

旱地冬小麦灌浆期冠层温度与产量 和水分利用效率的关系

樊廷录^{1,2}, 宋尚有¹, 徐银萍³, 李兴茂¹

(1. 甘肃省农业科学院, 甘肃兰州 730070; 2. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100;
3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃兰州 730070)

摘要 利用红外测温仪, 于 2005 ~ 2006 年在甘肃陇东旱原研究了我国北方冬麦区域的 23 个小麦品种 (系) 灌浆不同时期冠层温度的差异及其与产量和水分利用效率的关系。结果表明, 不同基因型小麦在籽粒灌浆结实期存在着冠层温度高度分异的现象, 其分异程度随灌浆过程的进行明显加大, 到灌浆中后期达到最大。无论灌浆初期还是中期或中后期, 旱地冬小麦产量、水分利用效率与冠层温度均呈极显著的负相关 ($R^2 = 0.445 - 0.812$), 并且随着灌浆期推移, 相关性增大, 灌浆中后期冠层温度每升高 1℃, 旱地冬小麦产量减少近 280 kg hm⁻², 水分利用效率下降约 0.6 kg hm⁻²mm⁻¹。灌浆中期以后不同基因型小麦冠层温度保持较高的一致性, 冠层温度偏低的品种具有较高的产量和水分利用效率。灌浆中后期的冠层温度在评价小麦产量和水分利用效率上具有较高的可靠性, 可作为一个田间选择指标应用。

关键词 冬小麦; 冠层温度; 产量; 水分利用效率

文章编号: 1000-0933 (2007) 11-4491-07 中图分类号: Q142, Q948 文献标识码: A

Relationship between canopy temperature and water use efficiency/grain yield among dryland winter wheat genotypes during grain filling stage

FAN Ting-Lu^{1,2}, SONG Shang-You¹, XU Yin-Ping³, LI Xing-Mao¹

¹ Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China

² State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China

³ Agricultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27 (11): 4491 ~ 4497.

Abstract : Canopy temperature (CT) has been considered as a physiological indicator of plant fitness, and can be used as an effective tool in screening wheat (*Triticum aestivum* L.) for water use efficiency (WUE) and high yield. Field studies were conducted at Zhenyuan, Gansu, China, in 2005 – 2006 to examine the differences in CT and the relationships between CT to grain yield and WUE in winter wheat genotypes. Twenty three winter wheat genotypes (supplied by North China Winter Wheat Performance Tests Program) were grown under a dryland condition. CT s were recorded during early to mid-late grain filling stage between 1.30 pm and 3.30 pm on 3 clear days with a portable infrared thermometer. Genotypes

基金项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金资助项目 (10501-162); “十一”国家科技支撑计划“西北半湿润偏旱区粮果稳产高效技术集成与示范”课题资助项目 (2006BAD29B07)

收稿日期: 2007-01-09; 修订日期: 2007-09-19

作者简介: 樊廷录 (1965 ~) 男, 甘肃临洮人, 博士, 研究员, 主要从事旱作节水农业、作物抗旱生理研究工作。E-mail: fantinglu3394@163.com

Foundation item : The project was financially supported by State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau (No. 10501-162); Integration and Demonstration of Grain and Fruit Yield Stable and High-efficient Techniques in Northwest Subhumid Susceptible to Drought, National Key Technologies R&D Program in the 11th Five-year Plan

Received date 2007-01-09; **Accepted date** 2007-09-19

Biography : FAN Ting-Lu, Ph. D., Research scientist, mainly engaged in dryland water-saving agriculture, crop drought resistant physiology. E-mail: fantinglu3394@163.com

showed considerable differences in *CT*, the differences increased with the development of plant and the maximum differences were observed at mid-late grain filling stage. Among the genotypes studied, a highly negative regression between *CT* and grain yield/*WUE* ($R^2 = 0.445 - 0.812$) was established, no matter in early or middle or mid-late grain filling stage and the R^2 values increased as grain filling proceeded. Grain yield reduced by about 280 kg hm^{-2} and *WUE* reduced by $0.6 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ respectively when *CT* increased 1°C at mid-late grain filling stage. These results clearly indicated genotypes maintained a consistent *CT* after middle grain filling, indicating some genotypes with high-yield and high-*WUE* consistently had low *CT*s, whereas the low-yield and low-*WUE* genotypes had high *CT*s. Regression results suggested that, to use *CT* as an parameter to estimate yield and *WUE*, the best time to take the measurement is at mid-late grain filling stage. The highly negative regression between *CT* and yield/*WUE* also suggested that *CT* can be used by breeding programs as a potential selection criterion for grain yield and *WUE* in wheat.

Key Words : Winter wheat ; Canopy temperature ; Grain yield ; Water use efficiency

生物节水是提高作物水分利用效率最具潜力的方面,作物抗旱节水品种快速诊断指标是生物节水研究的前沿领域^[1]。国内外从经济形状、形态学、生理生化和分子4个水平入手,对作物抗旱节水鉴定方法与筛选指标体系进行了大量研究。但迄今为止,可靠、简便、快速、可操作的方法与指标比较缺乏^[2]。冠层温度(Canopy temperature, *CT*)与小麦生育状况的关系一直受到人们的重视,在相同背景条件下,不同小麦基因型存在明显的冠层温度分异特性。冠层温度作为衡量作物缺水的重要指标,已被广泛地用来推断作物水分状况,近年来成为作物抗旱基因型选择的重要依据^[3],与作物水分利用密切相关^[4]。国际小麦玉米改良中心(CIMMYT)将冠层温度作为抗旱性筛选的重要指标在早期时代应用,冠层温度与冬小麦产量的遗传相关系数在0.8以上。张嵩午和王长发^[5]根据冠层温度特征,将灌浆结实期冠层温度持续偏低的小麦称为冷型小麦,反之,称为暖型小麦。朱云集等^[6]研究了6个小麦品种灌浆期间冠层温度的差异,灌浆后期冠层温度与产量之间的相关系数达到0.837。然而,国内有关小麦品种冠层温度与产量和水分利用效率直接关系的研究报道还较少。本试验利用手持式冠层测温仪,在甘肃陇东旱原研究不同基因型冬小麦灌浆期冠层温度的差异及其与产量和水分利用效率的关系,旨在为抗旱节水品种筛选提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计和材料

试验于2005~2006年在农业部甘肃镇原黄土旱原生态环境重点野外科学观测站($35^\circ30' \text{N}$, $107^\circ29' \text{E}$)进行,海拔1254 m,年均降水量540 mm,降水主要分布在7、8、9三个月,年平均温度 8.3°C ,土壤为黑垆土,属完全依靠自然降雨的西北半湿润偏旱区,长期盛行以冬小麦为主的一年一熟制或填闲复种的两年三熟轮作制。

田间试验材料来源于在该站进行的国家北方旱地冬小麦区域试验的23个品种(品系):陇原034,陇麦977,陇育215,晋农318,9840-0-3-2-1,0052-1-3,陇原031,静2000-10,宁麦5号,0052-1-6-1,0052-17-2,9840-0-3-3-1-3,9840-2-3-15,9840-0-3-1-6,0052-1-4-1,沧核038,临旱5406,临旱51241,长6878,陇鉴386,定鉴3号,陇鉴385,洛川9709。

试验采取随机区组设计,两次重复,小区长6.7 m,宽2 m,小区面积 13.3 m^2 ,每小区种10行,行距0.2 m,于9月25日按每公顷375万基本苗开沟撒播。每小区播前施磷二铵 0.29 kg ,尿素 0.19 kg ,返青后撒播追施尿素 0.15 kg 。试验管理按常规措施进行。

2005年9月至2006年6月小麦生育期降水 315.6 mm ,较多年平均值 250 mm 增加26.4%,但拔前2 m土层有效贮水 143 mm ,占田间最大有效贮水量的57.8%。因此,本试验年份作物需水与供水属正常年份。

1.2 测定项目和方法

(1)冠层温度 *CT* 的测定 采用国产BAU-1型手持式红外测温仪,分辨率为 0.1°C ,响应时间为2~3 s。

选择晴朗无云的天气,于冬小麦灌浆初期(5月15日)、灌浆中期(6月6日)、灌浆中后期(6月11日)测定各小区的 CT 值,每次测定时间为 13 30~15 30 pm。观测时,按照农田小气候观测的对称法进行,测定时视角取 5° ,手持测温仪,置于 1.5 m 高度左右,以 30° 瞄准小区内中间的冠层,其测点为群体生长一致、有代表性的部位,避开裸地影响,直接在显示屏上读取数据。为减少误差,每个小区重复测定 5 次,取其平均值作该次测定的 CT 值。

(2) 土壤水分测定和水分利用效率 WUE (Water Use Efficiency) 计算 播种前和收获时分别用土钻法测定每个小区 2m 土层(每 20cm 为一个层次)的土壤含水率,转化为以 mm 为单位的播前和收获时的土壤贮水量。小麦生育期降雨量通过自动气象站获得。利用土壤水分平衡方程计算每个小区作物耗水量 (ET)。

小区产量:成熟时,按每个小区实收计产。

耗水量 ET (mm) = 播前 2m 土壤贮水量 - 收获时 2m 土壤贮水量 + 生育期降水量。

作物水分利用效率 WUE ($\text{kg hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$) = 小麦籽粒产量/耗水量。

试验数据采用 SAS 软件进行处理。

2 结果分析

2.1 不同基因型冬小麦冠层温度的变化

小麦冠层温度高低既受外界环境变化影响,也与品种本身的遗传特性密切相关。小麦灌浆期冠层温度 CT 的测定结果表明(表 1) 23 个供试品种(系)之间、三次测定时期之间 CT 平均值存在明显差异(表 1、表 2)。在灌浆初期(5月15日)、灌浆中期(6月6日)和灌浆中后期(6月11日),所有品种(系)的 CT 平均值依次为 16.5、27.3 $^{\circ}\text{C}$ 和 31.7 $^{\circ}\text{C}$ 相应的变异系数为 4.3%、5.2% 和 6.3% ,最高温度与最低温度依次相差 2.6、4.8 和 8.0 $^{\circ}\text{C}$ 。说明随着小麦灌浆期的推后,冠层温度增加,这与灌浆初期到后期大气温度逐渐升高有关,也与品种本身对环境的反应有关。

23 个供试品种(系)之间 CT 值的差异有随灌浆过程的进行而增大的趋势,如灌浆初期品种(系)之间 CT 值差异不显著 ($P=0.067$),而在灌浆中期和中后期均达到了极显著水平 ($P<0.001$),反映出不同基因型之间冠层温度在灌浆后期高度分异的现象,这与品种之间对土壤水分利用和叶片蒸腾降温的显著差异有关。进一步说明,在环境条件基本一致的条件下,不同基因型之间 CT 值的这些差异可作为判别旱地小麦品种水分利用和对环境综合适应性的指标之一,正如本研究后面所述冠层温度与作物的水分利用密切相关。

基因型和测定时期及其交互作用的统计分析显示(表 2),冠层温度不但受小麦基因型 ($P<0.001$)、灌浆时期 ($P<0.001$) 的显著影响外,还受基因型与灌浆时期交互作用 ($P<0.001$) 的影响。说明品种之间冠层温度受环境条件的影响很大,特别是对大气温度的变化比较敏感。尽管如此,灌浆中期以后品种之间 CT 值的差异是十分明显的,这个时期可能是测定品种冠层温度的关键时期。

小麦灌浆不同时期之间冠层温度存在明显的相关性。灌浆初期(5月15日)与灌浆中期(6月6日)、灌浆中后期(6月11日)冠层温度的相关系数分别为 0.544***、0.588***,灌浆中期与灌浆中后期之间上升到 0.777***。这些明显的相关性清楚地表明,灌浆期间有些基因型的冬小麦冠层温度持续偏低,有些却始终较高,这与张嵩午^[7]关于小麦温型现象的报道一致。如 9840-0-3-2-1、9840-2-3-15、定鉴 3 号、陇育 215 等旱地冬小麦品种(系),灌浆期 CT 的三次测定值持续低于其它品种,这些品种水分利用效率较高,因为冠层温度一直偏低的品种,在水分胁迫条件下能够从土壤中吸收利用更多的水分,保持较高的蒸腾速率。灌浆中期与中后期之间 CT 的高度相关性进一步说明,灌浆中期或后期可以作为测定小麦品种冠层温度的适宜时期。

2.2 不同基因型冬小麦产量和水分利用效率的差异

同 CT 的变化相类似,不同基因型旱地冬小麦籽粒产量的差异达到显著水平 ($P<0.05$)。23 个冬小麦品种(系)产量平均为 4919.8 kg hm^{-2} ,最低 3541.8 kg hm^{-2} (沧核 038),最高 5935.7 kg hm^{-2} (9840-0-3-2-1),相差近 2400 kg hm^{-2} ,产量变异系数为 12.58%。与产量的变化相一致,品种之间水分利用效率的差异同样十分显著 ($P<0.05$),所有供试品种的 WUE 平均为 11.9 $\text{kg hm}^{-2}\text{mm}^{-1}$,新品系 9840-0-3-2-1 最高,为 14.4 $\text{kg hm}^{-2}\text{mm}^{-1}$,

表 1 不同基因型冬小麦的冠层温度、籽粒产量和水分利用效率

Table 1 Canopy temperature (°C), grain yield (kg hm⁻²), evapotranspiration (mm) and WUE (kg hm⁻² mm⁻¹) of dryland winter wheat

基因型 Genotype	冠层温度 Canopy temperature			产量 Grain yield	水分利用效率 WUE	耗水量 Evapotranspiration
	5 月 15 日 May 15	6 月 6 日 June 6	6 月 11 日 June 11			
陇育 215	16.0	27.4	30.5	5230.0	12.3	425.2
临旱 51241	16.7	27.5	33.8	4870.7	11.9	409.3
临旱 5406	17.5	28.5	32.3	4819.1	11.8	408.4
陇鉴 385	16.9	27.8	33.0	4145.3	10.2	406.4
长 6878	16.8	26.3	31.9	4801.4	11.8	406.9
定鉴 3 号	16.2	25.7	29.1	5675.1	13.3	426.7
陇原 034	17.0	28.0	33.8	4309.5	10.3	418.4
洛川 9709	16.8	27.7	32.9	4267.3	10.3	414.3
沧核 038	18.0	29.7	36.7	3541.8	8.7	407.1
晋农 318	16.7	26.0	32.3	4962.3	11.9	417.0
陇麦 977	16.3	26.6	31.3	4988.4	12.0	415.7
陇鉴 386	15.6	29.2	33.0	4524.3	11.0	411.3
陇原 031	17.5	27.7	33.0	4121.8	10.1	408.1
静 2000-10	17.0	29.0	34.0	4124.1	10.3	400.4
宁麦 5 号	17.0	28.1	33.2	5174.8	12.6	410.7
9840-0-3-3-1-3	16.5	26.2	29.1	5327.4	12.8	416.2
9840-0-3-2-1	14.3	24.9	29.6	5935.7	14.4	412.2
0052-1-3	16.3	28.0	32.3	4644.3	11.3	411.0
0052-17-2	14.9	26.2	30.9	5284.5	12.7	416.1
9840-0-3-1-6	16.9	26.3	29.0	5639.9	13.6	414.7
0052-1-4-1	16.8	27.3	29.9	5160.7	12.1	426.5
9840-2-3-15	15.0	27.0	28.7	5913.6	14.0	422.4
0052-1-6-1	16.3	26.0	29.3	5694.3	13.6	418.7
平均值 Mean	16.5A	27.3B	31.7C	4919.8	11.9	414.1
变异系数 (%) CV (%)	4.35	5.26	6.32	12.58	11.73	1.65

* 同一行标记不同字母表示差异显著水平 ($P < 0.001$) Means of canopy temperature showed significant difference ($P < 0.001$) as indicated by different letters

表 2 旱地冬小麦基因型和小麦灌浆时期对其冠层温度影响的方差分析

Table 2 ANOVA for genotypes and grain filling stages on canopy temperature of dryland winter wheat

变异来源 Source of variance	自由度 DF	平方和 SS	均方 MS	F-值 F-value	概率值 P P-value
综合分析 Two-way ANOVA					
基因型 Genotype (G)	22	671.54	30.52	5.24	<0.001
灌浆期 Grain filling stage (S)	2	2301.34	1150.67	197.7	<0.001
基因型灌浆期 G × S	44	256.09	5.82	4.19	<0.001
单因素分析 One-way ANOVA					
灌浆初期基因型 Genotype in early grain filling stage	22	120.48	5.477	1.687	0.067
灌浆中期基因型 Genotype in middle grain filling stage	22	97.837	4.447	42.266	<0.001
灌浆中后期基因型 Genotype in late grain filling stage	22	283.0	12.864	132.036	<0.001

品种沧核 038 最低 ,为 $8.7 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 。不同基因型冬小麦之间 WUE 的变异系数为 11.73% ,与籽粒产量的变化相吻合 , WUE 的高值与低值相差 $5.7 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ 。然而 ,不同品种之间田间耗水量的变化并未达到差异显著水平 ($P=0.231$) ,耗水量的变异系数仅 1.65% ,显著低于品种之间产量、 WUE 的变异。即在完全依靠自然降水的旱作农业区 ,同一地点在同一年份的降水数量不变 ,而品种之间的产量、 WUE 却显著不同 , WUE 与产量 (X) 之间有显著的线性回归关系 ($Y = 442.23WUE - 329.79$, $R^2 = 0.988^{***}$) , WUE 每增加 $1 \text{ kg hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$,产量提高 442.2 kg hm^{-2} ,这反映了不同基因型冬小麦在水分利用上的遗传差异。

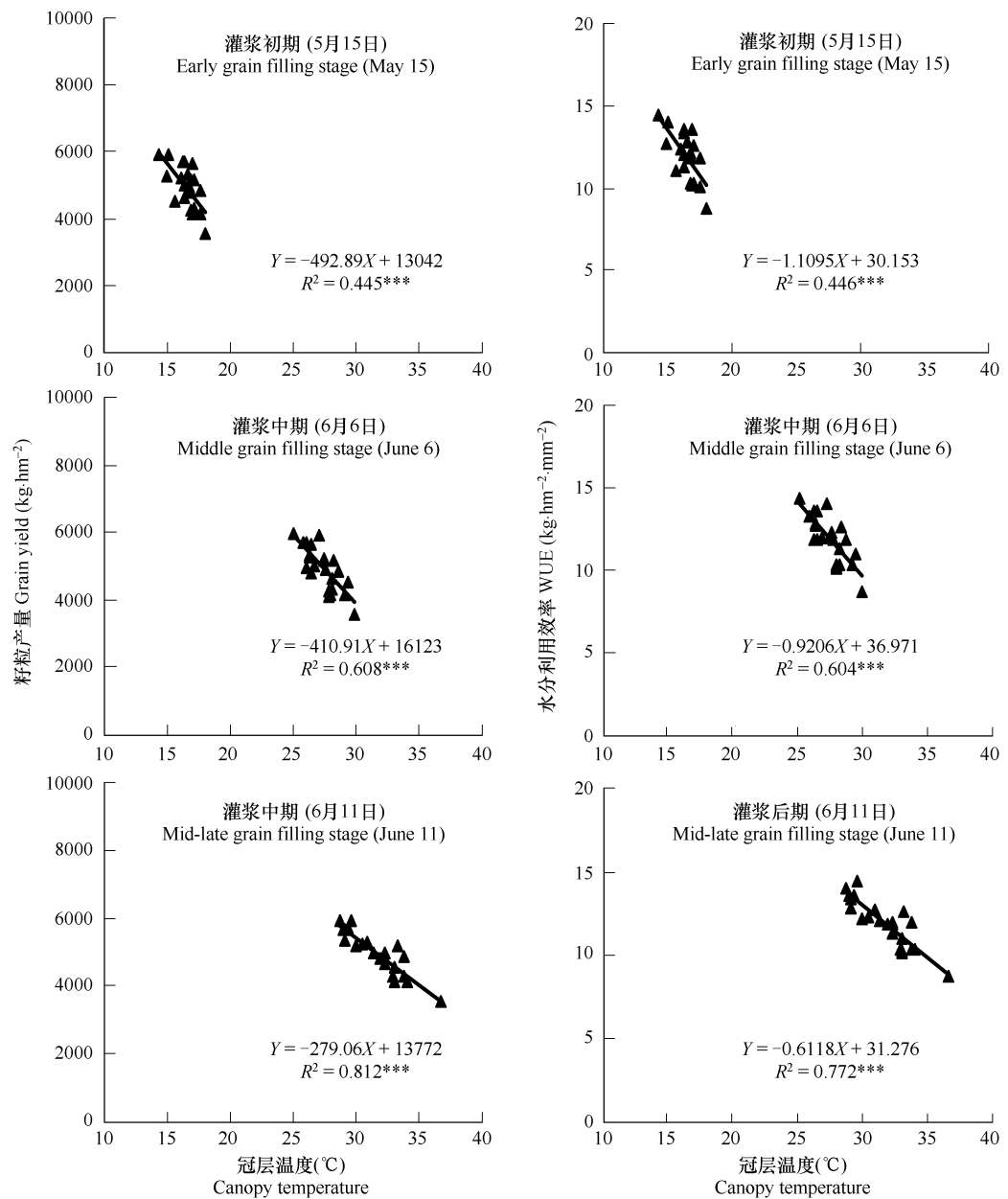


图 1 小麦灌浆期冠层温度与产量、水分利用效率的关系

Fig. 1 Regression of canopy temperature and grain yield or water use efficiency during different grain filling stages
*** 概率 $P < 0.001$ 水平上的差异显著性 Significant at the 0.001 probability level

2.3 不同基因型小麦冠层温度与产量和水分利用效率的关系

不同基因型小麦之间产量和水分利用效率的显著差异 ,可以反映在灌浆期间冠层温度的明显不同上。23 个旱地冬小麦品种 (系)的籽粒产量、 WUE 分别与灌浆初期、中期和中后期测定的 CT 值呈极显著的线型递减

关系(图1),随着冠层温度的增加,产量、*WUE*均相应降低。即冠层温度偏低的品种其产量和*WUE*高,而冠层温度偏高的品种其产量和*WUE*低。无论在小麦灌浆初期还是灌浆中期或后期,产量与*CT*的线型回归系数 R^2 在0.445~0.812之间,*WUE*与*CT*之间的 R^2 为0.446~0.772。随着灌浆期的推后,*CT*与产量、*WUE*的负相关性明显增强,灌浆中后期冠层温度较低品种(系)有利于缓解高温和干旱的不利影响,增大灌浆强度、延缓衰老,从而提高产量。

在相同栽培条件下,低冠层温度品种较高冠层温度品种能够保持较强的蒸腾速率,更好的利用有限的土壤水分,抗旱性强。如新品系0052-1-6-1、9840-0-3-3-1-3、9840-2-3-15、9840-0-3-1-6、9840-0-3-2-1灌浆中后期的冠层温度*CT*在28.7~29.6℃之间,比23个供试品种(系)的平均*CT*值31.7℃低2~3℃,*WUE*值12.8~14.4 kg hm⁻²mm⁻¹,较所有供试品种的平均值11.9 kg hm⁻²mm⁻¹提高7%~21%。而同期冠层温度偏高的沧核038,*CT*值为36.7℃,*WUE*仅8.7 kg hm⁻²mm⁻¹,比上述低温品种的*WUE*降低32%~60%。

到灌浆中后期,小麦产量、*WUE*与*CT*的回归系数达到最大,冠层温度每升高1℃,小麦产量降低近280 kg hm⁻²,*WUE*下降约0.6 kg hm⁻²mm⁻¹。因此,灌浆中后期的冠层温度可作为筛选不同基因型小麦抗旱、高效用水和产量高低的重要指标,在田间应用。

3 结论与讨论

冠层温度的变化可以反映作物受水分胁迫的程度,这已为许多国内外研究所证实,并应用到抗旱、抗热基因型作物的筛选中。国际小麦玉米改良中心(CIMMYT)^[4]将冠层温度和冠气温差作为选择小麦抗热性的重要指标。张嵩午等^[7]深入研究并讨论了小麦的温度型问题及冠层温度对小麦灌浆和衰老的影响。但前人的研究主要多集中在不同基因型小麦冠层温度差异的比较,将冠层温度与产量、水分利用效率结合起来的研究较少。本研究选择了来自国家北方旱地冬麦区域试验的23个品种(系),研究了灌浆期冠层温度与产量、水分利用效率的关系。

研究结果表明:(1)同一环境下,小麦不同基因型之间冠层温度存在着高度的分异现象,其差异在灌浆中期和中后期达到了最大,这与不同基因型对土壤水分利用和叶片蒸腾降温的显著差异有关。本研究中,尽管小麦品种(系)之间耗水量变异系数较小,但不同基因型小麦田间耗水量与灌浆中期、中后期冠层温度呈显著的负相关性,相关系数依次为-0.474**、-0.667***,这与理论上冠层温度越低,耗水越多的结论一致;耗水量与水分利用效率、籽粒产量显著正相关,相关系数依次为0.613***、0.524***,这与旱作地区土壤水分有限和作物耗水一直在理论需水量以下有关,只要增加少量供水或既是作物耗水量增加不多,产量、水分利用效率也明显提高。相对而言,冠层温度较低品种要消耗更多的土壤水分来提高产量,但耗水增加的幅度显著低于产量增加的幅度,结果水分的利用效率大幅度提高,这是旱地农业生产所需要的。(2)小麦灌浆期冠层温度与籽粒产量、水分利用效率的显著负相关性,证明冠层温度偏低的小麦品种具有高产和高效用水性能,可作为筛选高产节水品种的重要指标,为育种工作者提供更为可靠直观的参考。张嵩午等研究表明,小麦冠层温度与一系列生物学性状呈显著负相关,优良的生物学性状和较低的冠层温度相联系,本研究灌浆中期、中后期冠层温度同千粒重成显著的负相关,相关系数依次为-0.445**、-0.568***,随着冠层温度降低千粒重升高,由此推测在灌浆后期,冠层温度低的品种有利于缓解高温和干热风的不利影响,增大灌浆强度,延缓衰老,从而提高千粒重。(3)尽管小麦冠层温度受基因型和周围环境条件的共同影响,但灌浆中期、中后期小麦品种之间的冠层温度均差异极显著,并且这两个时期之间测定的冠层温度高度正相关,即灌浆期间有些基因型冬小麦冠层温度持续偏低,有些却始终较高,这些品种表现出高水分利用效率和高产量,这与张嵩午和王长发^[5]根据灌浆结实期冠层温度特征将小麦分为冷型和暖型的结论一致。随着小麦灌浆期的推后,冠层温度与产量、水分利用效率的负相关性明显增强,说明灌浆中后期测定的冠层温度在评价小麦产量和水分利用效率上具有较高的可靠性。

References :

[1] Zhang Z B. Fundamentals of physiology and genetics and breeding in crop drought resistance and water saving. Beijing : Science Press ,2003.

[2] Fan T L ,Maria B ,Jackie R and William A P. Canopy Temperature Depression Potential Criterion for Drought Resistance in Wheat. Agricultural Sciences in China ,2005 ,4 , (10) :793 — 800.

[3] Cheng W D ,Zhao G P ,Yao H Y , *et al.* Application of canopy temperature in screening of rice genotypes with resistance to drought. Chinese Bulletin of Botany ,2001 ,18 (1) :70 — 75.

[4] Reynolds M P ,Nagarajan S ,Razzaque M A , *et al.* Using canopy temperature depression to select for yield potential of wheat in heat stressed environment. Mexico , D F (Mexico) ,CIMMYT ,1997 ,51.

[5] Wang C F ,Zhang S W. Studies on Apparent of Cold Type Wheat. Acta Agriculture Brealioccidentalis Sinica ,2001 ,10 (1) :79 — 83.

[6] Zhu Y J ,Li X Y ,Guo T C. Study on connection between Wheat Canopy Temperature and Yield in filling stage. Henan Science ,2004 22 (6) :798 — 801.

[7] Zhang S W. Study on warm type wheat. Chinese Journal of Applied Ecology ,1997 ,8 (5) :471 — 474.

参考文献：

[1] 张正斌. 作物抗旱节水的生理遗传育种基础. 北京 科学出版社 ,2003.

[3] 程旺大 ,赵国平 ,姚海根 ,等. 冠层温度在水稻抗旱性基因筛选中的应用及其测定技术. 植物学通报 ,2001 ,18 (1) :70 ~ 75.

[5] 王长发 ,张嵩午. 冷型小麦表观性状研究. 西北农业学报 ,2001 ,10 (1) :79 ~ 83.

[6] 朱云集 ,李向阳 ,郭天财. 小麦灌浆期间冠层温度与产量关系研究. 河南科学 ,2004 ,22 (6) :798 ~ 801.

[7] 张嵩午. 小麦温型现象研究. 应用生态学报 ,1997 ,8 (5) :471 ~ 474.