

DOI: 10.5846/stxb201712212292

梅旭荣, 黄桂荣, 严昌荣, 刘晓英, 张欣莹, 王雅静, 顾峰雪, 郭瑞, 钟秀丽. 水分亏缺条件下冬小麦近等基因系冠气温差与群体总耗水量的关系. 生态学报, 2019, 39(1): - .

Mei X R, Huang G R, Yan C R, Liu X Y, Zhang X Y, Wang Y J, Gu F X, Guo R, Zhong X L. Canopy-air temperature difference of winter wheat near-isogenic lines and its relationship with total water consumption by winter wheat grown under water deficit conditions. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): - .

水分亏缺条件下冬小麦近等基因系冠气温差与群体总耗水量的关系

梅旭荣*, 黄桂荣, 严昌荣, 刘晓英, 张欣莹, 王雅静, 顾峰雪, 郭瑞, 钟秀丽

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 国家作物高效用水与抗灾减损工程实验室/农业部旱作节水农业重点开放实验室, 北京 100081

摘要: 研究品种之间群体耗水特性的差异及其关键影响因素, 为品种耗水特性评价与低耗水品种鉴定方法提供依据。选用水分亏缺条件下产量差异不显著, 但耗水量差异极显著的冬小麦品种晋麦 47 和京 411 及其 15 个近等基因系为实验材料。利用防雨池和防雨棚开展实验, 模拟水分亏缺条件。监测全生育期土壤水分含量, 计算总耗水量, 收获后测定籽粒产量, 计算水分利用效率(WUE)。同时, 分别在拔节—孕穗期、抽穗—开花期和灌浆期 3 个不同生育期监测冠层—大气温差值(CTD)、叶片蒸腾速率和气孔导度。结果表明, 3 个不同生育期, 15 个近等基因系及其亲本之间, CTD 均达到显著差异。CTD 的方差分析表明, 基因型和年份均对不同生育期的 CTD 有显著影响, 但是二者之间仅在抽穗—开花期存在互作($P=0.0002$)。15 个近等基因系及其亲本之间耗水量存在显著差异, 产量没有显著差异。源于耗水量的差异, 部分品种/系之间 WUE 达显著差异。3 个不同生育期, 15 个近等基因系及其亲本之间, CTD 与总耗水量均呈极显著负相关关系。抽穗—开花期最高, 2012—2013 年度和 2016—2017 年度分别达到 0.7042 和 0.6095。叶片蒸腾速率和气孔导度与群体总耗水量之间相关性很弱, 3 个生育期均未达到显著水平。对该组近等基因系材料, 影响群体总耗水量的关键因素不是叶片蒸腾生理特性, 而是群体冠层生长特性。表明构建合理的群体冠层结构不仅是获得高产的途径, 而且是调控群体总耗水量, 提高品种水分利用效率的重要途径。

关键词: 近等基因系; 耗水量; 冠气温差; 叶片蒸腾速率

Canopy-air temperature difference of winter wheat near-isogenic lines and its relationship with total water consumption by winter wheat grown under water deficit conditions

MEI Xurong*, HUANG Guirong, YAN Changrong, LIU Xiaoying, ZHANG Xinying, WANG Yajing, GU Fengxue, GUO Rui, ZHONG Xiuli

Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences/State Engineering Laboratory of Efficient Water Use and Disaster Mitigation for Crops/Key Laboratory for Dryland Agriculture of Ministry of Agriculture, Beijing 100081

Abstract: This study explored the key factors that lead to differences in water consumption among different populations with different genotypes, to evaluate genotype-specific water consumption traits and select ideal varieties with low water requirements. Fifteen near-isogenic lines (NILs), along with their donor parent Jing 411 and recurrent parent Jinmai 47, were used as materials in this experiment. The materials tested have significantly different water consumptions, but there are

基金项目: 国家“十二五”“863”计划课题(2011AA100501)

收稿日期: 2017-12-22; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: meixurong@caas.cn

no significant differences in their yields under water deficit conditions. Automatic rain-shelter and rain-proof pools that can prevent water seepage were used for the simulated water deficit treatment. The soil water content of all the genotypes were monitored over the whole experimental period and the total water consumption was calculated using the water balance equation. Grain yield was measured after harvest and then the water use efficiency (WUE) was calculated. The canopy-air temperature difference (CTD), leaf transpiration rate, and stomatal conductance were also monitored at the jointing-booting, heading-flowering, and grain-filling stages. The results indicated that the 15 NILs, along with their parents, had significantly different CTDs during all three growth periods. Analysis of variance for the CTD differences indicated that genotype, and growth and development year significantly affected CTD, but there was an interaction between the two factors only at the heading-flowering stage ($P = 0.0002$). There were significant differences in water consumption among the 15 NILs and their parents. However, there were no significant differences in yield. The differences in water assumption meant that there were significant differences in WUE among some genotypes. The CTDs at all three growth and development stages negatively correlated with water consumption. The R^2 value was the highest at the heading-flowering stage, and was 0.7042 and 0.6095 during 2012—2013 and 2016—2017, respectively. The correlations between leaf transpiration rate, and stomatal conductance and water consumption were very weak among the 15 NILs and their parents. The correlations were not significant for any of the three growth and development stages. The results for the near-isogenic lines tentatively indicate that under water deficit conditions, the canopy structure traits, rather than leaf gas exchange properties such as leaf transpiration rate and stomatal conductance, significantly affect population-specific water consumption. The results also show that establishing a suitable population canopy structure increases yields and can control water consumption, which leads to an improvement in WUE.

Key Words: near-isogenic lines (NILs); water consumption amount; canopy-air temperature difference (CTD); leaf transpiration rate

在水资源危机,干旱化趋势不断加剧,以及由此引发的环境问题日趋严峻的背景下,选用高产甚至中等产量的低耗水品种,无疑是有效减少灌溉水量,缓解水资源短缺对农业生产影响的重要途径。研究品种之间耗水特性的差异及其关键影响因素,是找到品种耗水特性评价与节水品种鉴定方法的突破口。

已有大量研究从叶片与个体水平揭示不同品种间蒸腾耗水特性的差异与机理^[1-2]。然而,群体水平的总耗水量受整个生育期内包括品种蒸腾生理特性等诸多因素的影响。因此,研究品种群体水平全生育期耗水量的差异及关键影响因素,对于品种耗水特性评价以及节水品种鉴定方法更有意义。群体水平的蒸腾与蒸发量不仅决定于空气动力学阻力和气孔阻力,还在很大程度上受控于冠层阻力^[3-4]。群体内部因植株密度、高度、茎叶形状、数量和分布不同形成特定的冠层结构^[5-6]。冠层结构作为植物的受光结构,不仅影响光的截获,还影响冠层与大气之间水热的垂直交换过程,从而影响冠层内部温度与湿度,并限制群体的蒸发与蒸腾耗水^[7-9]。

冠气温差(Canopy-air temperature difference, CTD)即作物群体的茎、叶表层温度的平均值与周围大气之间的温度差值,反应植株内部生理代谢功能和冠层结构特性,受品种特性、冠层阻力、土壤水分条件、及饱和水蒸气压、大气温湿度、净辐射等环境因素的影响^[10-12]。张嵩午等^[13-14]最早关注冠层温度,并根据冠层温度将小麦品种分为冷型、暖型和中间型3种类型。大量研究发现品种间冠层温度的差异与经济产量^[15-18]和抗旱性^[19-21]密切相关。目前,冠层温度已被认定为品种抗旱性与产量潜力评价的重要依据。在大气因子与土壤水分条件相同的情况下,品种间CTD与群体总耗水量的差异均受控于品种特性与冠层特性,那么二者之间的关系如何,至今未见报道。

本研究选用一组近等基因系材料,其亲本品种晋麦47和京411,是从大量冬小麦品种中筛选出的CTD具极显著差异的材料。而且,在水分亏缺及灌溉条件下,两个亲本之间产量均没有显著差异,而耗水量达到极显

著差异。它们产生的近等基因系因而是研究群体耗水量差异与机理的理想材料。本研究利用这组近等基因系,在水分亏缺条件下,设定种植密度与其他栽培措施一致,探讨群体冠层特性相关指标 CTD 及品种生理特性指标叶片蒸腾速率和气孔导度与群体耗水量的关系,旨在为探讨冬小麦材料耗水特性评价指标与低耗水品种的筛选方法提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及设计

供试材料为中国农业科学院作物科学研究所景蕊莲提供的冬小麦品种晋麦 47、京 411 及其近等基因系 15 个。供体亲本为京 411,轮回亲本为晋麦 47,回交至 BC3F4。

试验于河北省农林科学院衡水旱作节水农业试验站(37°54'N,115°42'E)进行。衡水试验站地处黄淮平原黑龙港地区,年平均气温 13.0℃,无霜期 206 d。2012 年 10 月至 2013 年 6 月,生育期内平均气温为 8.06℃。全年自然降水总量为 491 mm,主要集中在 6—8 月,占全年总降水量的 74%,生育期内降水量仅为 177.9 mm。年日照时数 2043 小时。2016 年 10 月到 2017 年 6 月,生育期内平均气温为 11.9℃。全年自然降水总量约为 537 mm,主要集中在 6—8 月,占全年总降水量的 75%以上,生育期内降水量仅为 125.2 mm。年日照时数 2294 小时。

试验条件设定为水分亏缺条件。用带有半自动防雨棚的防雨池开展,防雨池面积为 3 m×2.2 m,池深 3 m,土层深 2 m,土壤类型为潮土质,下层 1 m 是粗砂渗滤层。在播种前灌底墒水,灌溉量以 60 mm 为标准,根据土钻法测定的土壤含水率调整实际灌量,使每个小区土壤含水量一致。各小区随机设计,3 次重复。于 2012 年 10 月 20 日播种,2013 年 6 月 5 日收获。2016 年 10 月 15 日播种,2017 年 6 月 7 日收获。行距 20 cm,播种密度为 3.3×10^6 株/hm²。两个年度分别在干旱严重的拔节初期即 2012 年 4 月 5 日和 2016 年 4 月 6 日补充灌溉一次,根据每个小区监测的土壤含水率计算灌溉量,使得每个小区的土壤含水量能达到田间持水量的 65%。除水分管理外,其他均为常规管理措施。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 冠层温度和空气温度测定

采用手持式德产 testo 845 红外测温仪,在冬小麦的拔节-孕穗期、抽穗-开花期和灌浆期,分别选择 2013 年 4 月 17 日、5 月 3 日和 5 月 22 日,2017 年 4 月 15 日、5 月 2 日和 5 月 23 日,3 个晴朗无风的天气,于 13:00—15:00 进行测量。为消除太阳方位角和种植方向对观测值的影响,测定时仪器探棒沿小区种植走向,在小麦冠层上方垂直距离 15—20 cm,仪器与作物冠层呈 30°夹角,测定生长一致、有代表性的部位,避免红外线照射裸露地面,直接读出冠层温度值和空气温度值。每小区测 3 次,取平均值作为该次测定的冠层温度值和空气温度值,计算二者差值,即为冠气温差 CTD。

1.2.2 叶片蒸腾速率和气孔导度的测定

选取受光方向和生长状况一致的叶片 3 片,采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用测定仪,分别于 2013 年 4 月 15 日、5 月 1 日和 5 月 20 日和 2017 年 4 月 13 日、4 月 30 日和 5 月 18 日 9:00—11:00 测定叶片蒸腾速率与气孔导度。

1.2.3 土壤水分监测与耗水量测定

在播种前和收获后用土钻取土法测定土壤含水率。冬小麦返青后每隔 10 d 采用 TRIME 时域反射仪监测土壤体积含水率,测深 160 cm,20 cm 一个层次。因为有防雨棚不受自然降水的影响,生育期耗水量(ET)=灌水量+播种时土壤含水量-收获时土壤含水量-池底渗水量。本研究实验条件下,池底渗水量均为 0。

1.2.4 产量测定和水分利用效率计算

成熟后,对 3 m×2.2 m 小区采取人工镰割方式收获,装于网袋,自然晒干后人工脱粒称重,折算每公顷产

量(Y)。水分利用效率 $WUE = \text{供试品种籽粒产量}(Y) / \text{供试品种耗水量}(ET)$ 。

1.2.5 数据处理

应用 SAS(Statistical Analysis System) 9.0 软件进行 CTD 方差分析和材料之间各种性状的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 土壤水分的变化动态

实验于自动防雨棚和防雨水分栽培池中开展,因而没有自然降水,只在播种前灌底墒水,在干旱严重的拔节初期补充灌溉一次。由图 1 可见,2012—2013 年度和 2016—2017 年度栽培池不同深度土壤水分动态变化趋势非常相近,从播种前到收获之日土壤体积含水率一直处于下降状态,4 月中旬出现一个小高峰,是因为 4 月初补灌的结果。播种前各层土壤体积含水率 2012—2013 年度为 31.4%—35.2%,2016—2017 年度为 28.3%—33.1%。收获时各层土壤体积含水率 2012—2013 年度为 13.3%—23.0%,2016—2017 年度为 12.0%—20.7%。不同土层土壤水分下降速度不同,0—20 cm 土层下降最快,因而下降幅度最大,生育期内土壤含水率明显低于下面土层。

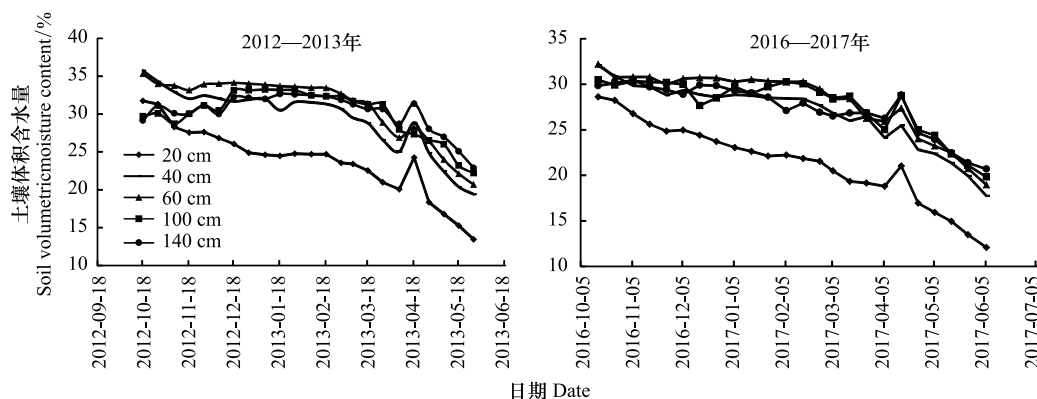


图 1 不同深度土层土壤体积含水率的变化

Fig.1 Variation in soil volumetric moisture of different soil depth

2.2 不同冬小麦近等基因系 CTD 的差异

2012—2013 年度,拔节—孕穗期、抽穗—开花期和灌浆期 3 个不同生育期,15 个近等基因系及其亲本的 CTD 平均值分别为 7.5、6.19、5.68℃。2016—2017 年度,3 个生育期的 CTD 平均值分别为 9.25、5.9、4.77℃。两个年度 CTD 的变化趋势一致,均是随着发育进程推进,虽然气温逐渐上升,但是冠层与周围大气之间的差值 CTD 是降低的趋势(表 1)。3 个生育期部分近等基因系及其亲本之间 CTD 存在显著差异,供体亲本京 411 最低,而晋麦 47 最高。从 CTD 最高的拔节—孕穗期来看,2012—2013 年度,CTD 最低的一组材料为京 411、907990 和 908054,CTD 最高的一组材料为晋麦 47、908188、908106、908120 和 907984。2016—2017 年度的结果与 2012—2013 年度的结果趋势非常相近,只是略有差异。拔节—孕穗期,京 411 的 CTD 与 907990 和 908054 虽有显著差异,但三者均排在后三位,所以总体趋势没有差别。

CTD 的方差分析表明,基因型和重复均对 CTD 有显著影响,但是二者之间只有在抽穗—开花期存在互作 ($P=0.0002$),而在拔节—孕穗期和灌浆期均没有互作(表 2)。随着发育进程推进,基因型对 CTD 的影响减弱,拔节—孕穗期,品种/系之间 CTD 差异达到极显著水平,而抽穗—开花期和灌浆期,基因型之间差异减小,但均达到极显著水平。

2.3 不同冬小麦近等基因系总耗水量的差异

水分亏缺条件下,15 个近等基因系及其亲本京 411 和晋麦 47 之间耗水量存在显著差异(表 3)。2012—

2013 年度,京 411 与 908240、907986、908092 和 908054 的耗水量为最高一组,显著高于晋麦 47,另外 11 个系与晋麦 47 没有显著差异。晋麦 47 与 908188、90274、908120、908106、908216、907988、908176 和 908174 的耗水量为最低一组,显著低于京 411,另外 7 个系与京 411 没有显著差异。2016—2017 年度,耗水量最高的一组为京 411、908092 和 908054,耗水量最低的一组为晋麦 47、908188、90274 和 908174。两个年度的实验结果趋势相近。

表 1 冬小麦近等基因系及其亲本的冠气温差

Table 1 Canopy-air temperature difference of 15 near isogenic lines along with their parents

15 个近等基因系及其亲本 15 NILs along with their parents	冠气温差 CTD Canopy-air temperature differences/℃					
	拔节-孕穗期		抽穗-开花期		灌浆期	
	2012—2013	2016—2017	2012—2013	2016—2017	2012—2013	2016—2017
908216	7.40±0.32cde	6.16±1.22fgh	6.32±0.78abcd	5.83±1.12def	5.35±1.14abcd	4.13±0.54jk
908240	7.13±0.78cdef	5.87±1.03cde	6.03±0.55bcd	5.55±1.01fgh	5.83±1.04abc	4.90±0.57efg
907986	7.20±0.91cdef	5.93±0.75def	6.04±0.81bcd	5.59±0.79fgh	5.82±0.44abc	4.75±0.50fg
908092	7.39±0.26cde	6.00±0.74efg	6.30±0.75abcd	5.76±0.77ef	6.13±0.34ab	5.26±0.46cde
908106	8.03±0.66abc	6.90±0.85mn	6.50±0.50abc	6.18±0.95bc	5.53±0.06abc	4.33±0.93hij
908174	7.67±0.21abcd	6.49±0.77ijk	6.36±0.24abcd	6.12±0.87cd	6.09±0.90ab	5.15±0.73de
908054	6.50±0.10ef	5.26±0.85b	5.27±0.73de	5.36±0.83h	4.65±0.09cd	3.62±0.33l
907990	6.90±0.26def	5.40±0.81c	6.23±0.85abcd	5.73±0.93fg	5.39±0.67abcd	4.25±0.24ij
907984	8.00±0.40abc	6.82±0.82lm	5.42±0.29cde	5.43±0.92gh	5.53±1.27abc	4.57±0.64ghi
京 411	6.37±0.40f	5.11±0.94a	4.73±1.15e	5.00±0.76i	4.27±0.41d	3.54±0.78l
晋麦 47	8.57±0.62a	7.50±0.98o	7.20±0.74a	6.80±1.00a	6.44±0.89a	6.14±0.47a
907988	7.73±0.65abcd	6.60±1.16jk	6.54±0.56ab	6.29±0.84bc	6.21±0.67ab	5.49±0.50bcd
908120	7.97±0.55abc	6.73±0.71kl	6.57±0.23ab	6.33±0.90bc	5.23±0.59bcd	3.80±1.02kl
908126	7.10±0.62cdef	5.62±0.99cd	6.20±0.20abcd	5.62±0.35fgh	5.79±0.68abc	4.68±0.27fgh
908176	7.40±0.80cde	6.23±0.93ghi	6.53±0.98ab	6.22±0.51bc	6.24±0.86ab	5.63±0.75bc
908188	8.47±0.29ab	7.20±1.21no	6.60±0.78ab	6.46±0.75b	6.30±0.59ab	5.86±0.70ab
908274	7.60±0.87bcd	6.36±0.82hij	6.33±0.21abcd	6.06±0.88cde	5.83±0.28abc	5.04±0.3eg
平均值 Mean	7.5	6.25	6.19	5.90	5.68	4.77
变异系数/% CV%	6.8	14.7	9.8	14.1	11.0	12.0

同一列标记不同字母的数值表示在 $P<0.05$ 水平上有显著差异

表 2 冠气温差的方差分析

Table 2 Analysis of variance in canopy-air temperature difference (CTD)

变异来源 Source of variation	生育期 Growth period	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of squares	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
基因型 Genotype	拔节-孕穗期	16	39.6891706	2.48057316	29.02 **	<0.0001
	抽穗-开花期	16	22.3410706	1.39631691	19.76 **	<0.0001
	灌浆期	16	36.0113294	2.25070809	4.85 **	<0.0001
重复 Repeat	拔节-孕穗期	1	39.84375	39.84375	466.12 **	<0.0001
	抽穗-开花期	1	2.06696471	2.06696471	29.25 **	<0.0001
	灌浆期	1	21.1711853	21.1711853	45.65 **	<0.0001
基因型×重复 Genotype × Repeat	拔节-孕穗期	16	0.3207	0.02004375	0.23	0.9989
	抽穗-开花期	16	3.91803529	0.24487721	3.46 **	0.0002
	灌浆期	16	8.95436471	0.55964779	1.21	0.2869
误差 Error	拔节-孕穗期	66	5.6416471	0.0854795		
	抽穗-开花期	66	4.66445294	0.07067353		
	灌浆期	66	30.6101	0.46378939		

** 在 $P<0.01$ 水平上有极显著差异

与耗水量的情况不同,15 个近等基因系及其亲本之间产量没有显著差异。主要源于耗水量的差异,品种/系之间 WUE 差异较大。2012—2013 年度,参试冬小麦品系 WUE 分布在 1.449—1.82 kg/m³ 范围内,平均值为 1.64 kg/m³。907986 最低,908274 最高。亲本京 411 和晋麦 47 分别为 1.52 kg/m³ 和 1.68 kg/m³,二者之间达到显著差异。2016—2017 年度,参试冬小麦品系 WUE 分布在 1.554—1.857 kg/m³ 范围内,平均值为 1.712 kg/m³。907986 最低,908274 最高。亲本京 411 和晋麦 47 分别为 1.593 kg/m³ 和 1.742 kg/m³,二者之间达到显著差异。

表 3 冬小麦近等基因系及其亲本的产量、耗水量与水分利用效率

Table 3 Water consumed, yield and water use efficiency of 15 near isogenic lines along with their parents

15 个近等基因系及其亲本 15 NILs along with their parents	籽粒产量/(kg/hm ²) Grain yield		耗水量/(m ³ /hm ²) Water consumption		水分利用效率/(kg/m ³) Water use efficiency	
	2012—2013	2016—2017	2012—2013	2016—2017	2012—2013	2016—2017
908216	5238.8a	5122.0a	3147bcdef	2964ef	1.665abc	1.729cde
908240	5288.0a	4984.6a	3316abcde	3075bcd	1.595bcde	1.621fgh
907986	4870.9a	4816.1a	3371abc	3108abc	1.449e	1.554h
908092	5611.9a	5342.8a	3345abcd	3094bc	1.673abc	1.728cde
908106	5111.9a	4865.8a	3127bcdef	2946efg	1.639bcd	1.648efg
908174	4806.1a	4607.0a	2982ef	2789ij	1.608bcde	1.65efg
908054	5719.0a	5521.4a	3393ab	3127ab	1.685abc	1.767bcd
907990	5381.3a	5302.4a	3196abcdef	3020cde	1.682abc	1.756bcd
907984	4927.9a	4804.3a	3286abcdef	3041bcde	1.494de	1.58gh
京 411	5350.2a	5080.8a	3509a	3194a	1.522de	1.593gh
晋麦 47	4953.8a	4815.3a	2946f	2765j	1.675abc	1.742bcd
907988	5171.5a	5162.8a	3049bcdef	2898fg	1.695ab	1.778abcd
908120	5295.8a	5249.8a	3071bcdef	2892fgh	1.723ab	1.816ab
908126	5428.0a	5358.3a	3187abcdef	2985def	1.703ab	1.798abc
908176	5107.5a	5104.4a	3032cdef	2865ghi	1.685abc	1.784abcd
908188	4899.4a	4757.2a	2967ef	2796hij	1.649bcd	1.703def
908274	5504.8a	5292.9a	3018def	2852ghij	1.82a	1.857a
平均值 Mean	5215.7a	5069.9a	3173	2965	1.640	1.712
变异系数 CV/%	10.0	8.3	6.0	10.0	6.0	5.3

2.4 不同近等基因系及亲本的 CTD 与群体总耗水量的关系

拔节-孕穗期、抽穗-开花期和灌浆期测定的 CTD 与群体总耗水量均呈极显著负相关关系(图 2),随着 CTD 增大,群体总耗水量减小。即在特定的生育期测定的 CTD 大的品种,群体总耗水量小;而 CTD 小的品种,群体总耗水量大。这种负相关关系在几个极端的品种/系中更加明显,相关性最强的抽穗—开花期,从两个年度的实验结果均可以看出,CTD 最小的材料京 411 和 908054,总耗水量均在最高一组,而 CTD 最高的材料晋麦 47 和 908188,总耗水量均在最低一组。

CTD 与总耗水量的相关性在拔节-孕穗期和抽穗-开花期相对较高,而在灌浆期则明显下降,2012—2013 年度 R^2 为 0.4556,2016—2017 年度 R^2 为 0.5424 但是依然达到显著水平。 R^2 最高峰出现在抽穗—开花期,两个年度分别为 0.7042 和 0.6095,均达到极显著水平。从这两个年度的实验结果看,CTD 每升高 0.1℃,总耗水量分别下降近 25 m³/hm² 和 29 m³/hm²。

2.5 不同近等基因系与亲本的叶片蒸腾速率和气孔导度与群体总耗水量的关系

2012—2013 年度和 2016—2017 年度的实验结果均表明,叶片气孔导度和蒸腾速率与群体总耗水量之间相关性很弱,两个年度均是拔节-孕穗期最高, R^2 分别为 0.1477 和 0.2583,3 个生育期均未达到显著水平(图

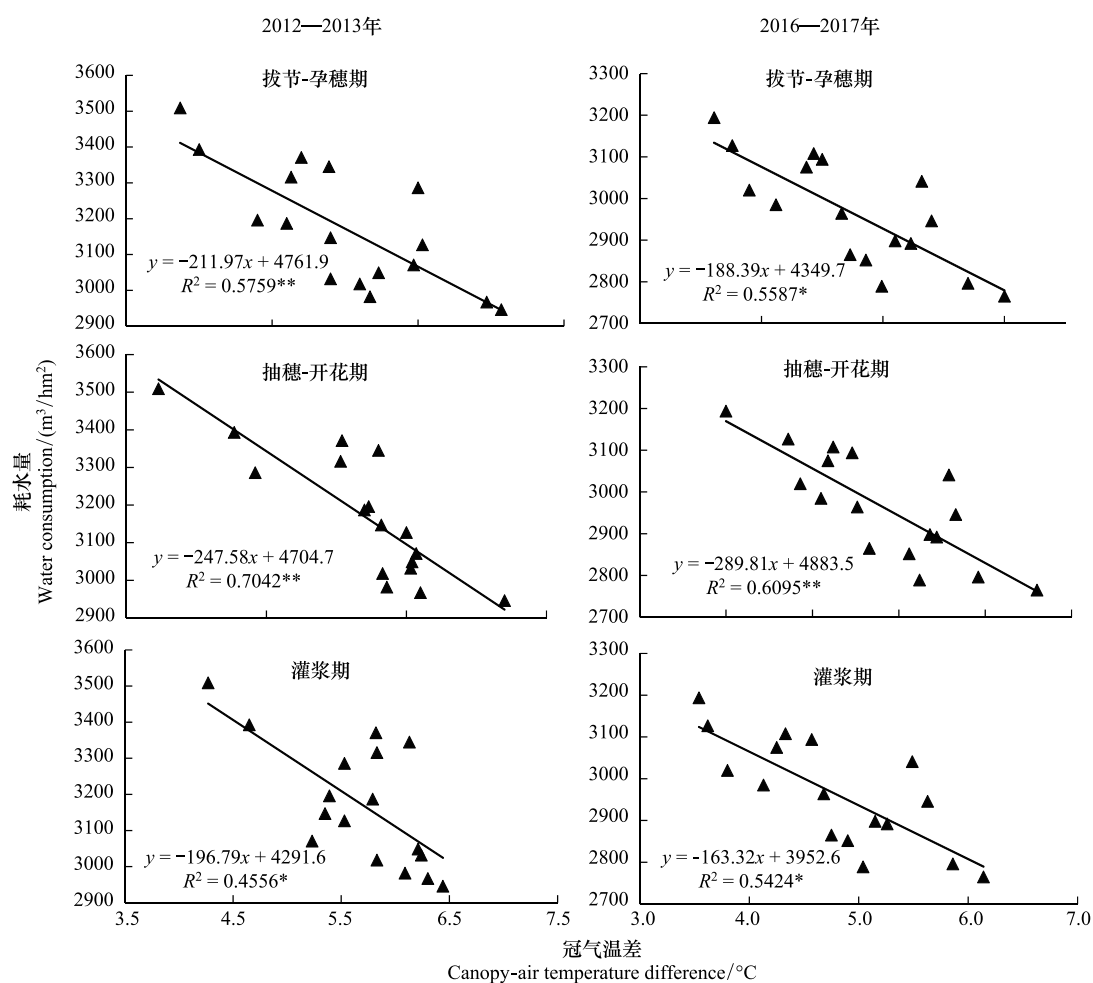


图2 冬小麦冠气温差与耗水量的关系

Fig.2 The relationships between CTD and amount of water consumed

3、4)。由此看来,如同干旱条件下叶片水平的光合速率与群体产量的相关性较小一样,叶片水平的蒸腾速率和气孔导度与群体总耗水量也不存在显著的相关性。这一结果表明,在水分亏缺条件下,该组近等基因系材料,叶片蒸腾速率和气孔导度不是影响群体总耗水量的关键因素。

3 讨论

一直以来,相同水分条件下品种间产量差异及其影响因素的研究备受关注,而产量相近的品种间耗水量的差异与其影响因素的研究却鲜有报道,而这正是探索节水品种鉴定方法的另一条重要途径。群体总耗水量受大气中饱和水汽压差、温度、风速、日照等气象因子、土壤水分条件、植物蒸腾特性及冠层结构特性等多种因素的影响^[7-8,10]。在气象因素、土壤水分条件与种植密度相同的情况下,品种之间总耗水量差异的关键影响因素研究显然应该从品种自身生理特性与群体结构特性方面着手。本研究选用以晋麦47与京411为亲本的一组遗传背景相近的近等基因系为材料。其特点是产量差异不显著而群体总耗水量和CTD差异显著,这使我们得以从众多因子中单独分离出CTD,研究其对群体总耗水量的影响。结果首次揭示出CTD对群体总耗水量有重要影响,二者之间存在极显著负相关关系。另一方面,叶片蒸腾速率和气孔导度两项与耗水特性相关的重要生理指标与群体总水量相关性并不显著。作物冠层温度是由土壤-植物-大气连续体内的热量和水汽通量所决定,CTD是群体冠层结构特性相关的重要指标。本研究证明构建合理的群体冠层结构不仅是获得高产的途径,而且是调控群体总耗水量,提高品种水分利用效率的重要途径。

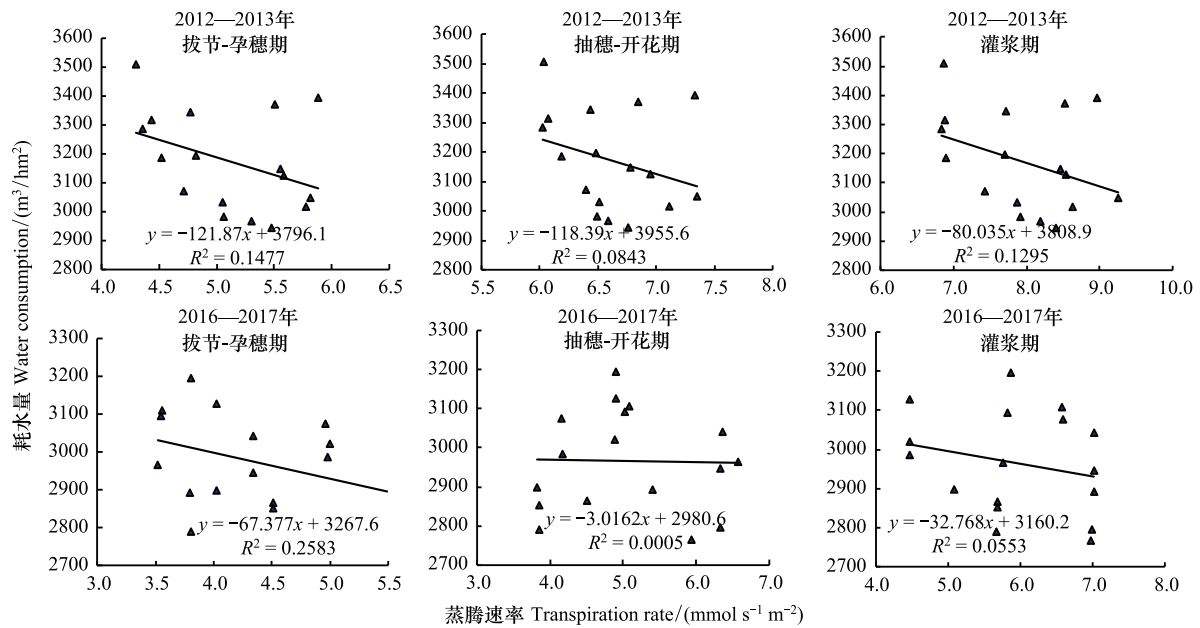


图3 冬小麦叶片蒸腾速率与总耗水量的关系

Fig.3 The relationships between leaf transpiration rate and amount of water consumed

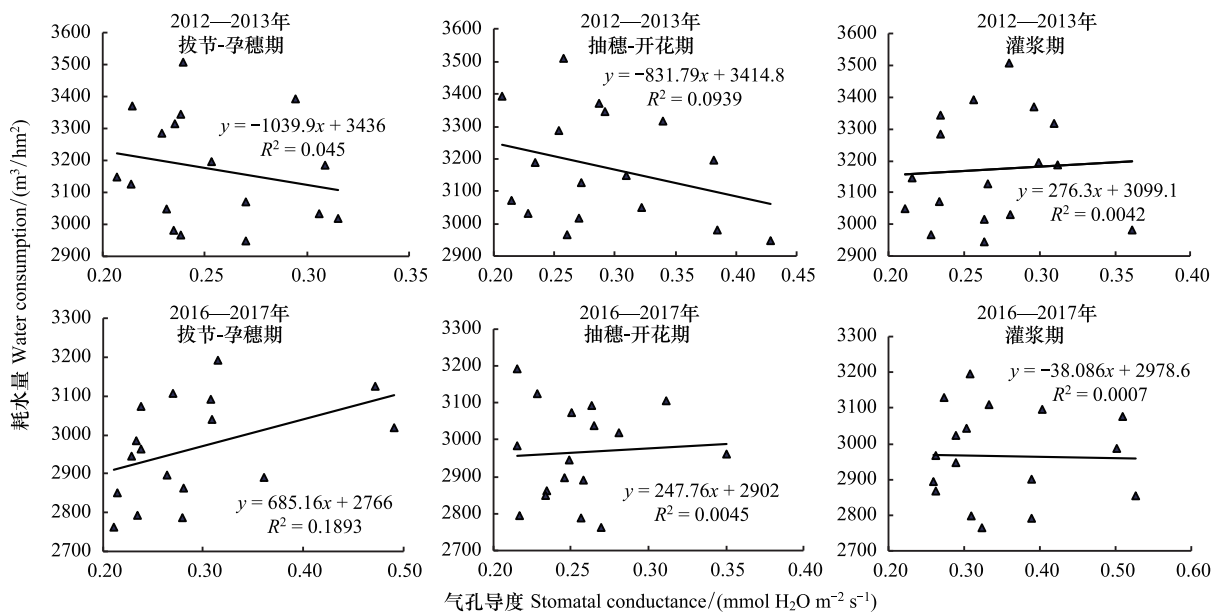


图4 冬小麦叶片气孔导度与总耗水量的关系

Fig.4 The relationships between leaf stomatal conductance and amount of water consumed

CTD 与作物水分关系的研究主要集中于 CTD 作为土壤水分亏缺诊断指标方面^[22-24]。而相同的土壤水分与气象条件下,不同品种之间 CTD 与耗水量关系的研究迄今尚无报道。强小曼等^[25]和周颖等^[26]探讨不同水分条件下 CTD 与蒸腾速率的日变化规律,发现二者变化基本一致。然而,这只是针对同一个品种随气象因子日变化 CTD 与蒸腾速率之间关系的研究,二者的主要限制因子为气象因子。与此不同的是,本研究是在相同的土壤水分与气象条件下,揭示品种之间耗水量差异及其与 CTD 之间的关系。由于环境条件一致,导致品种间耗水差异的主要因素则归因于作物群体结构特性与蒸腾生理特性^[9,27-30]。品种间 CTD 的差异主要决定于群体冠层对水汽与热量的通透性。CTD 与总耗水量之间极显著的负相关性表明,15 个近等基因系及其亲本

之间总耗水量的差异主要源于冠层结构特性的不同。依据前人的研究结果,群体内部植株间距、高度、及叶茎形状、数量与颜色等形态学特征构成特定的冠层结构^[31-34],影响群体的荫蔽性与通风性,决定群体与大气之间水热交换的冠层阻力。冠层结构通透性强,冠层阻力小,土壤蒸发与群体蒸腾量大,即总耗水量大^[5]。而群体与环境之间热量交换快,冠层内部及其与周围大气之间温度分异小^[35],即 CTD 变小。据此,相同的环境条件与栽培措施下,CTD 大的品种,群体总耗水量会小。本研究结果即证实二者之间的极显著负相关关系。

不同生育期测定的叶片蒸腾速率和气孔导度与总耗水量的相关性均未达到显著水平。群体总耗水量的影响因素复杂,它不仅包括群体蒸腾耗水,还包括土壤蒸发耗水,既受环境因素的影响,又受品种蒸腾特性和群体冠层特性的制约。而且,群体内部的个体会通过强大的自调节能力进行群体适应。不同品种叶片蒸腾生理特性对单株耗水量或者群体在特定生育时期的耗水量起主要影响^[1],而对整个生育期内总耗水量的影响可能被其他关键因素或者个体自调节作用抵消。本研究中 CTD 与总耗水量呈极显著负相关性,暗示品种蒸腾生理特性对群体总耗水量的影响可能被群体冠层特性的影响抵消,冠层特性为群体总耗水量的关键影响因素。

4 结论

在土壤水分亏缺程度相对一致条件下,CTD 差异显著的亲本品种晋麦 47 与京 411 及其 15 份近等基因系材料之间,群体总耗水量、不同生育期的 CTD 均存在极显著差异。群体总耗水量与拔节-孕穗期、抽穗-开花期和灌浆期测定的 CTD 之间均存在显著的负相关关系, R^2 在抽穗-开花期最高,两个试验年份分别达 0.7042 和 0.6095。而群体总耗水量与叶片蒸腾速率和气孔导度之间相关性极弱,两个试验年份 3 个生育期测定的结果均未达到显著水平。这些结果表明,水分亏缺条件下,该组近等基因系材料中,影响群体总耗水量的关键因素不是叶片蒸腾生理特性,而是群体冠层结构特性。构建合理的群体冠层结构是调控群体耗水量,提高品种水分利用效率的重要途径。

致谢:中国农业科学院作物科学研究所景蕊莲研究员为本研究提供近等基因系材料,并对研究方案与实验设计给予宝贵指导意见,在此致以诚挚的谢意。

参考文献 (References):

- [1] Van Den Boogaard R, Alewijnse D, Veneklaas E J, Lambers H. Growth and water-use efficiency of 10 *Triticum aestivum* cultivars at different water availability in relation to allocation of biomass. *Plant, Cell & Environment*, 1997, 20(2): 200-210.
- [2] Mei X R, Zhong X L, Vadez V, Liu X Y. Improving water use efficiency of wheat crop varieties in the North China Plain: Review and analysis. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, 12(7): 1243-1250.
- [3] 袁国富, 罗毅, 唐登银, 于强, 於琍. 冬小麦不同生育期最小冠层阻力的估算. *生态学报*, 2002, 22(6): 930-934.
- [4] 孙宏勇, 张喜英, 陈素英, 邵立威, 王艳哲, 董博飞. 农田耗水构成、规律及影响因素分析. *中国生态农业学报*, 2011, 19(5): 1032-1038.
- [5] 朱钦, 苏德荣. 草坪冠层特征对蒸散量影响的研究进展. *草地学报*, 2010, 18(6): 884-890.
- [6] 董志强, 贾秀领, 张丽华, 马瑞昆, 姚艳荣, 赵双进, 张孟臣. 水分胁迫对不同基因型夏大豆冠层发育及耗水量的影响. *大豆科学*, 2009, 28(5): 811-815, 819-819.
- [7] 谷秋荣, 张营武, 熊淑萍, 杨颖颖, 赵巧梅. 不同密度条件下强筋小麦的冠层特征与产量效应. *河南农业科学*, 2010, (9): 42-45.
- [8] Chen S Y, Zhang X Y, Sun H Y, Ren T S, Wang Y M. Effects of winter wheat row spacing on evapotranspiration, grain yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(8): 1126-1132.
- [9] 吕丽华, 贾秀领, 梁双波, 王璞. 玉米不同冠层结构下产量及水氮利用效率分析. *华北农学报*, 2013, 28(2): 180-185.
- [10] 郭家选, 梅旭荣, 卢志光. 冬小麦冠层温度及其影响因素探析. *中国生态农业学报*, 2003, 11(4): 24-26.
- [11] 刘云, 宇振荣, 孙丹峰. 冬小麦冠气温差及其相关影响因素关系研究. *灌溉排水学报*, 2004, 23(1): 30-35.
- [12] 王纯枝, 宇振荣, 孙丹峰, 刘云, 刘云慧. 夏玉米冠气温差及其影响因素关系探析. *土壤通报*, 2006, 37(4): 651-658.
- [13] 张嵩午, 宋哲民, 曹翠兰. 小麦冷温群体研究. *中国农业气象*, 1995, 16(4): 1-6.
- [14] 张嵩午. 小麦温型现象研究. *应用生态学报*, 1997, 8(5): 471-474.

- [15] 刘建军, 肖永贵, 祝芳彬, 程敦公, 李豪圣, 刘爱峰, 宋健民. 不同基因型冬小麦冠层温度与产量性状的关系. 麦类作物学报, 2009, 29(2): 283-288.
- [16] 张冬玲, 张洪娜, 郝晨阳, 王兰芬, 李甜, 张学勇. 花后冠层温度对小麦产量的影响及几个关联 SSR 位点的效应分析. 作物学报, 2015, 41(4): 548-556.
- [17] 樊廷录, 宋尚有, 徐银萍, 李兴茂. 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. 生态学报, 2007, 27(11): 4491-4497.
- [18] 吕树作, 谢惠民, 张洁, 王宏礼. 不同冬小麦品种气冠温差与抗旱节水性关系的研究. 麦类作物学报, 2007, 27(3): 533-538.
- [19] Reynolds M P, Singh R P, Ibrahim A, Ageeb O A A, Larqué-Saavedra A, Quick J S. Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. Euphytica, 1998, 100(1/3): 85-94.
- [20] Rashid A, Stark J C, Tanveer A, Mustafa T. Use of canopy temperature measurements as a screening tool for drought tolerance in spring wheat. Journal of Agronomy and Crop Science, 1999, 182(4): 231-238.
- [21] Feng B L, Yu H, Hu Y G, Gao X L, Gao J F, Gao D L, Zhang S W. The physiological characteristics of the low canopy temperature wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under simulated drought condition. Acta Physiologiae Plantarum, 2009, 31(6): 1229-1235.
- [22] Andrews P K, Chalmers D J, Moremang M. Canopy-air temperature differences and soil water as predictors of water stress of apple trees grown in a humid, temperate climate. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117(3): 453-458.
- [23] 彭世彰, 徐俊增, 丁加丽, 李道西. 节水灌溉条件下水稻叶气温差变化规律与水分亏缺诊断试验研究. 水利学报, 2006, 37(12): 1503-1508.
- [24] 魏征, 许迪, 刘钰, 蔡甲冰. 基于冠气温差的冬小麦水分亏缺诊断试验研究. 水利学报, 2014, 45(8): 984-990.
- [25] 强小嫚, 蔡焕杰, 周新国, 张旭东. 紫花苜蓿冠气温差与蒸腾速率变化规律的试验研究. 水土保持研究, 2009, 16(3): 212-215.
- [26] 周颖, 刘钰, 蔡甲冰, 施炯林. 冬小麦主要生长期冠气温差与蒸腾速率的关系. 山西农业科学, 2011, 39(9): 939-942.
- [27] Zhang X Y, Chen S Y, Liu M Y, Pei D, Sun H Y. Improved water use efficiency associated with cultivars and agronomic management in the North China Plain. Agronomy Journal, 2004, 97(3): 783-790.
- [28] 华劲松. 种植密度对间作芸豆群体冠层结构及产量的影响. 作物杂志, 2012, (5): 131-135.
- [29] 李世莹, 冯伟, 王永华, 王晨阳, 郭天财. 宽幅播种带间距对冬小麦冠层特征及产量的影响. 植物生态学报, 2013, 37(8): 758-767.
- [30] Kjelgaard J F, Stockle C O, Evans R G. Accuracy of canopy temperature energy balance for determining daily evapotranspiration. Irrigation Science, 1996, 16(4): 149-157.
- [31] 胡延吉, 兰进好, 赵坦方, 高法振. 不同穗型的两个冬小麦品种冠层结构及光合特性的研究. 作物学报, 2000, 26(6): 905-912.
- [32] 胡延吉, 兰进好. 山东省冬小麦品种冠层结构及光截获的研究. 中国农业气象, 2001, 22(3): 28-32.
- [33] 罗俊, 张华, 邓祖湖, 徐良年, 高三基, 陈如凯, 陈由强. 甘蔗不同叶位叶片形态与冠层特征的关系. 应用与环境生物学报, 2005, 11(1): 28-31.
- [34] Kim K S, Beard J B. Comparative turfgrass evapotranspiration rates and associated plant morphological characteristics. Crop Science, 1986, 28(2): 328-331.
- [35] 张东旗, 高小丽, 梁鸡保, 张盼盼, 杨璞, 高金锋, 王鹏科, 冯佰利. 不同种植密度下糜子农艺性状及灌浆期冠层温度分异现象研究. 黑龙江八一农垦大学学报, 2015, 27(5): 36-39.