对照品种是当地小麦生产上经久不衰、有很大影响的小偃 6 号;按黄淮海区品种比较试验的要求管理。

## 1.2 观测记载

(1)首先,对参试材料的冠层温度进行了测定,所用仪器为 BAU-I 型红外测温仪,其分辨率为  $0.1^\circ\text{C}$ ,测量精度为常温  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ,响应时间  $2 \sim 3\text{s}$ ,视场角  $5^\circ$ ;观测时间以晴天 13:00~15:00 各小麦材料冠层温度差异最明显时为主;测定方法系农田小气候观测的对称法。

(2)在干旱棚里,对小麦冷源和非冷源材料进行了对比观测记载,各项目分述如下:

叶片功能期 首先记载了旗叶、倒 2 叶和倒 3 叶从开花到叶片干枯的日数以及从开花到籽粒成熟的日数,然后前后日数相比,分别求出各叶位叶片的百分比值即是,系一相对值。

叶绿素含量 用 UV-120 分光光度计比色测定。

可溶性蛋白质含量 用考马斯亮蓝-250 蛋白染色法<sup>[9]</sup>测定。

超氧化物歧化酶(SOD)活性 参照王爱国等的改进方法<sup>[10]</sup>进行。

过氧化氢酶(CAT)活性 用 Beers 和 Sizars 改进法<sup>[11]</sup>测定。

净光合速率 采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 型便携式红外线  $\text{CO}_2$  测定系统进行。

籽粒饱满指数<sup>[12]</sup> 采用容量瓶注水的方法,先测定小麦鲜粒最大时的体积,后测定籽粒成熟晒干时的体积,以后者比前者,百分比值即是。

所有上述测定均以对籽粒最后形成、充实有决定意义的灌浆成熟期为重点。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦冷源

通过对上述数 10 个亲本和组合连续 5a 的观测发现,个别材料具有强烈的降温功能,即该材料与各种温度型的材料杂交,包括正交和反交,其  $F_1$  代比起各种温度型的亲本来,大多数均出现降温现象,且在这些降温的  $F_1$  代中还出现了批量冠层温度持续偏低、代谢功能较好的冷型小麦;而一般材料并无此种明显的降温能力,其  $F_1$  代出现冷型小麦的机率也相对很低(表 1)。

表 1 所列数据是材料 WCS-2 和 HTG-1 分别与同一批含有冷型、中间型和暖型亲本材料正、反交的结果。从表 1 看出,在 WCS-2 的作用下,组合( $F_1$ )与含有不同温度型的亲本材料相比,出现了大面积降温,即组合与亲本温度之差为“—”者占到整个组合的 85.7%,升温者很少(见“温差”项,下同);在 HTG-1 的作用下,组合( $F_1$ )与含有不同温度型的亲本材料相比,降温者相对不多,即组合与亲本温度之差为“—”者仅占到整个组合的 28.6%,而升温者却占到 71.4%。尤其引人注目的是,在 WCS-2 参与下的组合( $F_1$ )内出现了批量冠层温度持续偏低的冷型小麦,占到全部组合的 57.1%,比冷型占含有不同温度型亲本的 28.6%的比例明显增加。在温度型的这种大幅变化中,除了亲本为冷型者组合亦基本为冷型外,其他大部分后代的温度型都有所改善提高,即亲本为中间型,后代大多变为冷型,甚至还出现了亲本为最差的暖型而后代直接跃变为最优的冷型这种情况,如 WCS-2 $\times$ NR9405 等。这样,从总体上看,组合出现了明显的冷性化趋向,其植株的代谢基础也有了显著提高;在 HTG-1 参与下,组合( $F_1$ )内冷型小麦仅占 7.1%,比冷型占含有不同温度型亲本的 42.9%的比例大大下降,且亲本为暖型者,组合基本上仍为暖型,亲本为中间型或冷型者,后代绝大部分都蜕变为较差的温度型,甚至有些还由冷型大幅直接降为暖型,如 HTG-1 $\times$ 小偃 6 号等,使整个组合的代谢基础出现了趋向性下降。

表 1 不同材料作用下 F1 代的降温状况

Table 1 Cooling states of F1 reciprocal hybrids affected by different materials

杂交组合 Combinations	温差(°C) Temperature differences	亲本温度型 Parent temperature types		组合温度型 Combination temperature types		杂交组合 Combinations	温差(°C) Temperature differences	亲本温度型 Parent temperature types		组合温度型 Combination temperature types	
		Parent temperature types	Combination temperature types	Parent temperature types	Combination temperature types			Parent temperature types	Combination temperature types		
正交 Cross				正交 Cross							
WCS-2×小偃 6 号 Xiaoyan6	-1.0	CT	CT	HTG-1×小偃 6 号 Xiaoyan6	+0.8	CT	WT				
WCS-2×陕 229 Shaan229	-1.8	CT	CT	HTG-1×陕 229 Shaan229	-0.1	CT	WT				
WCS-2×AC104	+0.5	IT	CT	HTG-1×AC104	+1.7	IT	WT				
WCS-2×郑 891 Zheng 891	-0.9	IT	CT	HTG-1×郑 891 Zheng891	+0.7	IT	WT				
WCS-2×HTG-1	-2.5	WT	IT	HTG-1×WCS-2	+1.7	CT	WT				
WCS-2×NR9405	-2.0	WT	CT	HTG-1×NR9405	+0.7	WT	WT				
WCS-2×偃师 9 号 Yanshi9	-2.0	WT	CT	HTG-1×偃师 9 号 Yanshi9	+0.7	WT	WT				
反交 Counter-cross				反交 Counter-cross							
小偃 6 号×WCS-2 Xiaoyan6	-0.2	CT	CT	小偃 6 号×HTG-1 Xiaoyan6	+0.7	CT	WT				
陕 229×WCS-2 Shaan229	-0.8	CT	IT	陕 229×HTG-1 Shaan229	-0.9	CT	IT				
AC104×WCS-2	+0.3	IT	CT	AC104×HTG-1	+0.2	IT	CT				
郑 891×WCS-2 Zheng 891	-0.8	IT	IT	郑 891×HTG-1 Zheng891	+0.5	IT	WT				
HTG-1×WCS-2	-1.8	WT	WT	WCS-2×HTG-1	+1.0	CT	IT				
NR9405×WCS-2	-0.9	WT	WT	NR9405×HTG-1	-1.3	WT	IT				
偃师 9 号×WCS-2 Yanshi9	-1.1	WT	IT	偃师 9 号×HTG-1 Yanshi9	-0.5	WT	WT				

\* CT 代表冷型,IT 代表中间型,WT 型代表暖型 CT,IT and WT show respectively cold, intermediate and warm

type

由于个别材料如上面所述的 WCS-2 具有较强的供冷能力,并使后代的代谢功能得以明显改善,其性状传递方式和小麦育种历史上曾发现的矮源、抗源、大粒源等十分相似,为研究方便起见,特称这些能使后代普遍降温(占 80% 以上)且产生批量冷型小麦(占 30% 或更多)的小麦材料为小麦冷源似乎是适宜的。目前,这样的冷源材料不多,但意义重大,据作者研究,在冷源作用下,不但 F1 代出现了较多的冷型小麦,且在 F2 代性状明显分离的情况下,具有冷温特征植株的机率亦有大幅上升,这就为优良品种的选育提供了极为有利的条件,值得重视。

我国是个旱区很大的国家,即使在非旱区,小麦亦常受到干旱威胁,干旱成为影响小麦生产的最重要的灾害性天气之一,上述小麦冷源能否适应干旱条件,直接关系到冷源后代能否抗旱,所选育的品种能否在广大地区受到干旱胁迫时继续保持高产、稳产,因而,应就此问题进行进一步的分析。

## 2.2 小麦冷源对干旱的适应性

在多年研究中,曾经历过自然干旱的多次检验,为使小麦冷源对干旱的反应进一步显露,在 2000~2002 年连续 3a 构建了干旱棚,其干旱小气候环境较为严峻,如 2000 年乳熟期测定,土壤深度 0~20cm、20~40cm、40~60cm、60~80cm 和 80~100cm 的土壤含水量分别降至 9.3%、10.9%、11.8%、12.9% 和 13.2%,总体干旱程度严重。棚内种了包括冷源和非冷源在内的 13 个材料,下面选取有代表性的小麦冷源 WCS-2 和非冷源 HTG-1 进行对比分析,以揭示干旱条件下小麦冷源的表现。

2.2.1 叶片功能期 用百分比值表示叶片功能期,其值大者,表示叶片功能期较长,活力较好,否则相反(图1)。

从图1看出,在干旱条件下,冷源各个叶位的叶片功能期都比非冷源明显为长,且叶位越低,差异越大,说明冷源在干旱条件下的叶片活力具有比非冷源的明显优势。

2.2.2 叶绿素含量 这里的叶绿素含量是旗叶、倒2叶和倒3叶的加权平均值,即考虑到各叶位叶片对籽粒充实的贡献,从而赋予不同的权重<sup>[13]</sup>。

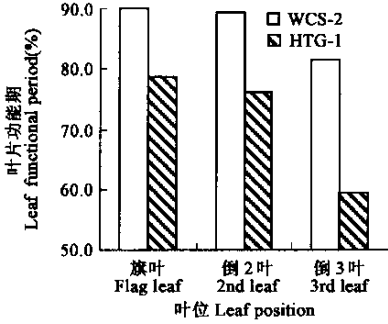


图1 相对值表示的叶片功能期

Fig. 1 Leaf functional periods shown by relative value

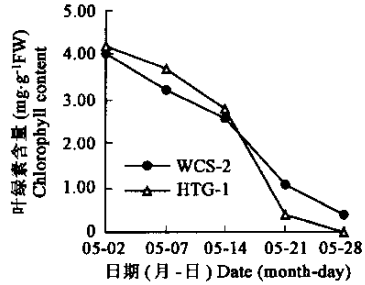


图2 叶片加权平均叶绿素含量

Fig. 2 Chlorophyll content of the leaves with weighted average

图2表明,冷源和非冷源的叶绿素含量均随生育期之推移呈下降态势,但在干旱胁迫下,非冷源明显降低迅速,以致在成熟前(5月28日)当冷源尚有少量叶绿素存在时,非冷源已完全降解。这进一步说明,干旱条件下的冷源比起非冷源具有活力较旺的特征,尤其后期更为鲜明。

2.2.3 可溶性蛋白质含量 图3反映的是旗叶可溶性蛋白质含量随时间的变化,旗叶可溶性蛋白质含量在总体上仍随生育期的推移而减小,但在干旱条件下冷源和非冷源有较大差异,即冷源明显降解较缓,而非冷源降解迅速,当接近成熟时(5月28日),出现了和叶绿素含量相同的变化——冷源的可溶性蛋白质尚含少许,而非冷源的已不能检出,此为冷源活力较好、后劲较足再次提供了有意义的证明。

2.2.4 超氧化物歧化酶(SOD)活性 图4反映了在干旱条件下冷源和非冷源旗叶SOD活性的动态变化。

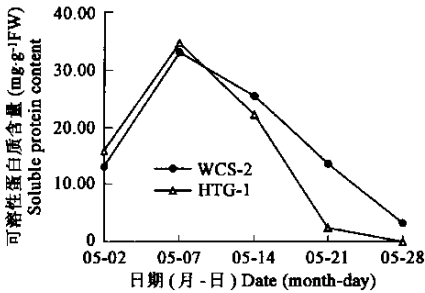


图3 旗叶可溶性蛋白质含量

Fig. 3 Soluble protein content of the flag leaves

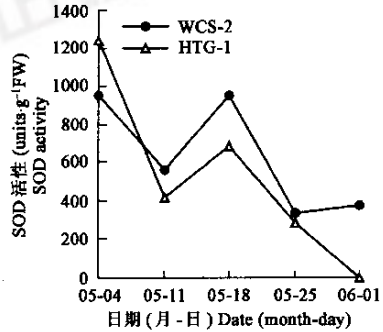


图4 旗叶SOD活性

Fig. 4 SOD activity of the flag leaves

从图4看出,在灌浆成熟之初,冷源 WCS-2 的 SOD 活性较非冷源 HTG-1 为低,但这种状态维持了短暂时间后即出现逆转,冷源 WCS-2 的 SOD 活性明显超出并一直维持到成熟。这表明,在干旱条件下,冷源具有更强的防御活性氧对细胞膜系统伤害的能力,抗旱衰较好。

2.2.5 过氧化氢酶(CAT)活性 图5反映的是干旱条件下冷源和非冷源旗叶CAT活性的动态变化。

图5表明,在干旱条件下,整个灌浆成熟期间冷源的CAT活性比起非冷源来始终较高,此为冷源叶片在干旱逆境下抗活性氧毒害能力较强、活力较旺作了进一步说明。

2.2.6 净光合速率 在干旱条件下,冷源和非冷源的差异如图6所示。这里的净光合速率是旗叶、倒2叶和倒3叶净光合速率的加权平均值。

图6表明,冷源和非冷源均显现出随着生育期推进净光合速率趋于减小的态势。引人注目的是,在干旱条件下,这一重要生理参数冷源总比非冷源较高,未出现反常,尤其到了成熟前(5月30日),当冷源还具有一定的制造干物质的能力时,非冷源由于叶片枯亡过早,其能力已丧失殆尽,此为两者籽粒库充实程度的差异奠定了最重要的物质基础。

### 3 讨论

如上分析可知,在干旱条件下,小麦冷源和非冷源的内、外性状存在显著差异,所有这些差异最终表现在籽粒上,出现了籽粒饱满指数的明显分化,以2000年干旱棚内的测定结果为例,WCS-2为60.6%,HTG-1为51.2%,前者籽粒饱满程度显然较后者为优。

小麦冷源这个小麦新遗传源的发现,打开了一条培育具有良好代谢功能小麦的通路,尤其它在干旱条件下的优良表现,更使培育出代谢好、抗旱亦佳的优良品种的机率明显上升,无疑这对小麦的高产、稳产,尤其干旱胁迫下的高产、稳产具有十分重要的意义。目前发现的小麦冷源还很少,但是,只要按照一定原则在自然界细心寻觅,再加上人为途径的创造,小麦冷源就会逐渐丰富起来,对于优良小麦品种培育的贡献也就会越来越大。

### References:

[1] Blum A, Mayer J, Gozlan G. Infrared thermal sensing of plant canopies as a screening technique for dehydration avoidance in wheat. *Field Crops Research*, 1982, **5**: 137~146.

[2] Zhang S W. The second heat source of wheat population and its heating effects. *J. Ecol.*, 1990, **9**(2): 1~6.

[3] Singh N B, Ahmad Z, Singh DN, et al. High temperature tolerance in wheat cultivars. *Advances in Agricultural Research in India*, 1997, **7**: 119~124.

[4] Reynolds M P, Singh R P, Ibrahim A, et al. Evaluating physiological traits to compliment empirical selection for wheat in warm environments. *Developments in Plant Breeding*, 1997, **6**: 143~152.

[5] Fischer R A, Rees D, Sayre K D, et al. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science*, 1998, **38**(6): 1467~1475.

[6] Rashid M, Tanveer A, et al. Use of canopy temperature measurements as a screening tool for drought tolerance in spring wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1999, **182**(4): 231~237.

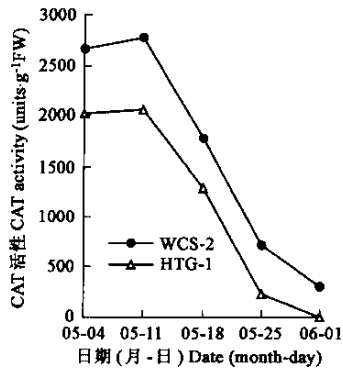


图5 旗叶CAT活性

Fig. 5 CAT activity of the flag leaves

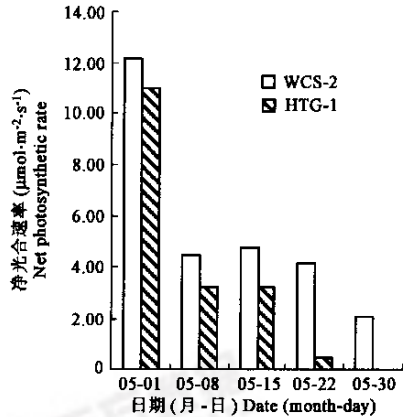


图6 叶片加权平均净光合速率

Fig. 6 Net photosynthetic rate of the leaves with weighted average



- [7] Zhang S W, Wang C F, Feng B L, *et al.* The specific characteristics of wheat with polymorphic canopy temperature. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(9):1414~1419.
- [8] Zhang S W. Temperature type phenomenon of wheat. *J. Appl. Ecol.*, 1997, **8**(5):471~474.
- [9] Northwestern Agricultural University. *Basal Biochemistry Test Guide*. Xian: Shaanxi Science and Technology Press, 1986. 66~69.
- [10] Wang A G, Luo G H, Shao C B, *et al.* SOD activity of soybean seed. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 1983, **9**(1): 77~83.
- [11] Stellmach B. *Bestimmungsmethoden Enzyme*. Translated by Qian Jiayuan. Beijing: China Light Industry Publishing House, 1992. 186~194.
- [12] Zhang Xiaolong. Study on the filling of wheat seed. *Acta Agronomica Sinica*, 1982, **8**(2): 87~93.
- [13] Zheng G H, Xiu A B, Li Y Z. Preliminary study on the regulation of assimilation products distributing and utilizing in wheat. *Plant Physiology Communications*, 1964, (3): 7~16.

#### 参考文献:

- [2] 张嵩午. 小麦群体的第二热源及其增温效应. *生态学杂志*, 1990, **9**(2):1~6.
- [7] 张嵩午, 王长发, 冯佰利, 等. 冠层温度多态性小麦的性状特征. *生态学报*, 2002, **22**(9):1414~1419.
- [8] 张嵩午. 小麦温型现象. *应用生态学报*, 1997, **8**(5):471~474.
- [9] 西北农业大学. *基础生物化学实验指导*. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986. 66~69.
- [10] 王爱国, 罗广华, 邵从本, 等. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究. *植物生理学报*, 1983, **9**(1):77~83.
- [11] 施特马赫. 酶的测定方法. 钱嘉渊译. 北京: 中国轻工业出版社, 1992. 186~194.
- [12] 张晓龙. 小麦品种籽粒灌浆研究. *作物学报*, 1982, **8**(2):87~93.
- [13] 郑广华, 徐阿炳, 李雅志. 小麦体内同化产物分配利用规律的初步研究. *植物生理学通讯*, 1964, (3):7~16.

