

# 不同温度型大豆花后上中节位叶片的生理特性\*

张静春,王长发\*,姚有华,朱峰

(西北农林科技大学 农学院,陕西杨陵 712100)

**摘要:**以暖型大豆品种 94101 与冷型品种汾豆 55 为试验材料,分别测定上、中层节位叶片的净光合速率、叶绿素、可溶性蛋白质含量。结果发现,在叶片功能期冷型汾豆 55 上层与中层均高于暖型 94101 的上、中层。2 品种上层节位处于有利的空间位置,其叶片净光合速率、叶绿素、可溶性蛋白含量均高于中层节位。中层叶片遮阴、郁闭活性较弱,影响其功能发挥。产量测定表明,冷型汾豆 55 各层次都极显著高于暖型 94101 的各层次。94101 上层产量显著高于中层;汾豆 55 则是中层显著高于上层。这源于冷型汾豆 55 良好的株型以及中层叶片较长的叶功能期和较大的叶面积。

**关键词:**冠层温度;大豆;光合作用;生理特性

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1004-1389(2010)05-0089-05

## Physiological Characteristics of Upper-middle Leaf after Flowering in Different Temperature-differentiated Soybean

ZHANG Jingchun, WANG Changfa\*, YAO Youhua and ZHU Feng

(College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to research the changing of the physiological characteristics and yield at different temperatures, the net photosynthetic rate, the chlorophyll and soluble protein content of the upper and middle leaves were measured in the warm-type soybean 94101 and cold-type soybean Fendou 55. The results showed that the net photosynthetic rate, chlorophyll, and content of soluble protein of the upper and middle leaves in cold-type Fendou 55 were higher than those of warm-type 94101. Since the upper leaves positioning in the favorable space, so the net photosynthetic rate, the contents of chlorophyll and soluble protein in leaves were higher than in the middle leaves in both varieties. The activity of shading and canopy in the middle leaf is weaker, affecting its function. Yields of cold-type Fendou 55 at all levels are were significantly higher than those of the warm-type 94101. Considering, the upper yield of 94101 was significantly higher than the middle, but for Fendou 55, the middle yield was significantly higher than the upper. This is due to the good plant type, longer functional period of the middle leaves and larger LAI (leaf area index) of cold-type Fendou 55.

**Key words:** Canopy temperature; Soybean; Photosynthesis; Physiological characteristics

大豆种质资源丰富多样,仅中国现存就有 20 000 多份。近年发现一些冠层温度较低的品种,且年际间稳定地表现为冠层温度偏低,并伴有较强的生理活性与抗衰老特性<sup>[1-3]</sup>。参照张嵩

午对冷型小麦与暖型小麦的定义<sup>[4]</sup>,将之划分为冷型大豆之列。大豆源库关系复杂,具有“局部”、“就近”供应的特点<sup>[5-6]</sup>,上、中、下节位叶片的光合产物贮存在本节位的籽粒中<sup>[7-8]</sup>。前人通过剪叶

\* 收稿日期:2009-12-12 修回日期:2010-01-06

基金项目:国家自然科学基金项目(30370859)。

作者简介:张静春,男,在读硕士研究生,研究方向为作物生理生态。E-mail:hasuhaizhang@126.com

\* 通讯作者:王长发,男,副教授,主要从事作物种质资源与生理生态研究。E-mail:wangchangfa@163.com

去荚等试验证明大豆源库有较强的叶荚对应关系,上层节位具有较大叶面积则该处荚密、荚多、籽粒饱满,反之则荚少粒小<sup>[9-11]</sup>。

已有的研究多集中于上层节位的叶面积指数研究,较少涉及到中层节位叶片,也较少涉及到产量生理特性和不同层次的产量。本研究发现,冷型的汾豆 55 植株呈塔形结构,叶片上小中间大,中层拥有较大叶面积。中层节位的叶片不仅为该层次豆荚提供有机物质并且在上层叶片完全展开之前为上层节位的花荚分化与地下的根瘤菌固氮提供养分<sup>[12]</sup>。为进一步探讨不同温度型之间的差异,针对冷暖型大豆上中层叶片的生理特性与层次产量详细进行阐述,以期发现冷型材料的优势,丰富种质资源。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验于 2009 年在渭河谷地的西北农林科技大学农作一站进行,该站位于东经 108°04',北纬 34°20',属暖温带半湿润气候,年平均气温 12.9℃,年平均降水量 623.2 mm。试验地前作空茬,于麦收后 6 月 13 日播种,采用随机区组试验设计,每品种 5 行,行长 3.5 m,行距 50 cm,重复 3 次。播前施过磷酸钙 750 kg/hm<sup>2</sup>,尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>。参试品种均来自黄淮海地区,共 12 个,本文选择有代表性的冷暖型品种各一个进行分析。暖型为 94101,其株型较高、披针叶倾角较大。冷型为汾豆 55,其株型紧凑节间较短,荚密荚多。

### 1.2 试验方法

冠层温度的观测用 BAU-I 型红外测温仪进行,其分辨率为 0.1℃,精确度为常温±0.2℃,响应时间 2~3 s,视场角为 5°。于始花期(R1)开始在晴天 13:00—15:00 测定各品种冠层温度。测定时选择植株群体生长均匀一致且具代表性层位观测,并小心避开裸地的影响。为确保测定结果的精确性,对每个品种的 3 次重复进行往返观测后以其 6 个温度的平均值作为当日冠层温度的最终观测值。

净光合速率用美国产的便携式 LI-6400 型光合测定仪,选择天气晴朗,气温适中、湿度、风速较小时测定。叶绿素含量采用 80% 丙酮低温浸提法<sup>[13]</sup>测定。可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝-250 蛋白染色法<sup>[13]</sup>测定。

分别于始荚期(R3)、盛荚期(R4)、始粒期(R5)、盛粒期(R6)、鼓粒期(R6.5)、始熟期(R7)测定上、中层叶片叶绿素与可溶性蛋白含量。净光合速率有选择性的测定了始荚期(R3)、盛荚期(R4)、盛粒期(R6)、始熟期(R7)。上层叶片取样均为上数第 3 片展开叶,中层叶片以有效结荚的中层节位为准。产量分上、中、下 3 层测定,将有效节位平均分为 3 段即上中下 3 个层次的产量。

### 1.3 数据处理

数据处理采用 SPSS 13.0,作图采用 origin 7.5 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 冠层温度

在一个相对稳定的生态条件下,土壤、温度、栽培措施等相对一致的农田小气候范围内,花后生殖生长进程中冠层温度持续偏低者为冷型大豆;反之持续偏高者为暖型大豆;还有一种在整个生殖生长阶段冠层温度起伏较大,时高时低不稳定者属于中间型。从始花期(R1)开始于晴天 13:00—15:00 测定冠层温度直到始熟期为止(R7)。绘图时以当地主推品种秦豆 8 号作基准线,按照生育期进程为顺序作图(图 1)。

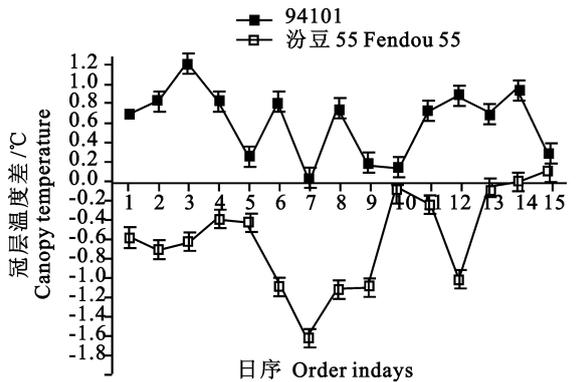


图 1 不同基因型大豆冠层温度变化  
Fig. 1 Changes of canopy temperature in different soybean genotypes

由图 1 可见,冷型大豆汾豆 55 冠层温度除在最后日序略高于对照品种外,其他日序均在基准线之下,且随着生育期进程表现为稳定偏低,符合冷暖型大豆的定义;反之 94101 则位于基准线秦豆 8 号之上。冠层温度虽然受大气温度、光照影响较大,但是在大豆的生育后期,冠层温度呈现逐步升高的趋势,这是由于植株活力减弱,蒸腾速率下降所致。在第 6~9 日序附近,该时期正是盛荚

期(R4),也是大豆代谢活性最强的时期,冠层温度差值也达到了最大。该时期也是冷暖型大豆叶绿素和可溶性蛋白质含量差值最大的时期。

## 2.2 净光合速率

植物体产量的 90% 以上来源于光合作用,群体净光合速率与产量的关系极为密切<sup>[14]</sup>。分别于始荚期(R3)、盛荚期(R4)、盛粒期(R6)、始熟期(R7)测定上、中层叶片的净光合速率(图 2)。

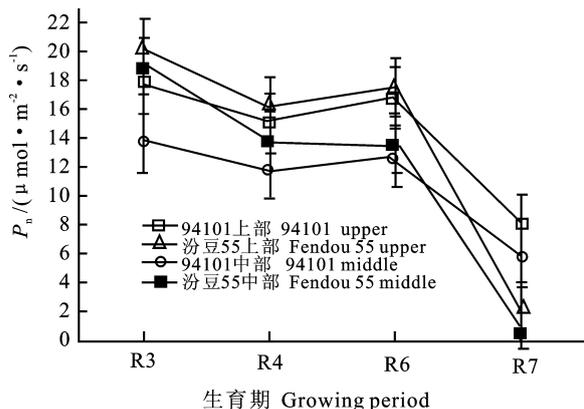


图 2 不同基因型大豆净光合速率变化

Fig. 2 Changes of net photosynthetic rate (NPS) in different soybean genotypes

由图 2 可见,在叶片的功能期,始荚期(R3)到始粒期(R6)净光合速率呈现较为平缓下降的趋势。冷型的汾豆 55 上、中层叶片净光合速率均高于暖型的 94101。冷型汾豆 55 上层叶片的净光合速率显著高于暖型 94101 中层( $P=0.013$ )。随着生育期的进行,优势逐渐变小,但是前者仍然高于后者。冷暖型品种上层叶片的净光合速率均高于中层,是由于上层叶片具有较好的通风透光条件所致;中层枝叶繁茂相互遮阴郁闭,在空间位置上处于不利位置,光合较低。冷型的汾豆 55 株型紧凑,上层叶倾角小、叶片较小、有利于光线向中层投射,且中层叶柄较长使得中层叶片处于较为有利的空间位置。暖型大豆 94101 上层叶片较大投向中层的光线较少,且中层叶片披散,不利于光合作用。这可能是冷型汾豆 55 中层叶片净光合速率大于暖型的 94101 的原因。

## 2.3 叶绿素含量

叶绿素是光合作用的基础,是叶片活力与衰老的表征。叶片功能的减弱首要表现为叶片变黄即叶绿素的解体。本研究发现叶绿素随生育期的动态变化呈现先升高后下降的趋势(图 3)。

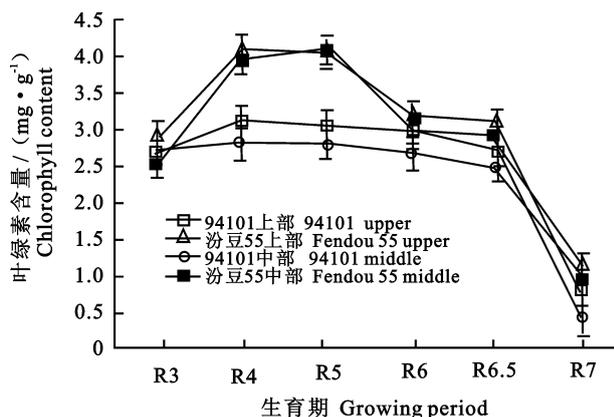


图 3 不同基因型大豆叶绿素含量变化

Fig. 3 Changes of chlorophyll content in different soybean genotypes

由图 3 可见,在叶片的功能期,叶绿素变幅较小较为平缓。在盛荚期(R4)达到最高。冷型的汾豆 55 上层叶片在叶功能期叶绿素含量显著高于暖型的 94101 中层叶片( $P=0.016$ )。除始荚期(R3)外,其他叶功能期的叶绿素含量均表现为冷型的各层次高于暖型的对应层次,尤其以盛荚期(R4)、始粒期(R5)、鼓粒期(R6.5)优势较为明显。这几个生育期也是产量形成最为关键的时期,较高的叶绿素含量有利于较高的光合速率最终形成较多的同化产物及较高的产量。在此 3 个生育期,冷型的汾豆 55 中层叶片的叶绿素含量超过了暖型的 94101 上层叶片叶绿素的含量。为汾豆 55 中层高产提供了基础。

## 2.4 可溶性蛋白质含量

抗衰老与催化光合作用进程的几种酶如超氧化物歧化酶(SOD)、RUBP 酶等都以可溶性蛋白的形式存在于叶肉细胞中,其含量的多少反映植

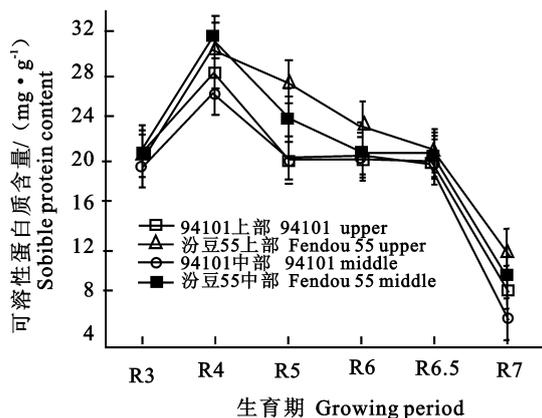


图 4 不同基因型大豆可溶性蛋白含量

Fig. 4 Changes of soluble protein content in different soybean genotypes

株体内酶含量与代谢活力的高低,最终影响到体内一系列的生化反应。是衡量叶片活性与叶功能持续期的重要生理指标(图4)。

由图4可见,随着生育期的进行,可溶性蛋白质含量呈现先上升后下降的趋势。在盛荚期(R4)达到最高,而后逐渐下降。叶功能期可溶性蛋白质含量始终表现为冷型的汾豆55上、中层大于暖型的94101上、中层。汾豆55中层叶片的可溶性蛋白质含量在盛荚期(R4)与上层叶片的含量相当,这可能是由于上层叶片幼嫩,中层叶片属

于壮龄叶的缘故所致。冷型的汾豆55中层叶片的可溶性蛋白含量在始荚期(R3)盛荚期(R4)、始粒期(R5)、盛粒期(R6)高于94101上层叶片的含量,表现出较强的活力,为该层次高产提供了基础。这一趋势与叶绿素含量的变化较为相似。

2.5 上中层产量与各生理指标的分析

在完熟期后收获,根据各品种的有效节数,分为上、中、下3个层次。各品种分别取有代表性的10株测定产量,并求其平均数作为该品种层次的产量(表1)。

表1 不同基因型大豆层次产量

Table 1 The level yield of different soybean genotypes

品种 Variety	层次 Level	产量/g Yield	0.05 显著水平 Significance	0.01 显著水平 Significance
汾豆 55 Fendou55	中层 Middle	7.74	a	A
汾豆 55 Fendou55	上层 Upper	7.17	b	A
94101	上层 Upper	5.42	c	B
汾豆 55 Fendou55	下层 Lower	5.34	c	B
94101	中层 Middle	4.75	d	B
94101	下层 Lower	1.98	e	C

方差分析表明,汾豆55的上、中、下3层产量都极显著高于94101的上、中、下层。汾豆55中层产量高于上层,达到显著水平,上层极显著高于下层;94101上层产量显著高于中层,中层极显著高于下层。

各生理指标之间也存在显著地相关性。净光合速率与叶绿素、可溶性蛋白之间的相关系数分别为 $r=0.826^{**}$ 与 $r=0.752^{**}$ 。叶绿素与可溶性蛋白之间的相关系数达到 $r=0.959^{**}$ 。以上指标之间均达到极显差异,3个指标之间呈高度的正相关性。

3 讨论

3.1 花后的生殖生长是产量形成的关键时期,该时期叶片的生理特性与叶功能持续期是高产的基础<sup>[15-18]</sup>。冷暖型品种的上、中层叶片的叶绿素与可溶性蛋白均在盛荚期(R4)达到最高。净光合速率在该生育期未达到最高峰,可能是由于测定净光合速率时的光照、温度、湿度、风速不同所致(不同生育期测定时大田条件不同)。从盛荚期(R4)起,随着生育期的进行,两个品种上、中层各叶片的净光合速率、叶绿素、可溶性蛋白都呈现逐渐下降的趋势。在整个叶片功能期稳定的表现为冷型的汾豆55各层次大于暖型的94101各层次。

在始熟期(R7)开始逐渐成熟,出现叶片变黄、叶绿素解体、酶活性降低等一系列生理生化的变化,各项指标都降到最低。

3.2 暖型94101株型披散,叶倾角较大、上层叶片大、叶面积大、通风透光条件较好,使上层产量显著地高于中层产量。中层叶片则遮阴郁闭处于劣势,不能充分发挥其功能,使该层次产量较低,从而影响整体的产量。冷型的汾豆55株型紧凑、叶倾角较小、叶片上小下大、呈塔形结构,使光照能够投射到冠层的中部,有利于中层的通风透光,充分发挥中层叶片的作用。该品种中层产量大于上层产量,且达到显著水平(0.05)。这可能是由于中层叶片展开早具有较长的叶功能期、较大的叶面积、荚多、荚密、库容量较大等所致。另外汾豆55中层叶片有较强的生理活性,输出的有机产物也多,有足量的有机物供给生殖器官,从而避免因营养供应不足而导致大豆的落花落荚。在上部叶片尚未展开之前可以为之提供有机养分的需求,有利于形成多荚,为日后灌浆提供了较大的贮存库。这也是冷型的汾豆55比暖型的94101荚多荚密、产量高的原因之一。

3.3 在始粒期(R5)出现了较长时期的连阴雨天气,暖型大豆94101有一定程度的倒伏,使中、下部通风透光条件进一步恶化,限制该层次产量的

发挥。冷型大豆在同样的逆境中保持有较强的抗倒伏性,未出现倒伏,使群体能够有很好的空间布局,利于高产。冷型大豆汾豆 55 在完熟期(R8, 120 d)成熟,叶片叶柄几乎完全脱落,表现出较好的落黄性。而暖型的 94101 在 127 天才成熟,且成熟时叶片有局部黄色,尚未干枯,豆荚已经变为成熟的颜色,叶片中仍然有尚未输出的有机产物,落黄性差。另外该品种生育期过长,影响当地冬小麦的播种时节,显示出不适于夏播的特点。在春播条件下汾豆 55 与 94101 生育期相当,冷型的汾豆 55 显示出良好的适应性。

迄今为止关于冷型大豆优越性的研究较少,冷型大豆的材料发现更少。随着红外测温技术的发展将会发现越来越多的冷型材料,这将会进一步丰富大豆种质资源库,为种质资源的鉴定、评价、利用做出重大贡献。

#### 参考文献:

- [1] 李永平,王长发,赵丽,等.不同基因型大豆叶片生理特性的研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):173-177.
- [2] 赵丽,王长发,李永平,等.不同温度型大豆与其叶片生理性状的关系研究[J].西北农业学报,2008,17(3):150-154
- [3] 李永平,王长发,赵丽,等.不同基因型大豆冠层冷温现象的研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(11):80-84.
- [4] 张嵩午,王长发.冷型小麦及其生物学特征[J].作物学报,1999,25(5):608-615.
- [5] 李新民,许忠仁.亚有限大豆源库关系的研究[J].大豆科学,1991,10(4):269-272.
- [6] Thorne J H, Ronald H. Influence of assimilate demand on

photosynthesis, diffusive resistances, translocation, and carbohydrate levels of soybean leaves[J]. Plant Physiol, 1974, 54:201-207.

- [7] 傅金民,张庚灵,苏芳,等.大豆籽粒形成期<sup>14</sup>C同化物的分配和源库调节效应的研究[J].作物学报,1999,25(2):169-173.
- [8] Pate J S, Sharkey P J, Atkins C A. Nutrition of a developing legume fruit functional economy in terms of carbon, nitrogen, water[J]. Plant Physiol, 1977, 59(3):506-510.
- [9] 金剑,刘晓冰,王光华.不同熟期大豆 R<sub>4</sub>-R<sub>5</sub> 期冠层某些生理生态性状与产量的关系[J].中国农业科学,2004,37(9):1293-1300.
- [10] 董钻.作物科学文选[M].北京:中国农业出版社,2008:137-141.
- [11] 张伟,谢甫锦,宋显军,等.大豆上部节位叶片生产效率的初步研究[J].作物学报,2007,33(5):853-856.
- [12] 董钻.大豆栽培生理[M].北京:中国农业出版社,1995:88-95.
- [13] 高俊凤.植物生理学试验技术[M].西安:世界图书出版社,2000:101-145.
- [14] 满为群,杜维广,张桂茹,等.高光效大豆几项光合生理指标的研究[J].作物学报,2003,29(5):697-700.
- [15] 杜维广,王育民,谭克辉.大豆品种(系)间光合活性的差异及其与产量的关系[J].作物学报,1982,8(2):85-90.
- [16] 张贤泽,马占峰,赵淑文,等.大豆不同品种光合速率与产量关系的研究[J].作物学报,1986,12(1):45-48.
- [17] Jiang H F, Egli D B. Soybean seed number and crop growth rate during flowering[J]. Agron J, 1995, 87: 164-167.
- [18] 金剑,刘晓冰,王光华,等.不同熟期及产量类型的大豆生殖生长期生理特性的比较研究[J].作物学报,2004,37(9):1293-1300.