

大豆生态研究

XV. 复式光温综合作用与中国不同进化型大豆生态类型的研究*

路琴华 王玉民

(吉林省农科院大豆所,公主岭 136100)

提 要 根据 293 份不同进化型大豆原产地的自然临界光照和自然临界温度与公主岭自然温度下,13.5 h 光周期之间发生的复式光温综合作用原理以及生长发育规律,确定我国大豆生态类型。提出各纬度及同纬度不同海拔 74 个县市的自然临界光照和自然临界温度。讨论了无野生大豆区光温综合作用与群落形成的关系以及研究光温综合作用理论的意义。

关键词 复式光温综合作用;大豆;生态类型;畸形荚;迟结荚

关于中国野生大豆生态类型的研究,我们曾做过报道^[1]。野生大豆对光温反应最敏感,是研究光温综合作用理论的最佳材料。野生大豆在原产地自然光温下形成的生育规律,与生长期光温动态变化规律是一致的,称单式光温综合作用^[2~4]。野生大豆是短日性植物,离开原产地种植,异地的光温条件和材料原产地光温条件之间相互作用,改变了在原产地固定的生长发育规律,称复式光温综合作用^[5~6]。在公主岭自然温度下 13.5 h 光周期是研究一年生野生大豆的最适宜光照^[1]。不同产地野生大豆的自然光温条件不同,在 13.5 h 光周期中反应的复式光温综合作用形式不同,各材料的生长发育规律也不同。不同进化型大豆随叶片面积增大,叶片感光效应反应促进发育作用增强^[7]。在复式光温综合作用中的生育规律也反应原产地光温条件的特点^[6]。本试验采用我国各纬度及不同进化类型大豆 293 份,在公主岭自然温度下,给予 13.5 h 光周期条件进行试验。根据复式光温综合作用规律确定我国大豆生态类型,为引用材料提供了理论依据。

1 材料与方法

1987 年采用我国不同产地材料 293 份,其中野生大豆 193 份(百粒重 < 3 g);半野生大豆 35 份(百粒重 3~5 g);半栽培大豆 35 份(百粒重 5.1~10 g);栽培大豆 30 份(地方品种百粒重 > 10 g)。在公主岭(43°32' N, 124°42' E, 海拔 203 m)自然温度 13.5 h 光周期下盆栽,每处理 3 株。5 月 22 日出苗当天进行光照处理,暗期推进暗室。9 月 20 日气温降至 15℃ 左右,未成熟材料搬进温室待成熟,试验周期 157 d。本试验临界温度 21.41℃,出现期在 8 月 26 日。

共调查生态和形态方面的项目计 54 个。开花期生育指标:出苗到开花天数、开花节位、开花期株高和叶龄、开花节位复叶的叶长和叶宽,开花到结荚天数,结荚到成熟天数。成熟期生育指标:生育日数,成熟期株高、茎粗、节数和主茎一级分枝数,均以第一朵花,第一个幼荚,第一个成熟荚的出现期为发育期。

2 结果与分析

2.1 我国大豆生态区的划分依据

以叶片生长速度与温度范围,我国南北光温变化规律,叶片感光效应,材料原产地光温条件与复式光温综合作用原理以及畸形荚,迟结荚发生规律等为依据,进行大豆生态区划分。

2.1.1 低温、适宜温度、高温划分依据 叶片在扩大生长中产生的感光效应上递3节⁽⁸⁾。表1中降一个温度范围均反应促进发育,规定气温 $<25.5^{\circ}\text{C}$ 为低温。气温 $>25.6^{\circ}\text{C}$,未展开叶生长速度 $>$ 展开叶感光效应上递3节而抑制营养生长。在短光条件下气温 $>28^{\circ}\text{C}$ 抑制发育,规定气温 $>28^{\circ}\text{C}$ 为高温。 $25.6\sim 27.9^{\circ}\text{C}$ 不抑制发育,规定为适宜温度。

表1 低温、适宜温度、高温范围及划分依据

温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)	未展开叶		展开叶		低温、适宜温度、高温划分依据	
	日生长 叶数	生长速度 (A)(d)	感光效应 持续期 (B)(d)	出叶数 (B/A)	I 根据叶片 感光效应 规律划分	II 根据 气候划分
7.5以下	0	0	13~14	0		
7.6~12.5	0.10	10.0	13~14	1.3~1.4	低温抑制生长	低温(40°N 以北)
12.6~16.5	0.20	5.0	13~14	2.6~2.8		
16.6~20.5	0.25	4.0	13~14	3.3~3.5	典型适宜温度	
20.6~23.5	0.33	3.0	13~14	4.3~4.6	适宜温度	
23.6~25.5	0.40	2.5	13~14	5.2~5.6		
25.6~27.9	0.43	2.3	13~14	5.7~6.1	高温促进生长发育	适宜温度($40^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$)
28以上	0.43	2.3	13~14	5.7~6.1	高温抑制生长发育	高温(35°N 以南)

2.1.2 我国南、中、北三大生态区划分依据 表2中的自然临界光照⁽⁹⁾和自然临界温度⁽¹⁰⁾,反应材料原产地的光温条件,也代表大豆通过发育的光温指标。从北到南自然临界光照由长变短,自然临界温度由低到高。在 40°N 和 35°N 间出现交叉。 40°N 以北常年最高平均温度 $<25.5^{\circ}\text{C}$ 为长光低温区; 35°N 以南常年最高平均温度 $>28^{\circ}\text{C}$ 为短光高温区; 40°N 和 35°N 间常年最高平均温度 $25.6\sim 27.9^{\circ}\text{C}$ 为适宜光温区(见表2)。

表2 代表性纬度原产地自然光温条件与本试验光温条件比较

纬度 ($^{\circ}\text{N}$)	自然临界 光照(h)	自然临界 温度($^{\circ}\text{C}$)	常年最高 平均气温($^{\circ}\text{C}$)	自然临界光照比 13.5 h 增减(%)	自然临界温度与 临界温度差($^{\circ}\text{C}$)
50	16.16	18.32	20.6	+19.7	+3.09
45	15.27	20.25	22.8	+13.1	+1.16
40	14.55	21.04	25.4	+7.8	+0.36
35	13.96	22.13	27.5	+3.4	-0.72
30	13.53	22.98	29.7	+0.2	-1.57
25	13.01	23.77	28.7	-3.8	-2.36
本试验	13.50 临界光照	21.41 临界温度	23.2	—	—

2.1.3 复式光温综合作用原理 (1)短光、适宜光照、长光效应确定依据。各纬度材料在8个代表性纬度地点生态试验表明⁽¹¹⁾:材料的自然临界光照 $>$ 临界光照⁽⁹⁾5.1%以上,反应短

光效应,开花期在当地夏至以前; $>5\%$ 反应适宜短光效应,开花期在夏至到出现临界光照之间; $<5\%$ 反应适宜长光效应,开花期在当地临界光照和临界温度之间; $<5.1\%$ 以上反应长光效应,开花期在临界温度出现之后。上述划分方法对13~16.5 h控制光照均适用。其次,材料的自然临界温度 $>$ 临界温度反应抑制发育; $<$ 临界温度反应促进发育。本试验的临界光照13.5 h,临界温度21.41℃,与代表性纬度自然临界光温比较见表2。其中“+”为促进发育,“-”为抑制发育。(2)复式光温综合作用发生畸形荚、迟结荚原理。从表2看出:40°N以北材料反应光温双促进发育作用,纬度愈高愈强。短光效应开花到结荚3~5 d。幼荚形成过程降温,因发育过快导致发育不健全而出现畸形荚。41°N是发生畸形荚的起点纬度,也是确定40°N以北为长光低温区的依据。1级为全畸形,2级为半畸形,3级为轻畸形。愈北出现率愈高,程度愈重。群落气温低的材料畸形荚程度重。35°N以南的自然光照属于短光条件。35°N以南材料在13.5 h光周期,反应短光促进发育 $<$ 温度促进生长作用,纬度愈低愈强。开花后气温上升,反应促进营养生长而延迟结荚。适宜短光效应规定开花到结荚5~13 d, >13 d为迟结荚。34°N是发生迟结荚的起点纬度。所以迟结荚发生规律,也是确定35°N以南短光高温区的依据。原产地群落气温高的材料迟结荚程度重。

2.1.4 适宜光照和典型长光确定依据 45°N材料在13、13.5、14、14.5、15 h光周期下,复叶生长速度几乎一样,平均3.9 d出1复叶,因温度促进生长比8 h短光快0.6 d。故规定13~15 h为适宜光照。在16.5 h光周期下,平均5.08 d出1复叶,反应典型长光抑制营养生长^[16]。故规定16.5 h为典型长光。我国46°N以北自然临界光照 >15.50 h的材料均反应典型长光效应,将40°N以北长光低温区分为Ⅰ和Ⅱ两个生态区。

2.1.5 高海拔材料复式光温综合作用规律 40~35°N,105~115°E,海拔 >1000 m为高海拔区。该区常年最高平均温度 <25.5 ℃,自然临界光照 >14 h,在本试验中反应光温双促进发育。低温年份出现畸形荚^[1]。反应出类似高纬度材料的生育规律。高海拔材料光温反应规律将40°N至35°N的适宜光温区分为Ⅲ和Ⅳ两个生态区。

2.1.6 35°N以南材料复式光温综合作用规律 从表2看出:35°N材料为 $>5\%$ 的适宜短光效应,出苗后子叶的感光效应上递3节,2复叶节是起点开花节位^[8]。30°N材料的自然临界光照13.53 h,与控制光照13.5 h相等,反应典型适宜光照效应,2复叶未展开叶的感光效应再上递3节,5复叶节是起点开花节位^[8]。25°N材料为 $<5\%$ 的适宜长光效应,5复叶是起点开花节位,5复叶以后气温降一个温度范围达两天(见表1),与展开叶的长光效应发生综合平衡作用后,反应促进发育^[12]而确定开花节位。上述三种不同感光效应将35°N以南短光高温区分为Ⅴ,Ⅵ,Ⅶ三个生态区。其中Ⅵ-2海拔高,气温低,发育快,定为Ⅵ的亚区。Ⅶ-2受沿海湿热气候影响,发育比同纬度材料慢而定为Ⅶ区的亚区。

2.1.7 不同进化型大豆光温综合作用规律 在原产地自然条件下,野生大豆和半野生大豆出苗到停止复叶发生,气温降一个温度范围(表1)均不抑制未展开叶生长。半栽培大豆开花节位复叶发生始到停止复叶发生,栽培大豆2复叶发生始到停止复叶发生,气温降一个温度范围,降温第一天均抑制未展开叶生长^[6]。综合上述规律提出不同进化型大豆随叶片面积增大促进发育作用增强。出苗到开花天数和生育日数,栽培大豆 $<$ 半栽培大豆 $<$ 半野生大豆 $<$ 野生大豆。因此,根据野生大豆复式光温综合作用确定的生态区,同样适合不同进化型大豆。

2.2 各生态区不同进化型大豆复式光温综合作用生育指标与生态类型的关系

开花节位复叶发生始期为发育始期^[3,4]。开花期生育指标是以开花节位为主反应发育始期的繁茂度。成熟期生育指标是以成熟期节数为主反应停止营养生长以后的繁茂度。栽培大豆开花期叶龄<6复叶反应短光效应而比同纬度野生大豆晚开花,开花期叶龄>7复叶反应适宜光照效应而比同纬度野生大豆早开花^[6]。根据表3、表4和表5分如下7个区。

表3 中国大豆生态类型的范围及气候^[13]

区号	跨纬度 (°N)	跨经度 (°E)	气候带	≥10℃ 积温(°C)	≥15℃ 积温(°C)	≥15℃数	夏至日长 (h)	7月平均 气温(°C)	降水量 (mm)	省 份
I	45-46以北	121-135	中温带	1700-2600	900-2100	<100	>15.5	20-22	400-500	黑龙江北部,内蒙东北部
II	40-45	117-135	中温带	2600-3500	1900-3000	100-135	15-15.5	22-24	500-700	黑、吉、辽大部,内蒙东南部
III	34-40	105-114	中温带	2900-3300	2100-2600	100-125	14.5-15.0	22-23	350-500	内蒙南部,晋东北,陕西北,宁夏、甘肃中南部
IV	34-40	105-124	南中温带	3200-4700	2200-4200	160-170	14.5-15.0	24-26	500-750	鲁冀、晋大部,豫北、陕中、甘东南、辽南
V	30-34	105-121	北亚热带	4700-5300	4000-4600	170-190	14.0-14.3	26-28	700-1300	苏、皖、鄂大部,豫陕南部,蜀东北,赣、湘北部
VI	24-30	98-119	中亚热带	5200-5900	4400-5300	190-220	13.6-14.1	27-30	1000-1400	赣、湘大部,黔东南,桂北,滇北,西藏察隅、云南宁蒗
VII	24-32	112-122	中亚热带	4800-6500	4100-5800	180-230	13.6-14.2	27-29	1100-1600	浙、闽大部,粤北,台湾北部

表4 各生态类型不同进化型大豆复式光温综合作用生育指标

区号	类型	材料数	开花期生育指标						开花到 结荚天数	结荚到 成熟天数	成熟期生育指标				畸形荚,迟结荚 占% (级) (d)	
			开花节位	株高 (cm)	叶龄	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	出苗到 开花天数			生育日数	株高 (cm)	茎粗 (cm)	节数 主茎一级分枝数		
I 东北北部 早熟区	野生大豆	16	2.3	15.4	4.7	3.6	1.8	24.6±1.06	5.1±0.33	25.7±1.97	53.6±2.03	34.3	0.13	9.3	1.3	畸67 1-2
	半野生大豆	1	2.0	12.0	4.4	4.1	1.9	24.0	4.0	25.0	54.0	40.0	0.14	9.0	1.6	畸100 2
	栽培大豆	6	2.3	13.3	4.8	5.7	3.9	28.3±1.37	3.1±0.41	33.2±2.40	64.3±2.16	30.3	0.34	9.8	2.3	畸17 2
II 东北 早熟区	栽培大豆	3	2.3	17.7	4.3	6.4	4.6	28.2±4.00	3.3±0.52	38.3±4.04	73.4±9.07	24.7	0.35	9.0	2.0	畸33 2
	野生大豆	16	3.5	28.4	6.3	3.7	2.1	28.6±2.47	3.3±0.58	25.7±2.57	57.7±4.82	45.3	0.16	9.6	3.9	畸44 2-3
	半野生大豆	7	3.9	23.9	6.5	5.1	2.8	29.9±1.91	3.6±0.74	30.6±2.92	63.5±2.78	44.1	0.22	10.4	3.9	畸38 2-3
III 西部高原 早熟区	栽培大豆	8	3.0	13.8	6.0	5.8	3.6	29.6±1.06	3.3±0.46	33.6±2.77	66.5±2.67	26.0	0.38	9.7	3.0	畸63 2-3
	栽培大豆	5	2.8	15.4	5.4	8.5	4.1	31.4±0.34	4.6±1.52	39.8±8.00	76.2±3.49	26.0	0.35	8.4	1.2	畸20 3
	野生大豆	22	4.4	25.4	8.1	3.8	2.2	35.1±6.76	4.8±1.81	35.4±6.45	74.5±13.62	82.0	0.25	16.6	5.1	0
IV 华北 中熟区	半野生大豆	4	4.0	23.7	7.7	5.4	3.2	38.7±10.12	5.2±1.33	40.8±8.13	80.3±14.92	68.0	0.24	14.5	4.0	0
	半野生大豆	5	3.6	14.6	6.0	5.7	3.6	30.4±1.34	3.0	34.8±1.30	67.4±1.67	28.0	0.29	9.6	2.4	0
	栽培大豆	2	4.0	16.5	5.7	8.5	4.8	34.0±2.62	3.5±0.71	39.8±8.00	82.5±12.02	31.5	0.33	10.0	2.0	0
V 中部 中晚熟区	野生大豆	46	4.9	32.3	8.6	4.4	2.3	35.9±3.82	5.0±1.51	34.1±5.21	74.3±8.01	97.2	0.23	18.2	8.5	0
	半野生大豆	7	4.0	24.2	7.5	5.3	2.9	31.3±4.76	3.9±1.05	35.7±5.53	69.2±10.8	61.5	0.26	15.9	5.2	0
	半栽培大豆	6	4.2	20.8	7.4	7.8	4.8	34.7±2.81	5.8±1.17	44.7±4.59	85.2±6.59	68.8	0.44	16.3	4.7	0
VI 南部 晚熟区	栽培大豆	4	3.8	16.8	6.5	9.8	6.5	31.8±1.26	4.5±1.80	46.3±4.57	82.5±7.05	24.8	0.44	10.0	3.5	0
	野生大豆	35	6.5	48.6	10.7	4.9	2.5	42.4±7.73	7.5±3.76	42.6±8.72	93.3±15.78	123.3	0.31	21.6	7.0	迟9 15-22
	半野生大豆	5	6.8	50.6	10.2	6.0	3.4	42.8±6.91	6.6±1.67	42.6±8.73	92.0±12.73	107.0	0.37	19.4	6.6	迟17 29
VII-1 东南沿海 晚熟区	半栽培大豆	6	4.0	19.2	11.6	6.5	4.0	32.7±6.15	6.8±4.02	43.3±9.83	81.4±13.18	39.8	0.44	12.0	4.5	0
	栽培大豆	4	4.3	17.8	7.2	8.7	5.9	36.3±2.06	5.8±0.89	50.7±6.02	90.5±9.00	25.3	0.49	10.3	3.3	0
	野生大豆	24	11.5	85.6	17.4	5.0	2.3	72.1±12.6	13.6±4.73	49.1±6.76	134.8±11.8	122.9	0.44	23.4	6.0	迟41 14-24
VII-2 南部 晚熟区	半野生大豆	8	11.8	69.8	14.7	8.4	4.6	62.1±14.01	18.8±7.27	50.4±4.72	130.0±16.0	90.9	0.55	18.4	5.9	迟88 15-26
	半栽培大豆	2	9.0	41.5	15.1	5.7	2.1	52.0±16.97	13.5±6.36	65.5±3.54	132.5±28.99	62.0	0.42	13.0	5	迟50 18
	栽培大豆	8	5.4	20.0	8.2	10.1	6.2	38.0±2.50	5.2±1.28	52.1±8.90	96.5±9.34	34.3	0.54	11.9	4.1	0
VIII-1 东南沿海 晚熟区	野生大豆	6	5.8	50.2	10.4	4.0	1.9	47.8±12.01	14.3±10.30	48.4±17.23	108.0±29.58	104.7	0.37	20.3	7.3	迟50
	野生大豆	18	18.2	116.4	23.9	5.1	2.6	90.2±8.30	13.1±3.61	42.5±7.44	143.5±6.84	129.4	0.51	22.8	6.1	迟50 16-44
	半野生大豆	3	11.0	83.1	16.2	7.7	3.5	56.3±6.51	17.3±10.21	50.7±9.07	124.3±14.01	140.0	0.55	21.3	6.3	迟33 29
VIII-2 南部 晚熟区	半栽培大豆	2	7.0	35.0	11.7	8.9	4.9	46.0±14.10	12.0±4.24	65.0±4.24	123.0±99.0	59.0	0.57	14.0	6.0	迟50 15
	栽培大豆	4	6.0	25.5	9.2	10.5	6.9	40.5±2.89	14.8±14.9	50.5±13.03	105.8±20.37	33.0	0.60	12.0	5.8	迟30 14-36
VIII-2 南部 晚熟区	野生大豆	10	8.3	67.0	13.8	5.2	2.1	53.4±11.26	13.1±11.95	42.9±7.79	108.1±22.8	120.2	0.50	21.5	6.2	迟27 14-15

I 东北北部极早熟区:46°N 以北自然临界光照 >15.50 h,自然临界温度 $<20^{\circ}\text{C}$,反应超光温双促进发育,开花期和成熟期生育指标最小,畸形荚出现率最高,程度达1~2级。其次,典型长光按5.4 d速度出1复叶,在原产地常年最高平均温度 $<22^{\circ}\text{C}$ 以下,因未展开叶生长速度 $<$ 展开叶感光效应上递3节,实际起促进发育作用,开花节位低,营养生长阶段短,花荚形成速度快,在当地 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 的条件下不到100 d均能成熟,成为我国大豆生产极早熟区。46°N 以北材料典型长光和低温之间的制约作用,是对低温适应性强的依据。

II 东北早熟区:自然临界光照 <15.50 h是适宜光照。自然临界温度比I区高,反应光温双促进发育,开花期和成熟期生育指标比I区大,畸形荚出现率低,程度为2~3级。在原产地自然条件下,自然临界光照出现在7月中旬,当地进入雨季。常年最高平均温度 $<25.5^{\circ}\text{C}$,出现在7月下旬到8月上旬,也与雨季相遇。因降雨同时降温而促进发育成为早熟区。由于该地光、温、水三者之间的协调作用极有利大豆生长发育,不仅是我国大豆生产的主产区,也是研究光温综合作用理论的最佳地区。

III 西部高原早熟区:海拔 >1000 m,气温明显低, $>10^{\circ}\text{C}$ 的自然出苗期晚,各材料的自然临界光照比40°N材料的自然临界光照长,比I区短。自然临界温度比40°N材料的自然临界温度低,属于长光低温条件,反应光温双促进发育。由于光照促进发育作用比I区弱,开花期和成熟期生育指标比I区大。因本试验的临界温度高,未出现畸形荚。在原产地自然条件下自然临界光照出现在7月中旬和I区相似。因常年最高平均温度 $22\sim 24^{\circ}\text{C}$ 比I区低,温度促进发育作用比I区强,在当地 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 的自然生长期比I区短10 d条件下均能成熟,定为高原早熟区。

I, II, III区中的半野生大豆、半栽培大豆和栽培大豆在光温双促进发育条件下,随叶片面积增大反应促进发育作用增强而抑制营养生长,因营养体小而延迟开花,出苗到开花天数是:野生大豆 $<$ 半野生大豆 $<$ 半栽培大豆 $<$ 栽培大豆。畸形荚出现率和程度随叶片增大而下降,其中栽培大豆开花期叶龄 <6 复叶,与不同年份结果是一致的。在原产地单式光温综合作用中,不同进化型大豆随叶片面积增大,直接反应促进发育作用增强,出苗到开花天数为栽培大豆 $<$ 半栽培大豆 $<$ 半野生大豆 $<$ 野生大豆^[7]。

IV 华北中熟区:各材料的自然临界光照在14.5~14 h之间,自然临界温度与本试验临界温度 21.41°C 比较,“+”或“-”差很小。反应短光促进发育与温度促进生长之间的制约作用小。开花期和成熟期生育指标比I区大。不出现畸形荚和迟结荚。与同纬度高海拔区比较,栽培大豆开花期叶龄达到7复叶,比同纬度野生大豆早开花,定为中熟区。在原产地自然条件下,常年最高平均温度 $25.6\sim 27.9^{\circ}\text{C}$,这个温度段日生长0.43未展开叶,因未展开叶生长速度 $>$ 展开叶感光效应上递3节而抑制营养生长,叶片制造的同化物促进茎粗生长。开花节位复叶发生后,这个温度段不抑制发育,因温度高而促进荚粒生长。由于这个温度段的特殊作用,促进当地野生大豆进化。栽培大豆起源于40°N至35°N黄河流域一带^[12]。该地带自然光温综合作用是栽培大豆起源的重要依据。

V 中部中晚熟区:13.5 h控制光照 $<$ 材料的自然临界光照5%,反应适宜短光效应,开花节位在2复叶基础上随温度促进生长而提高,开花节位、开花期叶龄和出苗到开花天数是同步增长的^[12],所以开花期和成熟期生育指标明显比IV区大,因温度促进生长 $>$ 短光促进发育而出现迟结荚。在原产地常年平均温度 $>28^{\circ}\text{C}$ 持续期20~40 d。比较IV、V两区 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 的自然生长期看出,V区延长自然生长期的天数与 $>28^{\circ}\text{C}$ 高温持续期是一致的,表明 28°C 高温抑制发育而延迟成熟,定为我国大豆生产中晚熟区。

Ⅵ南部晚熟区:各材料的自然临界光照接近 13.50 h 控制光照,反应典型适宜光照效应,开花节位在 5 复叶基础上随温度促进生长而逐节提高⁽¹²⁾。开花期和成熟期生育指标又比 V 区明显增大,迟结荚率高。在原产地 >28℃ 高温期达 30~60 d。与 N 区比较,Ⅵ区延长自然生长期的天数与 >28℃ 高温持续期是一致的,定为晚熟区。其次,Ⅵ-1 区中有 3 份高海拔材料,例如黄山,因自然临界温度低(18.4℃),反应短光低温双促进发育,开花到结荚只有 32~33 d,畸形荚程度为 2~3 级。Ⅵ-2 区为 105°E 以西的高寒山区,目前只有察隅和宁蒗发现有野生大豆,认为群落气温较高,并出现迟结荚。

Ⅶ东南沿海极晚熟区:Ⅶ-1 材料为 13.5 h 控制光照 > 材料的自然临界光照 5%,反应适宜光照效应,5 复叶节是起点开花节位。由于光温双抑制发育,必须气温降一个温度范围达 2 d,与展开叶的长光效应发生综合平衡作用后,反应促进发育而确定开花节位⁽⁵⁾。该区有 30% 材料在临界温度出现后开花(出苗后 94 d 出现临界温度)。开花期和成熟期生育指标最大,迟结荚率最高,迟结荚天数最长。Ⅶ-2 材料因温度促进生长作用强,开花期和成熟期生育指标比同纬度 V、Ⅵ区材料明显增大。在原产地 >28℃ 高温期达 50~60 d。与 N 区比较,Ⅶ区延长自然生长期的天数与 >28℃ 高温持续期是一致的,定为我国大豆生产极晚熟区。

V,Ⅵ,Ⅶ区中的栽培大豆随温度促进生长作用增强和开花期叶龄增多,比同纬度野生大豆早开花的天数逐区增大。这与原产地自然条件下栽培大豆比同纬度野生大豆早开花的规律是一致的。例如杭州(30°N)提前 16 d,金华(29°N)提前 41 d,泉州(25°N)提前 94 d。晚熟地区为充分利用当地光温资源选用春大豆早熟种,夏大豆和秋大豆生育期均在 120 d 左右,与公主岭栽培大豆生育期 125 d 左右也比较一致。

其次,Ⅵ区因光温之间制约作用小,主茎一级分枝数最多,向北因温度促进发育,向南因短光促进发育而减少,在生态试验中徐州和杭州均为 31 个,公主岭 13 个。泉州因 28℃ 高温持续期长只有 25 个。分枝的发生规律也是一致的。

从复式光温综合作用研究看出:光照,温度对大豆生长发育,通过叶片感光效应反应出由量变到质变规律。引发质变的条件是温度。大豆生态类型的划分,实际是对我国气候带的划分。

表 5 各纬度不同海拔县市的自然临界光照和自然临界温度⁽¹⁴⁾

区号	原 产 地			自 然 出 苗 期 (月·日)	自然临界光照		自然临界温度		常年最高 平均温度 (℃)	A 到 B 天 数	>28℃ 持续期 (d)
	地 点	纬度 (°N)	经度 (°E)		海拔 (m)	(h)	出现期 (月·日)A	(℃)			
I	漠河	53.29	122.21	280	6·01	16.83	7·02	16.80	8·10	18.7	39
	呼玛	51.43	122.39	177	5·21	16.49	7·06	17.96	8·15	20.3	40
	爱辉	50.15	127.27	166	5·16	16.16	7·06	18.32	8·16	20.6	41
	嫩江	49.10	125.13	222	5·16	15.98	7·06	18.56	8·15	20.8	40
	博克图	48.46	121.55	739	6·06	16.11	7·01	16.57	8·10	17.8	40
	克山	48.03	125.53	237	5·16	15.75	7·09	19.25	8·20	21.4	42
	明水	47.10	125.54	249	5·16	15.59	7·11	19.34	8·20	21.7	40
	宝清	46.19	132.11	83	5·11	15.49	7·10	19.86	8·25	22.2	46
	科右前旗	46.10	121.14	499	5·16	15.63	7·09	18.26	8·20	20.7	42
	II	绥化	46.37	126.58	180	5·11	15.57	7·11	19.32	8·25	22.0
鸡西		45.17	130.57	233	5·16	15.34	7·11	18.44	8·25	22.0	45
榆树		44.50	126.44	204	5·06	15.27	7·14	20.25	8·26	22.8	43
公主岭		43.32	124.42	203	5·01	15.09	7·15	20.33	8·27	23.1	43
敦化		43.22	128.12	524	5·16	15.15	7·08	17.16	8·25	21.1	48
桦甸		42.58	126.43	266	5·06	15.05	7·13	19.52	8·31	23.2	49
桦南		42.25	122.32	79	4·26	14.81	7·19	20.82	8·31	24.6	43

续表 5

区号	原产地			自然出苗期 (月·日)	自然临界光照		自然临界温度		常年最高 平均温度 (℃)	A到 B天数	>28℃ 持续期 (d)	
	地点	纬度 (°N)	经度 (°E)		海拔 (m)	(h)	出现期 (月·日)A	(℃)				出现期 (月·日)B
	赤峰	42.10	118.58	571	4·26	14.81	7·19	20.02	8·31	23.6	43	
	锦州	41.08	121.07	66	4·21	14.65	7·21	20.91	9·05	25.3	46	
	盖县 *	40.10	122.09	20	4·21	14.53	7·21	21.04	9·05	25.4	46	
III	呼和浩特	40.49	111.41	1063	5·01	14.77	7·16	19.56	8·31	22.0	46	
	伊金霍洛	39.22	109.48	1310	5·01	14.57	7·16	18.87	8·31	21.8	46	
	河曲	39.17	111.16	1032	4·26	14.50	7·19	20.94	8·31	23.9	43	
	石咀山	39.11	106.42	1092	5·21	14.61	7·13	20.75	8·31	23.8	49	
	榆林	38.14	109.42	1057	4·26	14.43	7·16	20.50	8·31	23.7	46	
	银川	38.29	106.13	1112	4·26	14.43	7·16	20.72	8·31	23.6	46	
	中宁	37.29	105.40	1185	4·26	14.34	7·18	20.45	8·31	23.7	44	
	庆阳	35.42	107.44	1422	5·01	14.37	7·13	18.22	8·25	21.2	43	
	平凉	35.05	106.38	1347	5·01	14.21	7·16	17.70	8·25	21.3	40	
	天水	34.35	105.45	1132	4·16	14.06	7·23	19.50	9·05	22.8	44	
IV	大同	40.06	113.30	1068	5·01	14.67	7·16	19.25	8·31	21.8	46	
	大连	38.54	121.38	98	4·26	14.52	7·18	20.03	9·20	24.8	63	
	沧县	38.20	116.15	11	4·11	14.26	7·25	22.96	9·05	27.0	42	
	寿光	37.16	118.51	7	4·11	14.20	7·23	22.86	9·05	27.7	44	
	介休	37.03	111.54	749	4·21	14.29	7·21	21.04	8·31	24.2	41	
	高密	36.25	119.45	14	4·11	14.20	7·21	21.07	9·05	26.7	46	
	晋泽	36.10	112.15	850	4·21	14.25	7·18	20.00	8·31	22.6	41	
	晋城	35.20	112.50	743	4·16	14.06	7·23	20.80	9·05	24.8	45	
	临沂 *	35.07	117.10	65	4·06	13.96	7·26	22.13	9·10	27.5	46	
	华阴	34.29	110.27	2065	6·01	14.33	7·02	16.72	8·15	18.4	44	
V	徐州	34·17	117.18	43	4·01	13.84	7·30	22.66	9·10	28.1	42	20
	卢氏	34.00	111.41	569	4·11	13.95	7·25	21.91	9·05	26.7	42	
	武都	33.23	104.41	1079	3·26	13.79	7·29	21.29	9·10	25.6	43	
	宁陕	33.19	108.19	902	4·11	13.87	7·25	20.98	9·05	24.5	42	
	东台	32.50	120.18	6	4·06	13.82	7·28	22.39	9·15	28.4	49	30
	万县	32.05	108.25	674	4·01	13.70	7·30	21.37	9·10	26.4	42	
	南通	32.00	120.21	53	3·26	13.75	7·28	22.46	9·15	28.2	49	30
	芜湖	31.20	118.25	75	3·21	13.52	8·04	22.88	9·20	29.7	47	40
	达县	31.16	107.28	310	3·11	13.46	8·06	22.87	9·15	29.2	40	30
	黄山	30.08	118.09	1840	5·21	13.95	7·07	16.27	9·05	18.4	60	
VI	光化	32.25	111.40	91	4·01	13.70	7·30	23.28	9·10	29.2	42	30
	雅安	30.00	103.03	607	3·11	13.37	8·08	21.10	9·15	25.7	38	
	九江	29.45	115.55	32	3·11	13.43	8·06	23.98	9·20	30.0	45	50
	重庆	29.35	106.28	261	3·01	13.26	8·13	22.99	9·20	29.9	38	50
	繁昌	28.39	97.28	2050	4·26	13.73	7·24	17.18	9·15	19.1	53	
	沅陵	28.27	110.23	103	3·21	13.33	8·05	22.12	9·25	28.5	51	30
	沔阳	28.18	108.46	664	3·26	13.46	8·02	21.21	9·15	25.8	44	
	宜春	27.48	114.23	129	3·11	13.29	8·07	22.88	9·30	29.3	54	50
	衡山南岳	27.15	112.45	1267	4·16	13.51	7·23	18.62	9·10	22.0	49	
	镇远	27.03	108.24	464	3·11	13.21	8·08	21.17	9·30	26.9	53	
	零陵	26.14	111.36	174	3·11	13.12	8·10	23.79	9·25	29.6	46	60
	安顺	26.14	105.55	1392	3·16	13.21	8·06	18.72	9·20	22.6	45	
	郴县	25.45	112.59	185	3·11	13.16	8·08	23.61	9·25	29.2	48	60
	汇水	25.18	111.25	278	3·06	13.07	8·11	22.76	10·05	28.3	55	10
	昆明	25.01	102.41	1981	3·01	13.01	8·14	17.66	9·25	20.2	40	
腾冲	25.07	98.29	1648	3·11	13.17	8·09	17.76	10·05	19.7	57		
VII	杭州 *	30·19	120.12	72	3·26	13.53	8·02	22.89	9·20	29.3	49	40
	恩施	30.16	109.22	437	3·11	13.37	8·08	21.71	9·15	28.2	38	10
	金华	29.07	119.29	64	3·16	13.36	8·07	23.52	9·25	30.4	49	60
	丽水	28.27	119.54	63	3·16	13.21	8·10	23.40	9·30	30.1	51	60
	建区瓦	27.03	118.19	154	3·01	13.12	8·12	23.12	9·30	28.9	49	50
	长乐	25.56	119.24	6	3·01	13.07	8·13	22.62	10·05	28.6	53	50
	新竹	24.50	120.56	80	1·16	12.64	8·31	22.90	10·25	28.7	55	60
	连县 *	24.47	112.23	98	3·01	13.01	8·14	23.77	10·05	28.7	52	60
	英德	24.10	113.54	297	2·11	12.83	8·19	24.79	10·15	29.1	57	60

注:有* *县市为代表纬度

3 讨 论

3.1 关于无野生大豆区光温综合作用与群落形成的问题

(1) I、II、III区以西,IV区以北,早春降水少,自然出苗期晚及土壤沙化影响群落生存。(2) V、VI区以西高海拔地带,32~28°N常年最高平均温度 $<16.5^{\circ}\text{C}$;27~25°N常年最高平均温度 $<20.5^{\circ}\text{C}$,例如昆明试验点,在光温综合作用图中,气温在自然光照线以下^{[4][11]},反应抑制发育而无野生大豆。(3)30°N以南常年气温偏高,自然生长期长,出现自然临界温度 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 的生长期达60d,成熟种子落地后当年出苗(不割皮种在昼25°C,夜15°C条件下播后14d出苗率达92%),出苗后遇低温被冻死而无野生大豆,例如重庆,雅安。(4)25°N以南常年最低平均温度 $>11^{\circ}\text{C}$,冬季夜温 0°C 以下或干旱,有野生大豆,例如新竹(25°N),英德(24°N),年平均温度达20°C,冬季夜温 $>0^{\circ}\text{C}$,属亚热带高温,无一年生野生大豆。

3.2 关于研究光温综合作用理论的意义

根据自然临界光照、自然临界温度、大豆叶片感光效应研究大豆生长发育,不仅改变长期大豆光温生态研究中对大豆短日性反应规律与原产地自然条件有关的一般性结论,而且提出了不同光温条件下生长发育阶段和生长发育速度。光温综合作用理论适用于我国各纬度,研究手段简单,具有普遍意义。目前我国大豆单产经品种改良虽不断提高,但与其他作物比较仍是低产作物。低产原因与短日性有关,与叶片感光效应特点有关。通过光温综合作用与生长发育关系的研究,揭示了叶片感光效应与生长发育的内在关系,对育种和改进栽培技术有重要意义。就公主岭气候条件提出下列看法:

育种方面:(1)从光温综合作用与大豆进化研究看出,开花节位、成熟期节数、结荚习性均与叶片大小有关。认为选育开花节位低,成熟期节数高的品种,应考虑最佳叶形、叶色和叶片大小。(2)典型长光效应材料对温度的适应性强,选育适应性强的品种可考虑用46°N以北材料做亲本。(3)大豆三系中的不育系,在光温综合作用研究中称畸形荚,认为大豆三系研究应在光温制约作用最小的地区,即在40°N至35°N栽培大豆起源地进行较好些。如在40°N以北地区研究,采用适当晚播来延长临界光照,提高临界温度的办法。在公主岭研究采用南移2~3°N材料,同样起到减少光温制约作用的效果。

栽培方面:(1)2复叶节是适宜光照的起点开花节位,根据2复叶以后温度促进生长提高开花节位的原理,认为栽培大豆在2复叶发生后施肥,起促进生长又增花的效果。(2)野生大豆分蔓搭架,主茎花荚脱落率达58%,说明花荚脱落不是通风透光不良,而是光温综合作用过程中营养不足出现的自然现象。40°N以北大豆开花前遇雨季。大豆需水规律中出现的水调氮效果,花前追肥不仅不利大豆发育,而且因营养生长过快而倒伏,认为减少花荚脱落采用叶面施肥,能达到既促进发育又不抑制生长的效果。(3)在育种过程中出现一些丰产长相极好的材料,这些材料因生长期长而被淘汰,如果采用地膜来延长生长期,也是提高单产措施之一。

解决大豆低产是一个综合工程问题,需要多专业共同攻关。

参 考 文 献

- 1 徐 豹等.中国野生大豆生态类型的研究.中国农业科学.1987,20(5):29-35(8-14)
- 2 路琴华.光温综合作用与野生大豆营养生长关系的研究.吉林农业科学.1994,1:1-8
- 3 路琴华.光温综合作用与野生大豆生殖生长关系的研究.吉林农业科学.1995,1:8-15

- 4 路琴华等. 光温综合作用与野生大豆种群生态. 吉林农业科学. 1995, 2: 1-8
- 5 路琴华等. 光照长度划分原则及光温综合与野生大豆生长发育关系的研究. 吉林农业科学. 1995, 4
- 6 路琴华等. 复式光温综合作用与野生大豆、栽培大豆开花期生育指标的研究. 吉林农业科学. 1996
- 7 路琴华等. 光温综合作用与大豆进化的研究. 北京农业大学 90 周年校庆专辑. 农业经济学报. 1995, 5: 54-65
- 8 路琴华. 大豆叶片感光效应与生长发育关系的研究. 吉林农业科学. 1994, 4: 1-7
- 9 徐豹等. 野生大豆控光和自然条件下开花临界光周期的研究. 大豆科学. 1991, 10(2): 85-93
- 10 路琴华. 野生大豆自然临界温度的研究. 吉林农业科学. 1993, 1: 77-83
- 11 路琴华等. 原产地自然光温综合作用与野生大豆生长发育关系的研究. 种质资源拓宽与改良. 黑龙江科技出版社. 1995, 222-230
- 12 徐豹等. 大豆起源地的三个新论据. 大豆科学. 1986, 5(20): 123-130(114-121)
- 13 中华人民共和国气候图集. 1979, 北京地图出版社
- 14 中央气象局. 中国气候资料. 1961-1970 年

Study on Soybean Ecology Double Comprehensive Effect of Light and Temperature and the Ecotypes of Soybean of Different Evolutionary Types of China *

LU Qinhuo and WANG Yumin

(*Soybean Institute, Jilin Academy of Agri. Sci., Gongzhuling 136100*)

Abstract According to the natural critical photoperiod and temperature of 2963 soybean accessions of different evolutionary types in their origination locations, and the rules in which the double comprehensive effect occurred, when the accessions grow under the natural temperature in Gongzhuling and 13.5 hour daylength, we determined the ecotypes of soybean in China, and pointed out the natural critical photoperiod and temperature of 74 counties and cities located at different latitude and height, discussed the relationship between comprehensive effect of light and temperature where there is no wild soybean and the formation of community and the importance of studying the theory of the comprehensive effect of light and temperature.

Key words Double comprehensive effect of light and temperature, Suitable light, Typical long daylength, Abnormal pod, Delay podding