

# 小麦发育温光效应的模拟研究

苗果园 张云亭 侯跃生 尹 钧

王士英

(山西农业大学, 太谷)

(中国农业科学院, 北京)

## 摘 要

在室内人工控制条件下, 对17个不同类型的小麦品种进行低温春化处理(0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70天)和光长处理(6, 10, 14, 24小时)试验。初步揭示了温、光对供试品种的单独效应规律。提出了高温与光长对小麦品种的离析作用, 解释了不同品种的自然生态适应性, 进一步明确了品种对温光反应是一种数量累积效应, 并根据数量变化的量与质的关系进行了断截分类。

**关键词** 小麦 春化作用 光长反应 离析作用

长期以来, 各国学者围绕“植物阶段发育理论”进行了大量的研究。Cailajan〔1〕、中条博良等〔2〕认为春化阶段对冬小麦并不是必不可少的。Gregory〔3〕认为低温对小麦开花是量的效应。Adams〔4〕、Evans〔5〕等认为光照的影响也是量性的。许多人还研究过“短日春化”现象。在当今小麦品种资源空前丰富, 栽培生态环境千差万别, 生育类型与生育期结构极其多样的情况下, 人们对小麦生长发育过程中温光的质与量的效应更为关注。本文主要通过对人工控制条件下模拟试验的结果分析, 探讨低温春化处理和不同光长处理对小麦发育的影响, 以期对小麦温光反应特性作进一步的解释。

## 材料与方 法

试验于1986~1989年先后6次在山西农大农田生态研究室的人工气候室和温室中进行。供试的17个品种选自全国不同麦区, 其中省外的有: 辽春6号(辽宁)、粤麦6号(广东)、滇西洋麦(云南)、晋2148(福建)、绵阳11号(四川)、扬麦3号(江苏)、丰产3号(陕西)、北京10号(北京)、农大139(北京)、泰山4号(山东)、新冬2号(新疆)、肥麦(西藏), 省内的有: 晋春5号、晋麦20号、晋麦11号、晋麦5号、白秃麦(农家种)。春化处理是在种子吸水后, 放入发芽箱中20℃萌动24小时, 然后置于0~2℃冰箱中。处理日数分别为0, 10, 20, 30, 40, 50, 60和70天(春性品种没有70天的处理), 处理结束后在室温下缓

苗2天,再播入温室。光照处理是种子不进行春化处理而直接播在花盆之中,待出苗后分别放入每日光长为6、10、14和24小时的4个气候室。气候室光强为1~1.5万lx,温度为20~25℃。光照处理时间1个月,结束后将花盆移到温室,进行24小时连续光照,白天为自然光,夜晚高压汞灯补充光照,光强不低于2000lx,温室平均气温控制在22℃左右,极端最高温30℃,极端最低温15℃。试验期间详细记载各处理的生育期及主茎叶数等生物学性状,成熟后收获考种。

## 结果与分析

### 一、品种在连续光照条件下对春化日数的反应

#### 1. 不同春化日数对苗穗期的影响

从表1可看出,辽春6号、晋春5号、绵阳11号、扬麦3号、晋2148、滨西洋麦、粤麦6号等7个品种,基本表现了对春化处理日数的不敏感性,不同春化处理日数的苗穗期差异不

表1 24小时光照条件下品种对不同春化时长的苗穗期反应(1987年)

品种名称	春 化 时 间 (天)								平均 X	C.V%
	0	10	20	30	40	50	60	70		
辽春6号	32.5	34.5	34.0	34.5	33.0	34.0	37.0		34.2	4.2
粤麦6号	33.0	32.5	34.5	34.0	33.0	33.5	33.0		33.4	2.1
滨西洋麦	32.5	32.0	34.0	33.5	33.0	32.0	31.5		32.8	2.9
晋 2148	36.0	37.0	33.5	34.0	32.5	33.0	35.5		34.5	4.9
绵阳11号	40.5	36.0	36.5	35.0	34.0	35.5	35.0		36.1	5.8
扬麦3号	41.0	36.5	35.5	35.0	34.0	35.0	35.5		36.1	6.4
晋春5号	38.0	33.0	35.0	31.5	32.5	34.0	35.0		34.1	6.3
丰产3号	78.5	72.5	59.0	47.5	34.5	36.5	37.0	35.0	50.1	35.6
晋麦20号	72.5	66.0	63.0	50.5	40.0	38.0	38.0	39.0	50.9	28.1
晋麦11号	81.0	79.0	58.0	45.5	37.0	36.0	34.0	35.0	50.7	39.0
北京10号	88.0	83.5	75.5	58.5	42.0	43.0	41.0	37.0	58.6	35.7
农大 139	115.0	91.5	64.5	59.0	41.5	41.0	38.0	36.0	66.3	47.4
晋麦5号	111.0	96.5	95.5	69.5	44.0	43.0	37.0	40.0	63.9	45.2
白 秃 麦	105.0	103.5	87.0	71.5	43.0	41.0	40.0	41.0	66.5	43.5
泰山4号	108.5	91.0	91.5	77.5	51.0	51.5	44.0	43.0	69.8	36.6
新冬2号	142.0	129.0	103.5	102.0	62.5	60.0	56.0	50.0	88.1	40.5
肥 麦	176.5	159.0	147.5	139.5	137.5	78.5	63.0	58.0	119.9	38.6

显著,甚至有的表现为随春化时间加长苗穗期延缓的负效应。但进一步分析比较,春化处理对晋2148、绵阳11号、扬麦3号、晋春5号还是有微弱效应的。处理10天后,苗穗期平均缩短4.3天,其余10个品种,都明显地表现出低温春化对抽穗的促进提早作用。但是,品种之间的苗穗期反应不尽相同,导致最短苗穗期的春化处理日数也有差别。丰产3号、晋麦11号、

晋麦20等冬性较弱的品种, 春化30天是个转折期, 苗穗期由零处理的72~81天降至45~50天; 春化延长至40天, 苗穗期可降至32~40天; 北京10号, 农大139、白秃麦, 晋麦5号等冬性品种, 春化40天苗穗期由零处理88~115天降至41~44天; 泰山4号处理60天, 苗穗期才能由零处理109天降至44天; 新冬2号处理60~70天, 苗穗期可由零处理的142天降至50~56天; 肥麦最大春化处理日数70天, 苗穗期才由零处理的176天降至58天。上述现象表明, 促进抽穗的负积温春化效应具有明显的数量累加效应, 这种连续的数量累加效应的差异, 既表现在品种间由春性到强冬性的系列上, 又表现在具有负积温春化效应品种的春化过程中。此外, 从表1不同品种春化时长的抽穗差异(变异系数)还可看出, 冬性与春性两大类型差异是极明显的, 不同春性品种之间春化处理苗穗期的变异系数为2.1~6.4%, 平均为4.0%, 而其余10个具有春化效应的品种, 不同春化处理苗穗期变异系数高达23.1~47.4%, 平均38.1%。表明春性类型品种不仅对春化处理无反应, 而且对春化处理时长也反应甚微; 而冬性类型处理间的差异, 明显地反应在品种间、品种内的变异系数上。

## 2. 春化日数与苗穗期的数量关系

进一步分析不同品种春化日数与苗穗期的数量关系, 以 $X$ 表示低温处理天数,  $Y$ 表示相应的苗穗期天数, 计算不同品种自变量 $X$ 与依变量 $Y$ 的多项式回归方程(表2)。

表2 不同品种春化日数( $X$ )与苗穗期( $Y$ )的多项式回归

品种名称	回归方程	复相关系数(R)
辽春6号	$Y = 32.5 + 0.050X$	0.7071
粤麦6号	$Y = 32.6 + 0.054X - 0.00083X^2$	0.4655
滇西洋麦	$Y = 32.5 + 0.068X - 0.0015X^2$	0.8114
晋 2148	$Y = 36.9 - 0.214X + 0.0029X^2$	0.7859
绵阳11号	$Y = 39.4 - 0.246X + 0.0030X^2$	0.9432
扬麦3号	$Y = 40.1 - 0.311X + 0.0039X^2$	0.9433
晋春5号	$Y = 37.5 - 0.321X + 0.0048X^2$	0.8407
丰产3号	$Y = 81.6 - 1.539X + 0.013X^2$	0.9799
晋麦20号	$Y = 75.1 - 1.076X + 0.0076X^2$	0.9719
晋麦11号	$Y = 86.2 - 1.710X + 0.014X^2$	0.9787
北京10号	$Y = 86.2 - 0.808X$	0.9526
晋麦5号	$Y = 107.5 - 1.164X$	0.9462
农大139	$Y = 103.3 - 1.149X$	0.9405
白秃麦	$Y = 105.1 - 1.106X$	0.9403
泰山4号	$Y = 104.3 - 0.995X$	0.9615
新冬2号	$Y = 137.1 - 1.402X$	0.9609
肥 麦	$Y = 182.8 - 1.804X$	0.9578

比较不同品种的回归方程可以看出: ①北京10号等7个冬性及强冬性品种为线性方程, 其余10个品种皆为二次曲线方程。②辽春6号为线性, 一次项的系数为正值, 表明春化处理

会延缓抽穗。粤麦 6 号和滇西洋麦的一次项、二次项系数都很小,且一次项为正,从一开始就表现不出春化处理的效应。晋 2148、晋春 5 号等 4 个品种,虽然一次项为负值,但回归系数在 0.32 以下,只有微弱的春化效应。总之,辽春 6 号、晋春 5 号等 7 个春性品种的共同特点是对低温春化处理的不敏感性。③晋麦 11 号、丰产 3 号和晋麦 20 号的一次项偏回归系数都在 1.0 以上,同时二次项为正值,表明该类品种在一定范围内对低温春化处理很敏感,但春化处理日数太长时,会延缓抽穗。④ 7 个冬性品种都表现为线性方程,在试验处理范围  $\bar{x}$  (0~70 天),随春化处理日数增加,苗穗期相应缩短。品种之间回归系数变化在 0.8~1.8 之间,反映出不同品种冬性强弱的差别。

### 3. 高温条件对苗穗期的离析作用

由表 1 还可发现一个有趣的现象,即如果不给以低温春化处理,直接播于高温加连续光照条件下,所有 17 个不同类型的供试品种最终也都达到了抽穗状态,但苗穗期差异甚大,其规律是随着品种冬性的加强,苗穗期加长。其中强春性品种辽春 6 号为 32 天,而超强冬性的肥麦达 176 天,其余品种介于二者之间。这一现象表明,小麦发育过程中对低温春化的要求是相对的。不经春化处理,供试品种的春化特性,表现在苗穗期上明显地被分离扩大了,形成线性连续的等级差异(图 1)。我们把这种高温连续光照对小麦春化特性的分离作用,称做小麦春化特性的高温离析作用;把离析后的线性分布,叫春化条带;不同品种在条带上的分布差异叫春化距离。离析条带图对寻求特殊春化适应性的品种资源、育种上选配组合和生产上合理用种等,都具有参考价值。

### 4. 苗穗期的积温与负积温效应

小麦生育对温度的反应,存在着明显的由正积温到负积温的数量累加系列。如辽春 6 号、粤麦 6 号等春性品种的生育期随温度增高而缩短,不需要经过一个相对低温春化阶段就可导向抽穗。除这类正积温类型外,绝大部分品种要求一定量的负积温以完成春化发育。自然条件下,其苗期阶段有一个生长(分蘖、长叶、长根)与发育(春化负积温累积)的相持阶段。大田中,这个阶段的温度既可使生长得以缓慢进行,又可使发育得到充分满足的负积温累积过程。据周年播种资料分析,大约日均温  $12^{\circ}\text{C}$  是小麦进行春化的上限温度。若把  $12^{\circ}\text{C}$  作为开始春化发育的起点值(记为  $0^{\circ}\text{C D}$ ),温度每降  $1^{\circ}\text{C}$  为 1 度负积温值,负积温值越大越有利于春化发育。至日均温达  $0^{\circ}\text{C}$  时,共有负积温值为  $-12^{\circ}\text{C D}$ 。本试验春化处理平均为  $1^{\circ}\text{C}$  下进行,即为  $-11^{\circ}\text{C D}$ ,处理 10 天,负积温为  $-110^{\circ}\text{C D}$ 。定义负积温效应值  $K$ :

$$K = \frac{0 \text{ 处理苗穗期正积温} - \text{最短苗穗期处理正积温}}{\text{最短苗穗期处理负积温}}$$

$K$  表明 1 度负积温相当于几度正积温的作用,  $K$  值越大,品种对春化反应越敏感(表 3)。

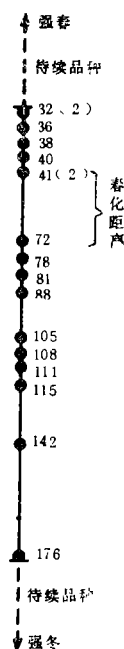


图 1 不同品种  
苗穗期高温  
离析条带图

表3 不同品种负积温效应比较

品种名称	对照苗穗期	春化最短苗穗期	处理苗穗	处理苗穗期	处理苗穗期	负积温效应值
	正积温 (°C)	+均方差 (天)	期 (天)	负积温 (-°C)	正 积 温 (°C)	(K)
辽春 6 号	591.5	33.9	32.5	0	—	—
粤麦 6 号	600.6	33.2	33.0	0	—	—
滇西洋麦	591.5	32.4	32.0	-110	544.0	0.43
晋麦2148	655.2	34.2	33.5	220	569.5	0.39
绵阳11号	688.5	36.1	36.0	110	612.0	0.69
扬麦 3 号	696.2	36.3	35.5	220	603.5	0.42
晋春 5 号	645.6	33.6	33.0	110	561.0	0.77
丰产 3 号	1333.1	52.3	47.5	330	807.5	1.59
晋麦20号	1214.8	52.3	50.5	330	858.5	1.08
临汾10号	1369.9	53.7	45.5	330	773.5	1.81
北京10号	1495.3	57.9	42.0	330	714.0	2.37
早选10号	1895.8	64.0	44.0	440	748.0	2.61
农大 139	1980.1	67.4	59.0	330	1003.0	2.96
白 秃 麦	1785.6	63.9	43.0	440	731.0	2.40
泰山 4 号	1858.7	68.5	51.0	440	867.0	2.25
新冬 2 号	2438.0	85.7	62.5	440	1062.5	3.13
肥 麦	2993.6	104.2	78.5	550	1334.5	3.02

## 二、无春化条件下品种对光照时数的反应

## 1. 不同光照时数对苗穗期的影响

供试品种不进行低温春化处理, 于出苗后分别给以不同光照时数的处理, 苗穗期同样表现出较大的差异。

表4 无春化条件下品种对光长的苗穗期反应

品种名称	光 照 时 间 (小 时)				平均 ( $\bar{X}$ )	CV %	6 小 时 较24小时 +、-
	6	10	14	24			
辽春 6 号	54.0	50.0	41.5	32.5	44.5	21.5	21.5
粤麦 6 号	55.5	48.0	42.0	33.0	44.6	21.3	22.5
滇西洋麦	56.0	50.5	39.0	32.5	44.5	24.0	23.5
晋麦2148	60.5	53.0	42.5	36.0	48.0	22.7	24.5
绵阳11号	58.0	51.0	44.5	40.5	43.5	15.8	17.5
扬麦 3 号	61.5	54.5	45.0	41.0	50.5	18.3	20.5
晋春 5 号	60.0	57.5	44.5	38.0	50.0	21.0	22.0
丰产 3 号	81.0	85.0	80.0	78.5	81.1	3.4	2.5
晋麦20号	85.0	86.0	81.5	72.5	81.3	7.6	12.5
晋麦11号	86.5	87.0	83.5	81.0	84.5	3.3	5.5
北京10号	94.5	95.5	97.5	83.0	93.9	4.4	6.7
晋麦 5 号	96.5	99.0	111.5	111.0	104.5	7.5	- 14.5
农大 139	107.0	99.5	113.5	115.0	108.8	6.5	- 8.0
白 秃 麦	93.0	93.5	105.0	105.0	99.1	6.8	- 12.0
泰山 4 号	109.0	103.0	106.5	108.8	108.1	1.1	0.2
新冬 2 号	94.0	98.5	136.0	142.0	117.6	21.1	- 48.0
肥 麦	128.3	129.3	152.3	176.5	146.6	15.6	- 48.2
平 均	81.2	79.2	83.4	78.3			14
CV %	28.0	32.1	46.0	55.6			

从表 4 看出,同一光长下不同品种苗穗期的变异系数达 28.0~55.6%,反映了品种之间对光长反应有较大的差异。同一光长下,冬性强的品种苗穗期也长。不同品种对改变光长的反应不同。辽春 6 号等 7 个春性品种随光长的增加,苗穗期明显缩短,即属于长光敏感类型,不同光长处理之间变异系数一般达 20% 以上。新冬 2 号、肥麦随光长缩短苗穗期明显缩短,属于短光敏感类型,不同光长处理的变异系数在 15% 以上。在这两种类型之间,分布有 3 种过渡类型。丰产 3 号、晋麦 20 号、晋麦 11 号属于长光弱敏感型,其特点是随光长增加苗穗期亦呈缩短趋势,但变异系数小于 10%。农大 139、晋麦 5 号、白秃麦等属短光弱敏感型,其苗穗期随光长缩短而缩短,但变异系数也小于 10%。泰山 4 号无论光照时间长短,苗穗期变化不大,也不规律,属于对光长不敏感的中间类型。

从地理分布看,来自高纬度高海拔地区和低纬度高海拔地区的品种,不论是对春化反应为零反应型还是超强反应型,都表现了对光照反应的敏感性;而来自中纬度和低海拔地区的品种,对光长的反应较弱。值得提出的是强冬性类型的泰山 4 号对光照的反应却十分不敏感。综合上述分析,可对供试品种光长反应做如下连续的量变描述:



## 2. 光照时数与苗穗期的数量关系

对不同品种的苗穗期 ( $Y$ ) 与光照时数 ( $X$ ) 进行多项式回归,结果列于表 5。

表 5 不同品种光照时数与苗穗期多项式回归

品 种 名 称	回 归 方 程	复相关系数 ( $R$ )
辽 春 6 号	$Y=61.1-1.249X$	0.9831
粤 麦 6 号	$Y=68.1-2.416X+0.040X^2$	0.9999
滇 西 洋 麦	$Y=62.3-1.338X$	0.976
晋 2143	$Y=80.-3.726X+0.078X^2$	0.9895
绵 阳 11 号	$Y=74.5-3.126X+0.070X^2$	0.9977
扬 麦 3 号	$Y=79.9-3.528X+0.079X^2$	0.9926
晋 春 5 号	$Y=67.0-1.277X$	0.9419
丰 产 3 号	$Y=84.5-0.257X$	0.6743
晋 麦 20 号	$Y=91.7-0.793X$	0.9609
晋 麦 11 号	$Y=88.6-0.321X$	0.9010
北 京 10 号	$Y=86.6+1.624X-0.064X^2$	0.9819
晋 麦 5 号	$Y=92.6+0.863X$	0.8450
农 大 139	$Y=100.9+0.525X$	0.6115
白 秃 麦	$Y=89.0+0.737X$	0.8222
泰 山 4 号	$Y=113.7-0.910X+0.028X^2$	0.9325
新 冬 2 号	$Y=79.0+2.855X$	0.8821
肥 麦	$Y=107.6+2.863X$	0.9734

由表 5 看出：①辽春 6 号等 10 个品种的一次项系数为负值，表明随光照时数增加，苗穗期缩短。其中晋春 5 号以上的 7 个品种一次项系数在 1.0 以上，对光长比较敏感。粤麦 6 号、晋 2148、绵阳 11 号、扬麦 3 号又呈二次曲线，对光的敏感程度不及辽春 6 号、晋春 5 号和滇西洋麦。②晋麦 5 号、农大 139、白秃麦、新冬 2 号、肥麦的苗穗期与光照时数皆为线性关系，但回归系数为正，表明这类品种在无春化条件下，都具有短光效应。其中新冬 2 号和肥麦的回归系数达 2.8 以上，在 6~24 小时范围内，处理光长变短 1 小时，苗穗期可减少近 3 天。③泰山 4 号和北京 10 号表现出近乎水平状态的二次曲线，是两个对光长不敏感的品种类型。

### 3. 光长条件对苗穗期的离析作用

根据以往研究，小麦惯称为长日照作物。今以 6 小时短光条件下的各品种苗穗期与 24 小时长光条件下苗穗期相比，所得之差做为分析品种之间对光长效应的敏感性差异，也可划出差异明显的品种光长效应离析条带图（图 2）。

由图 2 可看出，品种对光长反应存在着由长光正效应到长光负效应的连续条带现象，进一步印证了小麦品种间存在着由长光敏感型到短光敏感型的连续变异。

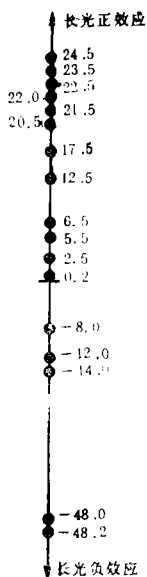


图2 不同品种苗穗期光长离析条带图

## 讨 论

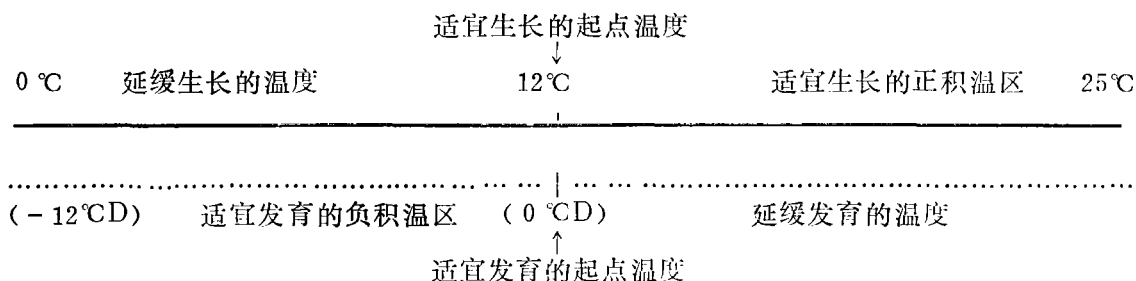
### 一、关于冬性品种高温下抽穗的问题

本试验温室中的极端最低气温在 15℃ 以上，根本不存在一般认为的春化条件，但未经春化处理的强冬性品种出苗后经过 160~180 天，也都抽穗。这一点启示我们，生长和发育所要求的温度，并没有一个截然的质的界限，而是一个量的累积。只要温度在适宜生长的范围内（12℃~25℃），虽不利于春化发育，但经过较长时间量的累积也可达到低温春化效果。这可能是适于低温下形成的春化激素类物质，在高温下也可缓慢形成的缘故。据田间观察，上述供试的强冬性品种春播时不能正常抽穗，其原因是夏季高温高湿下不具备生长的基本条件而导致死亡，并非因通不过春化阶段所致。

### 二、关于生长温度和发育温度的问题

小麦和其它作物一样，其营养生长过程中在起点温度以上 3~25℃ 范围内，随着温度的增高生长速度加快，即生长是正积温效应。但是作为越冬作物的冬小麦，在营养生长转向生殖生长的过程中，还需要一定时期的冷凉气候才能保证其安全越冬和正常转入生殖生长。

这种适宜的冷凉气温在大田自然条件下约为 0~12℃。在 0~12℃ 范围内所有具有春化效应的品种，随温度的降低春化效应增强，即具有负积温的效应。



可见,就温度方面来考虑,生长与发育既有各自适宜的区域,又存在各自延缓的区域,适宜发育的温度并不见得对生长有利,反之亦然。但是,在小麦能够正常生长的温度范围内,并不存在绝对不能完成发育的温度界限,只是延缓或加速而已。

### 三、关于品种生育期的问题

小麦品种间生育时期差异主要在抽穗前。生长发育受环境的调节而有很大的不同,因此可以假设小麦存在基本生育期(最短生育期),最适生育期,最长生育期的差异。基本生育期是指在最适宜的温光条件下(包括人工控制所能达到的)小麦发育最快的生育期,如辽春6号,在24小时长光下最快苗穗期为30天左右,全生育期主茎叶数最低为6。最适生育期是指在生产条件下营养生长、生殖生长协调发展,从而使产量达到最佳的生育期,如辽春6号最适苗穗期约为40~50天,主茎叶数为7~8片。最长生育期是指在最不利发育的条件下生育期延续最长的天数。以辽春6号为例,在6小时的短光下并给以长时间春化,苗穗期延长达64天,主茎叶数达10片。可见生育期是具有一定的遗传幅度,受环境温光调节可以发生变化的品种特性。因此,因地制宜选择一定基本生育期和温光反应特性的品种,是充分合理利用自然资源的重要前提,也是指导小麦引种用种的基本理论依据。

### 参 考 文 献

- [1] Cailahjan Murneek, A.E. et al: Vernalization and Photoperiodism, Waltham, Mass., U.S.A., 1948: 190
- [2] 中条傅良:《作物的形态与功能》,北京,农业出版社,1983: 83
- [3] Gregory Murneek, A.E. et al: Vernalization and Photoperiodism. Watham, Mass., U.S.A., 1948: 191
- [4] Adams, J.: "Duration of Light and Growth", ANN. BOT., 1924 (38): 509—523
- [5] Evans, L.T.; Crop Physiology, "Some Case Histories," Cambridge University Press, 1975



## A Simulated Study of Temperature and Light-length Effects on Wheat Development

Miao Guoyuan    Zhang Yunting    Hou Yaosheng    Yin Jun

*(Shanxi Agricultural University, Taigu)*

Wang Shiyong

*(Institute of Crop Breeding and Cultivation, Chinese Academy of  
Agricultural Sciences Beijing)*

### Abstract

Experiment was carried out for 17 representative varieties of wheat in the chamber. Different vernalization treatments (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 days) and light-length treatments (6, 10, 14, 24 h) were used. The results showed the qualitative and quantitative responses of varieties to vernalization and light-length, raised high temperature and light-length to separate action of wheat varieties, and explained the natural ecological adaptability of different varieties. It is a effect of quantitative accumulation that the response of the varieties to temperature and light, and in the light of the relationship between the quality and quantity of qualitative change the classification has been carried out.

**Key words:** Wheat; Vernalization; Light-length response; Separative effect