

不同冬小麦品种对高温胁迫反应的研究^①

徐如强^② 孙其信 张树榛

(植物遗传育种系)

摘 要 研究了 28 份冬小麦材料对生育后期高温胁迫的不同反应。在田间于籽粒灌浆期用塑料简棚遮盖供试材料 4 d 或通过冬播推迟其开花期达到高温胁迫处理目的,最后根据千粒重计算各基因型的感热指数(S)大小评价其对高温的适应性,结果表明基因型之间存在明显不同。通过相关分析证实上述研究方法可作为今后开展耐热(高温)性田间鉴定筛选的简便、有效手段。研究还发现,单株产量和穗粒重与其感热指数均呈显著正相关($r=0.371^*$, 0.377^*),但一些高产品种也具有较强的耐热性。

关键词 小麦; 感热指数; 高温; 耐热性

中图分类号 S512.1; S332.1

Studies on the Responses of Winter Wheat Genotypes to High Temperature Stress

Xu Ruqiang Sun Qixin Zhang Shuzhen

(Dept. of Plant Genetics & Breeding)

Abstract Differential responses of 28 winter wheat genotypes to high temperature stress during grain filling period were studied. In order to obtain high temperature conditions, genotypes were either sown in autumn but put under plastic shed for four days after anthesis. Their adaptability to high temperature were estimated by using a calculated index (S), that could show obvious difference between genotypes. Analysis of correlation indicated that the above-mentioned methods could provide a simple reliable heat tolerance screening techniques in the field. In addition, it was found that the susceptibility indices (S) of genotypes were positively correlated with their grain yield potential per plant or per spike ($r=0.371^*$, 0.377^*), but some high-yielding genotypes had performed heat-tolerance.

Key words wheat; susceptibility index; high temperature stress; heat tolerance

在我国北方小麦生育后期经常出现异常高温天气,导致小麦严重减产^[1,2]。据研究^[3,4],小麦籽粒灌浆期的平均气温高于 15℃时已开始不利于千粒重的进一步提高,并估计大约每升高 1℃使产量降低 1%~4%。因此,在我国小麦主产区“春末夏初气温高”的气候特点^[5]

收稿日期: 1996-07-09

①国家自然科学基金资助 39670462

②徐如强,现北京市海淀区白石桥路 30 号,中国农业科学院品资所,100081

下,应该充分重视高温这一气候因素对我国小麦高产稳产构成的限制性影响,从而认识小麦的耐热(高温)性并逐步将其纳入育种目标具有重要的理论和实践意义。目前,有许多关于小麦对高温反应的生理生化方面的研究报道^[6,7],而结合育种实践在田间开展有关的研究尚在起步^[8~10],尤其在国内外鲜见报道。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用 25 份在北京地区正常秋播条件下能正常成熟、且成熟期基本一致的国内育成品种(系)和 3 份外引材料,共计 28 份(见 2.2 节)。其中已知 3 份外引材料中的 TAM107 和 Centurk 分别为耐热和热敏感品种,以作对照,但因其在本地的开花期偏晚,在下述有关正常播期试验中于越冬期用地膜覆盖进行了适当调整。

1.2 研究方法

1993~1994 年度在中国农业大学科学园(北京,39°48'N,116°28'E,海拔 31.5 m)设置下列有关试验。28 份供试材料在各试验中均采用随机区组设计,三次重复,一行区,行长 2 m,行距 0.25 m,行播量 40 粒,人工均匀点播。

1.2.1 对照试验(N) 于 09-22 正常秋播,代表正常环境。

1.2.2 冬播试验(L) 于 11-03 冬播,试验材料越冬前未出苗,翌年春正常出苗(俗称“土里捂”)。

1.2.3 升温处理试验 T1 和 T2 二试验均于 09-22 正常秋播。但在籽粒灌浆期,对其分别于 1994-05-29~06-01 连续 4 d 和 06-7~06-10 连续 4 d 用 0.1 mm 厚无色透明聚乙烯塑料筒棚覆盖,借助“温室效应”使棚内温度升高进行高温处理。覆盖期间没有出现“烧叶”或明显“逼熟”现象。

田间观察记载基因型各生育时期,并收获考查千粒重、单株穗数和穗粒数等产量构成性状。最后,按下述公式^[8,11]计算各基因型的感热指数(S): $S = (1 - Y_D/Y_P)/D$,其中, Y_D = 某一基因型在胁迫试验环境下的平均千粒重, Y_P = 该基因型在对照试验环境下的千粒重, D = 环境胁迫强度 = $1 - Y_D(\text{全部基因型 } Y_D \text{ 的平均值})/Y_P(\text{全部基因型 } Y_P \text{ 的平均值})$ 。

2 结果与分析

2.1 温度条件

观察结果表明,冬播试验 L 的平均开花期比对照试验 N 晚 4~5 d,使其开花至成熟期的平均日均温度、日最高温度和日最低温度比对照试验 N 依次高出 1.0、0.6 和 1.0℃。

在升温处理试验 T1 和 T2 中,塑料筒棚处理与未处理麦田(对照)相比,日最高气温可提高 2~7℃(表 1)。对筒棚内、外麦田气温日变化对比测定结果表明,棚内气温一直高于棚外,且棚内气温变化从 8:00 至 10:00 时急剧升高至接近当日最高气温,之后至 16:00 时一直维持较长时间的高温期;而棚外气温从 8:00 逐渐升高,至 14:00 时达到当日最高气温,以后则逐渐下降。因此,借助塑料筒棚提高麦田气温,可模拟大田生产条件下自然高温天

气对小麦的热胁迫影响。

表 1 塑料简棚处理(T)与未处理(CK)麦田气温比较

处理	日期	棚内最高温度 ^①			大气温度 ^②		
		t_{\max}/C			日均气温	日最高气温	日最低气温
		处理	未处理	差值			
T1	05-29	39.0	35.0	4.0	23.1	31.0	13.8
	05-30	35.0	31.0	4.0	21.5	25.9	16.5
	05-31	42.0	35.0	7.0	24.8	33.5	15.6
	06-01	41.0	35.0	6.0	24.1	30.3	17.5
T2	06-07	42.0	40.0	2.0	26.7	32.9	20.8
	06-08	41.0	39.0	2.0	25.8	33.2	20.4
	06-09	41.0	38.0	3.0	25.7	32.2	18.4
	06-10	42.0	38.0	4.0	27.2	33.5	19.5

①测定仪器离地面 35 cm

②海淀区气象站资料

2.2 感热指数

不同小麦品种对开花至成熟期高温反应的相对大小可通过计算千粒重的感热指数综合反映。从表 2 供试各基因型在胁迫环境试验 T1、T2 和 L 下的千粒重感热指数(S)可以看出:①在同一胁迫环境下,基因型之间 S 值的差异明显。其在 T1、T2 和 L 环境中的变幅依次为 0.02~2.20, 0.02~2.22 和 0.09~2.39, 变异系数(CV)依次为 65.7%, 63.4% 和 62.1%; 而各基因型在上述 3 个环境的平均 S 值变幅为 0.11~1.71、变异系数为 50.0%。②同一环境下全部基因型 S 值的平均值接近于 1, 据此可将供试材料划分为两组, 定义 $S < 1$ 为耐热基因型、 $S \geq 1$ 为热敏感基因型。③全部 28 份供试基因型中有 16 份材料在各胁迫环境下的 S 值均大于 1 或者小于 1, 说明这些基因型的耐热性变化趋势一致; 而其余材料的 S 值变化较大, 这可能与基因型之间开花期存在一定差异或基因型 X 环境(高温胁迫时间、强度等因素)互作有关^[8]。④从本研究来看, 烟 1604、C361、农大 93、品系 0002、临汾 118、TAM107(耐热对照)、长丰 3 号和农大 96 都是耐热性比较好的材料, 尤其是其中的长丰 3 号、C361 和临汾 118 的耐热性均优于对照; 而品系 3338、丰抗 13、品系 6308、S180、Centurk(热敏感对照)和安 161 对高温胁迫比较敏感。

2.3 相关分析

根据感热指数对不同胁迫处理试验之间进行相关分析表明, T1 和 T2 呈极显著正相关, 且相关系数高达 0.605^{*} ($n=28$); 而冬播试验 L 与 T1 之间相关不显著($r=0.249$), 与 T2 却呈显著正相关, 相关系数为 0.411^{*}。上述结果说明, 利用这些处理方法对小麦的耐热胁迫能力进行比较鉴定具有一定的重演性, 因而较为可靠。

最后还对各基因型的平均感热指数与其在正常环境条件下的产量性状进行了相关分析, 发现感热指数与单株(理论)产量和穗粒重均呈显著正相关($r=0.371^*$, 0.377^*)。进一步根据平均 S 值对供试材料进行分组分析(表 3)也可以发现, 耐热基因型组与热敏感基因

型组之间的感热指数(0.49和1.35)差异达显著水平,但耐热组产量性状的平均值均低于热敏感组,且两组间单株产量(14.3g和18.2g)的差异还达到显著水平。由此说明,本研究材料中的高产品种(系)对高温的适应性表现一般较差。尽管如此,也有一些高产品种同时也具有较强的耐热性。例如,农大96的平均感热指数仅为0.43,而其单株产量在全部28个供试材料中表现最高。

表2 供试各基因型在不同胁迫环境下的感热指数

品种(系)	来源	T1	T2	L	平均值
烟 1604	山东	0.64	0.44	0.77	0.61
晋麦 33	山西	0.19	1.21	2.26	1.22
品系 7001	山西	0.14	0.89	1.72	0.91
冀 5418	河北	0.91	1.22	0.96	1.03
C ₃ 45	河北	0.57	1.20	0.15	0.64
C ₃ 61	河北	0.34	0.05	0.09	0.16
农大 92	北京	0.68	1.09	0.79	0.85
农大 93	北京	0.04	0.22	0.78	0.34
品系 0002	北京	0.02	0.14	0.17	0.11
京 411	北京	1.87	1.17	1.21	1.41
品系 3338	北京	1.13	1.48	1.08	1.23
北农 2 号	北京	1.60	0.57	1.32	1.16
S120	北京	1.71	0.51	1.00	1.07
品系 3311	北京	1.65	0.93	1.08	1.22
品系 3419	北京	0.94	1.70	1.36	1.33
品系 6554	北京	0.83	1.06	2.39	1.42
丰抗 13	北京	1.81	1.35	1.18	1.44
品系 6308	北京	1.55	1.94	1.23	1.57
S180	北京	1.27	1.69	1.24	1.40
临汾 118	山西	0.46	0.02	0.43	0.30
TAM107	美国	0.43	0.53	0.09	0.35
TAM200	美国	1.71	2.17	0.61	1.49
Centurk	美国	1.70	2.22	1.09	1.67
安 161	河南	2.20	1.92	1.03	1.71
津麦 2 号	天津	1.65	0.82	1.29	1.25
长丰 3 号	北京	0.61	0.29	0.10	0.33
农大 96	北京	0.50	0.38	0.42	0.43
PR5	北京	0.67	0.93	0.78	0.79
平均值		0.99	1.01	0.95	0.98

表3 耐热与热敏感基因型产量性状比较

基因型分组	感热指数 <i>S</i>	单株产量 /g	千粒重 /g	穗粒数	单株穗数	穗粒重 /g
耐热组($S < 1, n = 12$)	0.49	14.3	41.1	44.5	7.7	1.87
热敏感组($S \geq 1, n = 16$)	1.35	18.2	45.4	47.6	8.9	2.15

3 讨论

小麦属于喜凉作物,对高温造成的胁迫反应比较敏感。其生育期间的热胁迫不但抑制许多重要农艺性状的正常发育,最终导致产量明显下降^[9,10];也使品质性状,尤其烘烤品质变劣^[12,13]。据研究^[4],小麦灌浆期日均气温 15.8~27.7℃范围内,温度平均每升高 1℃,平均可使千粒重下将 2.8 mg。与世界上一些高产麦区(如欧州)的气候特点相比较,我国主产麦区籽粒灌浆成熟期急剧升高的气温是构成籽粒产量增加的重要限制因素^[5]。在我国北方,午间高温是引起小麦严重“午睡”的重要起因之一,而“午睡”导致小麦生物学产量损失高达 30%以上^[14,15]。干热风在我国经常发生,可危害我国小麦种植面积超过 2/3,平均使小麦减产 10%~20%^[2]。此外,随着全球气候的逐渐变暖,估计到 21 世纪中期,我国农业主产区气温平均可能上升 1.5℃,高温对农作物的危害将会日益明显和突出^[16]。综上所述,认识并开展小麦的耐热(高温)性研究和遗传改良,将对未来充分利用热量资源及保证我国小麦的高产稳产具有很重要的理论与实践意义。

温度是小麦生长发育的必需气候因素之一,因而模拟或利用自然条件认识小麦对高温的反应较为客观。目前,已有人在田间利用不同季节^[9,10]或不同播期^[11],以及不同年份或地点^[8,17]等手段开展了研究工作。但前者(播期或季节)仍局限于对春性小麦的研究,后者则往往难以保证其他环境条件(例如土壤因素)的相对一致性。此外,研究发现^[18,19],小麦对高温的反应与其发育时期存在明显的互作。因此,本研究利用塑料筒棚遮盖的方法不但达到了较好的鉴定结果重演性,也便于控制高温处理时期,认为是一简便可行的田间研究方法。冬小麦冬播技术是我国传统的栽培技术,具有高光效的栽培特点^[20],而高温条件下具有较高的光合能力是小麦品种的表现形式^[18],本研究的初步研究结果证实该技术也在有关研究中具有一定的利用价值,值得进一步探讨。

一般认为,高产品种的抗逆性较差^[21]。研究也发现,高产小麦品种对干旱的敏感指数普遍较高^[22],这与本文对感热指数的研究结果相类似;但也有研究表明^[11]报道,小麦品种的丰产性与其对旱(热)的胁迫反应无明显的一致关系。以上结果的不同可能主要是研究材料的差异造成的,但提示人们今后应重视高产与耐逆性的同步改良。

参 考 文 献

- 1 金善宝主编. 中国小麦品种及其系谱, 北京: 农业出版社, 1983
- 2 北方小麦干热风科研协作组. 小麦干热风. 北京: 气象出版社, 1988

- 3 Chowdhury S I, Wardlaw I F. The effect of temperature on kernel development in cereals. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1978, 29: 205~223
- 4 Wiegand C L, Cuellar J A. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. *Crop Science*, 1981, 21: 95~101
- 5 金善宝主编. 小麦生态理论与应用. 杭州: 浙江科技出版社, 1992
- 6 Alexandrov V Y. Cytophysiological and cytoecological investigations of heat resistance of plant cells toward the action of high and low temperature. *Quarterly Review of Biology*, 1964, 39: 35~77
- 7 Levitt J. Response of plants to environmental stresses. New York: Academic Press, 1980
- 8 Brucker P L, Frohberg R C. Stress tolerance and adaptation in spring wheat. *Crop Science*, 1987, 27: 31~36
- 9 He Zhonghu, Rajaram S. Differential responses of bread wheat characters to high temperature. *Euphytica*, 1994, 72: 197~203
- 10 Shpiler L, Blum A. Differential reaction of wheat cultivars to hot environments. *Euphytica*, 1986, 35: 483~492
- 11 Ehdaie B, Waines J G, Hall A E. Differential responses of landrace and improved spring wheat genotypes to stress environments. *Crop Science*, 1988, 28: 838~842
- 12 Blumenthal C S, Batey I, Bekes F, et al. Seasonal changes in wheat grain quality associated with high temperature during grain filling. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1991, 42: 21~30
- 13 Campbell C A, Davidson H R, Winkleman G E. Effect of nitrogen, temperature, growth stage, and duration of moisture stress on yield components and protein content of Manitou spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 1981, 61: 549~563
- 14 韩风山, 赵明, 赵松山. 小麦午睡原因的研究: I. 大田生态因子与午睡的关系. *作物学报*, 1984, 10(2): 137~143
- 15 韩风山, 赵明, 赵松山, 王美云. 小麦午睡原因的研究: II. 形成小麦午睡生态生理因素作用的综合分析. *作物学报*, 1988, 14(4): 296~302
- 16 气候变化对农业的影响及其对策课题组. 气候变化对农业的影响及其对策. 北京: 北京大学出版社, 1993
- 17 Midmore D J, Cartwright P M, Fischer R A. Field wheat in tropical environments: I. Crop growth and grain yield. *Field Crop Research*, 1984, 8: 207~227
- 18 Al-khatib K, Paulsen G M. Photosynthesis and productivity during high temperature stress of wheat genotypes from major world regions. *Crop Science*, 1990, 30: 1 127~1 132
- 19 Rawson H M. High temperature tolerant wheat: a description of variation and a search for some limitations to productivity. *Field Crop Research*, 1986, 14: 197~212
- 20 梅楠, 单玉珊, 侯庆福. 冬小麦晚播高产试验及其技术体系的理论探讨——兼论小麦高产途径. *北京农业大学学报*, 1990, 16(3): 263~270
- 21 张玉良. 作物品种资源的抗逆性鉴定. 见: 中国农学会遗传资源分会等编. 作物抗逆性鉴定的原理与技术. 北京: 农业大学出版社, 1989
- 22 Fischer R A, Wood J J. Drought resistance in spring wheat cultivars: III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1979, 30: 1 001~1 020