

# 吉林省不同时期育成大豆品种叶片衰老过程中光合相关参数的研究

夏冬冬,何章,刘冰,白子裕,姚斌,李大勇,张治安

(吉林农业大学 农学院,吉林 长春 130118)

**摘要:**为了探明吉林省不同时期育成的栽培大豆品种在叶片衰老过程中光合相关参数变化,将1923-2006年划分为4个时期,第一时期为1960年以前、第二时期为1961-1980年、第三时期为1981-2000年和第四时期为2001年以后,以吉林省不同时期育成的20个栽培大豆品种为材料进行田间试验。用Li-6400光合测定仪在R2(开花期)、R4(结荚期)、R6(鼓粒期)和R7(成熟期)进行叶片光合相关参数测定。结果表明:不同时期育成大豆品种,在R4、R6和R7期净光合速率、叶绿素含量和比叶重皆表现为:第一时期<第二时期<第三时期<第四时期。从衰老进程来看,R4~R6期,不同时期育成大豆品种的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率及叶绿素含量下降值比皆表现为:第一时期>第二时期>第三时期>第四时期。R6~R7期,大豆品种比叶重下降值比表现为:第一时期>第二时期>第三时期>第四时期。这说明随着品种遗传改良,改善了大豆叶片光合相关参数,提高了叶片的光合作用,延长了光合时间,从而延缓叶片衰老,为产量的提高奠定物质基础。

**关键词:**栽培大豆;衰老;光合作用

**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.04.0569

## Study on Photosynthetic Parameters in Leaves Senescence of Soybean Varieties Released at Different Ages in Jilin Province

XIA Dong-dong , HE Zhang , LIU Bing , BAI Zi-yu , YAO Bin , LI Da-yong, ZHANG Zhi-an

(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** In order to find out the change of photosynthetic parameters during the senescence of soybean cultivars released in different ages in Jilin province, The time from 1923 to 2006 was divided into four periods; The first period was before 1960, the second period was 1961-1980, the third period was 1981-2000 and the fourth period was after 2001. Twenty soybean cultivars released in different periods of Jilin province were used for field experiment. The photosynthetic parameters of leaves were measured by Li-6400 photosynthesis apparatus at R2 (flowering stage), R4 (podding stage), R6 (granule stage) and R7 (maturation stage). The results showed that during R4, R6 and R7 the net photosynthetic rate, chlorophyll content and specific leaf weight of soybean cultivars cultivated in different periods were as follows: the first period < the second period < the third period < the fourth period. In the process of senescence, the net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate and chlorophyll content of soybean cultivars from different stages of R4 to R6 were as follows: the first period > the second period > the third period > the fourth period. From the R6 to the R7 stage, the specific leaf weight decline ratio performance as follows: the first period > the second period > the third period > the fourth period. This indicated that with the genetic improvement of the varieties, the photosynthetic parameters of soybean leaves were improved, the photosynthesis of the leaves was increased, the photosynthetic time was prolonged, and the leaf senescence was delayed, which laid the material foundation for the improvement of the yield.

**Keywords:** Cultivated soybean; Senescence; Photosynthesis

栽培大豆(*Glycine max* (L.) Merr.)是我国最重要的粮食和经济作物,在吉林省是仅次于玉米和水稻的第三大作物<sup>[1]</sup>。研究表明,吉林省不同时期育成的大豆品种,随着育成年代的递增,其产量也随之有不同程度的提高<sup>[2-3]</sup>。大豆产量的提高是品种遗传改良和合适栽培技术共同结合的结果<sup>[4-5]</sup>。作物产量有90%~95%来自于光合作用过程中形成的产物,这是作物高产的生理机能体现,因此光合作用是影响作物产量重要因素<sup>[6]</sup>。叶片是感受光合作

合作用最敏感的器官,其生长、发育和衰老的机理研究与作物产量密切相关<sup>[7]</sup>。李大勇等<sup>[8]</sup>对不同年代大豆品种叶片光合特性发现,新品种的光合特性高于老品种,叶片的净光合速率与产量相关最显著。据孙玉莹等<sup>[9]</sup>研究指出,因生物或非生物胁迫导致的作物叶片早衰,可使作物产量下降50%,是世界范围内粮食产量损失的主要原因<sup>[10]</sup>。有研究报道,如果延长水稻成熟后期叶片寿命1 d,产量可增加1%~2%,实际可增产至1%,这说明在此期间

收稿日期:2017-02-15  
基金项目:国家自然科学基金(31171459);吉林省自然科学基金(20140101143JC)。  
第一作者简介:夏冬冬(1992-),男,硕士,主要从事作物产量生理研究。E-mail:1148130782@qq.com。  
通讯作者:张治安(1964-),男,博士,教授,博导,主要从事作物高产生理理论研究。E-mail:zhangzhan6412@163.com。

延缓叶片衰老,有利于提高叶片光合性能,对于提高产量至关重要<sup>[11]</sup>。但关于不同时期育成大豆品种叶片衰老过程中有关光合参数研究较少。本文将1923-2006年育成的具有代表性、同熟期的20个栽培大豆品种分为4个不同时期,研究不同时期育成大豆品种叶片在衰老过程中有关光合参数的变化规律,以期调控延缓叶片的衰老,防止叶片衰老过早发生提供参考,对作物栽培技术、良种选育及提高产量具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

将1926-2006年吉林省育成的栽培大豆品种可划分为4个时期,第一时期为1960年以前用A表示,第二时期为1961-1980年用B表示,第三时期为1981-2000年用C表示,第四时期为2001年以后用D表示;供试的20份品种(表1),均由吉林农业大学和吉林农科院大豆中心提供。

表1 供试材料  
Table 1 Test material

育成时期 Breeding period			
A	B	C	D
满仓金	早丰一号	吉林 21	吉育 66
Mancangjin	Zaofeng 1	Jilin 21	Jiyu 66
金元1号	吉林4号	吉林 31	吉农 15
Jinyuan 1	Jilin 4	Jilin 31	Jinong 15
小金黄2号	吉林8号	吉林 35	吉农 16
Xiaojinhuang 2	Jilin 8	Jilin 35	Jinong 16
四粒黄	吉林 16	吉林 38	吉农 19
Silihuang	Jilin 16	Jilin 38	Jinong 19
集体5号		吉农 8号	吉农 24
Jiti 5		Jinong 8	Jinong 24
集体4号			
Jiti 4			

### 1.2 试验设计

试验于2015-2016年在吉林农业大学农学试验田中进行。试验地区大豆生长季节为5-10月份,试验土是黑壤土,前茬为玉米。采用随机区组试验设计,3次重复,每个大豆品种种植在长5 m,宽3.9 m的小区中,种植6行,行距0.65 m,在同一栽培条件下,进行大豆种植,密度为20万株·hm<sup>-2</sup>。测定时期部位:在试验地大豆开花期标记第3节位叶片,每个小区标记30株。测定时期:开花期(R2)、结荚期(R4)、鼓粒期(R6)、成熟期(R7)。在开花期到成熟期期间,用Li-6400型光合仪测定该

部位的叶片光合作用,比叶重,叶绿素含量。

### 1.3 测定项目与方法

光合作用测定:用Li-6400型光合仪,采用固定红蓝光源,光量子通量密度为1 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,选择晴朗天气上午9:00~11:30,测吉林省不同时期育成大豆品种,在开花期(R2)、结荚期(R4)、鼓粒期(R6)、成熟期(R7)叶片的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs),胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci),蒸腾速率(Tr),做完田间光合作用的测定试验后<sup>[12]</sup>,摘下该部位的叶片,放入带冰的保温箱中,带回实验室,储存于-70℃超级冰箱。利用乙醇-丙酮浸泡法<sup>[12]</sup>,测定叶片叶绿素含量。比叶重测定用叶片打孔烘重法<sup>[12]</sup>,用直径1.5 cm打孔器打主脉两测叶片50片放入称量瓶中,于110℃杀青15 min,80℃烘干至恒重,于电子天平称重<sup>[12]</sup>。

### 1.4 数据分析

利用Excel 2007和SPSS 22.0(SPSS Inc, USA, IL; Chicago)进行数据处理与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同时期育成大豆品种叶片净光合速率变化

从图1可以看出,不同大豆品种叶片净光合速率随着生育时期推进呈现先升高后下降的变化趋势。在R4期最大,之后开始逐渐下降,至成熟期最小。在R4期,第四时期育成大豆叶片净光合速率分别比第一时期提高16.1%,第二时期提高11.7%,第三时期提高3.4%,第四时期与第一时期和第二时期之间差异显著。在R6期,第四时期育成大豆的净光合速率比第一时期提高75.6%,比第二时期提高29.8%,比第三时期提高18.0%,差异显著。

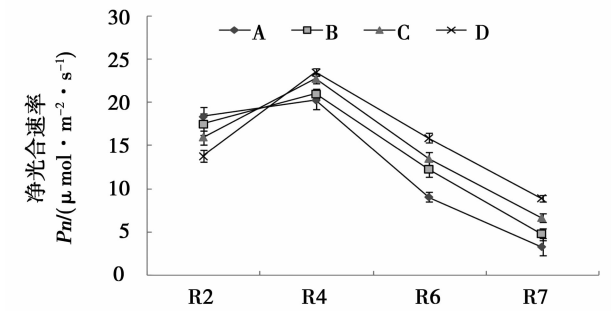


图1 不同时期育成大豆品种叶片净光合速率变化  
Fig. 1 Changes of net photosynthetic rate of leaves in different soybean cultivars at different ages

从衰老进程看,R4~R6期,大豆品种叶片净光合速率下降速度表现为:第一时期下降55.31%,第二时期下降41.8%,第三时期下降40.79%,第四时

期下降 32.43%,第四时期与第一时期差异显著。不同时期育成大豆品种叶片净光合速率下降值比表现为:第四时期<第三时期<第二时期<第一时期。R6~R7 期,第一时期大豆品种叶片净光合速率下降 63.58%,第二时期下降 61.41%,第三时期下降 50.79%,第四时期下降 44.06%,第四时期与第一时期差异显著。这说明在 R4~R6 期间光合下降缓慢,从而大豆衰老速度表现缓慢,而 R6~R7 期,光合速率下降较快,从而衰老速度表现较高。

2.2 不同时期育成大豆品种叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化

从图 2 可以看出,不同大豆品种叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度随着生育时期的推进呈现下降的变化趋势。开花期最大,之后开始逐渐下降,至成熟期最小。在 R4 期,第四时期大豆品种叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度分别比第一时期提高 2.4%,第二时期提高 6.5%,第三时期提高 3.6%。在 R6 期,第三时期大豆比第一时期提高 7.6%,比第二时期提高 31.8%,比第四时期提高 11.0%。

从衰老进程看,R4~R6 期,第一时期育成大豆品种叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度下降 17.0%,第二时期下降 29.6%,第三时期下降 9.6%,第四时期下降 21.4%。R6~R7 期,第一时期育成大豆品种胞间 CO<sub>2</sub> 浓度下降 42.5%,第二时期下降 38.5%,第三时期下降 43.2%,第四时期下降 45.3%。

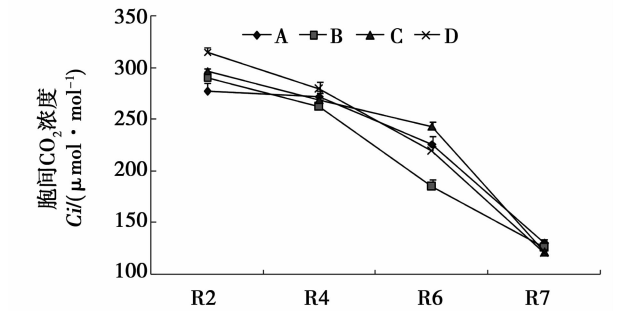


图 2 不同时期育成大豆品种胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化  
Fig. 2 Changes of intercellular CO<sub>2</sub> concentration in soybean varieties at different ages

2.3 不同时期育成大豆品种叶片气孔导度变化

从图 3 可以看出,不同大豆品种叶片气孔导度随着生育时期的推进呈现先升高后下降的变化趋势。R4 最大,之后开始逐渐下降,至成熟期最小。在 R4 期,第四时期大豆叶片气孔导度分别比第一时期提高 18.4%,第二时期提高 12.9%,第三时期提高 8.6%,差异显著。在 R6 期,第四时期比第一时期提高 31.0%,比第二时期提高 12.4%,比第三时期提高 8.3%,差异显著。

从衰老进程看,R4~R6 期,第一时期大豆品种叶片气孔导度下降 42.26%,第二时期下降 53.5%,第三时期下降 35.9%,第四时期下降 36.14%。从 R6~R7 期,第一时期下降 66.5%,第二时期下降 57.3%,第三时期下降 57.7%,第四时期下降 53.7%。气孔导度下降值比表现为:第四时期<第二时期<第三时期<第一时期。这说明在 R4~R6 期阶段,大豆衰老速度表现缓慢,而 R6~R7 期,衰老速度表现较高。

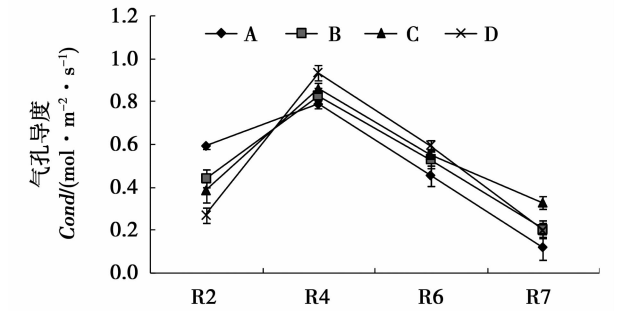


图 3 不同时期育成大豆品种叶片气孔导度变化  
Fig. 3 Changes of stomatal conductance of soybean varieties cultured at different ages

2.4 不同时期育成大豆品种叶片蒸腾速率变化

从图 4 可以看出,不同时期育成大豆品种叶片蒸腾速率随着生育时期的推进呈现先升高后下降的变化趋势。R4 期的蒸腾速率最大,之后开始逐渐下降,至成熟期最小。在 R4 期,第四时期大豆叶片蒸腾速率分别比第一时期降低了 17.5%,第二时期降低 19.3%,第三时期降低 15.4%,差异显著。在 R6 期,第四时期比第一时期提高 40.0%,比第二时期提高 24.2%,比第三时期提高 6.7%,第四时期与第一时期,第二时期之间差异显著。

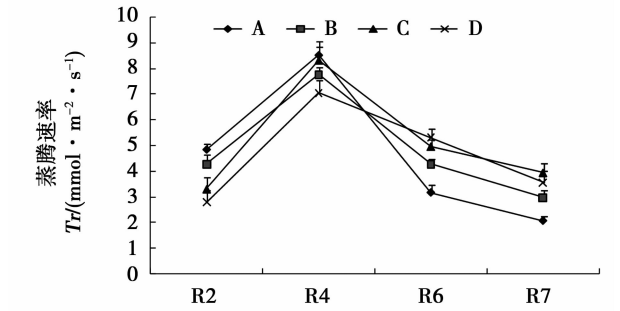


图 4 不同时期育成大豆品种叶片蒸腾速率变化  
Fig. 4 Changes of transpiration rate of cultivated soybean cultivars at different ages

从衰老进程看,R4~R6 期,第一时期大豆叶片蒸腾速率下降 63.01%,第二时期下降 45.1%,第三时期下降 40.4%,第四时期下降 24.6%,差异显著。不同时期育成大豆品种叶片蒸腾速率降低值比表

现为:第四时期 < 第三时期 < 第二时期 < 第一时期。R6 ~ R7 期,第一时期下降 40.0%,第二时期下降 30.5%,第三时期下降 20.7%,第四时期下降 33.0%,第四时期与第一时期差异显著。这说明在 R4 ~ R6 期阶段,大豆衰老速度表现缓慢,而 R6 ~ R7 期,衰老速度表现较高。

2.5 不同时期育成大豆品种叶片叶绿素变化

从图 5 可以看出,不同大豆品种叶绿素含量随着生育时期的推进呈现先升高后下降的变化趋势。结荚期的最大,之后开始逐渐下降,成熟期最小。在 R4 期,第四时期大豆叶片叶绿素含量分别比第一时期提高了 16.1%,第二时期提高 12.1%,第三时期提高 8.1%,差异显著。在 R6 期,第四时期比第一时期提高 25.3%,比第二时期提高 21.0%,比第三时期提高 10.6%,差异显著。

从衰老进程看,R4 ~ R6 期,第一时期大豆叶片叶绿素含量下降 44.5%,第二时期下降 37.8%,第三时期下降 39.4%,第四时期下降 37.9%。从 R6 ~ R7 期叶绿素含量,第一时期下降 58.5%,第二时期下降 58.3%,第三时期下降 59.9%,第四时期下降 63.9%。这说明在 R4 ~ R6 期阶段,叶绿素含量下降较为缓慢,从而大豆衰老速度表现缓慢,而在 R6 ~ R7 期期间,叶绿素含量下降较快,从而衰老速度表现较高。

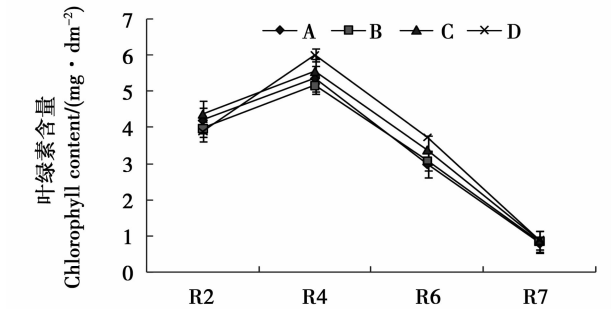


图 5 不同时期育成大豆品种叶片叶绿素变化  
Fig. 5 Changes of chlorophyll content in leaves of soybean varieties

2.6 不同时期育成大豆品种叶片比叶重变化

从图 6 可以看出,不同大豆品种叶片比叶重随着生育时期的推进呈现先升高后下降的变化趋势。鼓粒期最大,之后开始逐渐下降,至开花期最小。在 R4 期,第四时期大豆叶片比叶重分别比第一时期提高了 27.0%,第二时期提高 20.6%,第三时期提高 9.4%,差异显著。在 R6 期,第四时期比第一时期提高 26.1%,比第二时期提高 19.8%,比第三时期提高 14.0%,差异显著。

从衰老进程看,R4 ~ R6 期,第一时期大豆品种叶片比叶重增长 23.6%,第二时期增长 16.6%,第

三时期比叶重增长 11.2%,第四时期增长 15.8%。从 R6 ~ R7 期,第一时期大豆叶片比叶重降低 26.7%,第二时期降低了 17.4%,第三时期降低 14.6%,第四时期降低 15.2%,第一时期与第四时期之间差异显著。比叶重下降值比表现为:第二时期 < 第三时期 < 第四时期 < 第一时期。

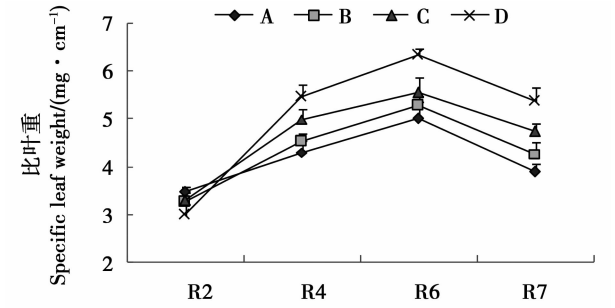


图 6 不同时期育成大豆品种叶片比叶重变化  
Fig. 6 Changes of leaf weight in soybean cultivars at different ages

3 结论与讨论

大豆是全冠层都具有光合生产能力的经济作物,从开花期到结荚期是大豆生长、代谢最旺盛的时期,至结荚期过后大豆开始出现逐渐衰老。在衰老过程中大豆叶片会出现叶绿体的降解,伴随着叶绿素含量下降,蛋白质等大分子物质降解,光合磷酸化能力降低,光合作用减弱等生理特性的变化<sup>[13]</sup>。光合作用是植物叶片中的叶绿素利用太阳能将水和二氧化碳合成为有机物并释放氧气的过程。光合作用与光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率之间变化密切相关。本研究发现,吉林省不同时期育成的大豆品种叶片在衰老过程中,净光合速率表现为:第一时期 < 第二时期 < 第三时期 < 第四时期,与庄波等<sup>[14]</sup>研究发现随着品种遗传改良老品种的光合能力显著低于新品种一致。同 Morrison 等<sup>[15]</sup>研究结果相一致,但净光合速率下降值比表现为:第一时期 > 第二时期 > 第三时期 > 第四时期。这些结果说明随着品种遗传改良,在衰老过程中,第四时期育成大豆品种叶片仍保持较高的光能利用能力,同时也延长了大豆高光合效率的时间,为产量的提高提供物质基础。气孔导度是植物叶片在进行光合作用时,光合作用底物 CO<sub>2</sub> 与叶片气孔之间的交换能力,是影响光合作用强弱的主要参数之一。本研究发现,在衰老过程中,不同大豆品种叶片气孔导度下降值比表现为:第一时期 > 第二时期 > 第三时期 > 第四时期。而不同时期育成品种在不同生育时期叶片气孔导度有所不同,表现为:第一时期 < 第二时期 < 第三时期 < 第四时期。

与孟田等<sup>[16]</sup>研究发现大豆品种随着育成年代的推移,气孔导度不断提高,同郑殿君等<sup>[17]</sup>研究发现低产大豆品种气体交换能力显著低于高产大豆品种研究结果相一致。这些说明在衰老过程中,第四时期育成大豆品种叶片,拥有良好的气孔导度,是引起光合作用较高的原因,导致产量的提高。在对蒸腾速率降低值比的研究中,发现第一时期下降速度最快,其次是第二时期,再次是第三时期,最后是第四时期。说明在衰老过程中,第四时期育成大豆品种叶片,仍保持较强的新陈代谢来维持生命活动。且还发现第四时期育成品种在 R4 ~ R6 期阶段,其蒸腾速率低于其它育成时期,但净光合效率却高于其它育成时期。这说明第四时期育成品种在衰老过程中对水分的利用率强于其它时期育成品种。与朱末等<sup>[18]</sup>研究发现吉林省新育成的大豆品种更有效的利用水分,减少对水的消耗;以及李大勇等<sup>[19]</sup>研究发现栽培大豆叶片比半栽培大豆和野生大豆对水分的利用效率具有优势研究结果相一致。

叶绿素存在于高等植物叶片中,主要包括叶绿素 a 和叶绿素 b,叶绿素的含量与植物光能利用率和光合作用产物的积累有关,其含量变化是影响光合的重要因素<sup>[20]</sup>。本研究发现,大豆品种在衰老过程中叶绿素含量表现为:第一时期 < 第二时期 < 第三时期 < 第四时期,差异显著,与李大勇等<sup>[21]</sup>研究发现比叶重和叶绿素含量等指标,随着育成年代的增加有提高,以及赵洪祥等<sup>[22]</sup>研究发现不同时期培育的大豆品种叶绿素含量在不同生育时期与育成年代呈显著正相关研究结果相一致。这些说明第四时期大豆品种叶片在衰老过程中拥有较高的叶绿素含量,较长的持续时间,对光能的吸收、传递、固定能力增强,从而光合作用增强,用于合成产量的光合产物增多。但在衰老过程中,不同时期育成大豆品种叶绿素含量降解值比差异不显著。比叶重是反映光合作用合成的产物及其分配趋势的生理指标。本研究发现在衰老过程中,不同大豆品种叶片比叶重含量表现为:第一时期 < 第二时期 < 第三时期 < 第四时期,这与据刘国宁等<sup>[6]</sup>研究发现不同时期育成的大豆品种叶片比叶重与育成年代之间显著正相关(相关系数  $r = 0.61$ ) 研究结果相一致。在衰老过程中,不同时期育成大豆品种叶片比叶重下降值比表现为:第四时期 < 第三时期 < 第二时期 < 第一时期,差异显著。这些测定结果表明:第四时期大豆品种叶片比叶重下降值比最小,一方面反映其在衰老过程中,仍保持较强的光合作用,为作物提供源,另一方面也反映出用于作物库积累产生的源高于其它时期培育品种。

本文对吉林省 4 个时期育成大豆品种从开花期到成熟期进行研究,大豆至结荚期过后开始出现衰老,在衰老过程中,不同大豆品种间叶片相关光合参数变化表现有所不同。第四时期育成的大豆品种在衰老过程中,光合作用高于其它时期育成品种。与光合作用相关参数净光合效率、胞间  $\text{CO}_2$  浓度、气孔导度、比叶重含量、叶绿素含量在衰老过程中均表现为:第一时期 < 第二时期 < 第三时期 < 第四时期,差异显著。而蒸腾速率下降速度方面,在 R4 期表现为:第四时期 < 第二时期 < 第三时期 < 第一时期,差异显著,而在 R6 期表现为:第四时期 > 第三时期 > 第二时期 > 第一时期,差异显著。

不同大豆品种在衰老过程中,在不同的生育时期阶段光合作用变化有所差异。从大豆衰老进程来看,不同时期育成的大豆品种光合相关参数净光合速率、比叶重、蒸腾速率降低值比表现为:第四时期 < 第二时期 < 第三时期 < 第一时期,差异显著。而气孔导度,在 R4 ~ R6 期表现为:第四时期降低值比最低,其次是第三时期,最后是第二时期的降低值比最高,差异显著。同时在胞间  $\text{CO}_2$  浓度方面,第四时期下降速度显著高于其它时期育成品种,差异显著。但在衰老过程中叶绿素含量降低值比,差异不显著。随着品种遗传改良,改善了第四时期育成的大豆品种,提高了叶片的光合作用,延长了光合时间,从而延缓叶片衰老,为产量的提高奠定物质基础。

## 参考文献

- [1] 徐晨,张鹏,徐克章,等. 干旱胁迫对不同大豆品种叶片光合及生理特性的影响[J]. 中国油料作物学报,2013,35(6):674-679. (Xu C, Zhang P, Xu K Z, et al. Effects of drought stress on leaf photosynthesis and some physiological traits in different soybean cultivars[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(6):674-679.)
- [2] 赵团结,盖钧镒,李海旺,等. 超高产大豆育种研究的进展与讨论[J]. 中国农业科学, 2006,39(1):29-37. (Zhao T J, Gai J Y, Li H W, et al. Advances in breeding for super high-yielding soybean cultivars[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006,50(1):29-37.)
- [3] 翟俊峰. 吉林省大豆品种遗传改良过程中某些农艺性状的变化[D]. 长春:吉林农业大学,2008. (Zhai J F. Study on some agronomic traits of soybean cultivars with year of release in Jilin province[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2008.)
- [4] Evans L T. Crop evolution, adaptation and yield[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [5] Evans L T, Fischer R A. Yield potential: Its definition, measurement, and significance [J]. Crop Science, 1999, 39(6): 1544-1551.
- [6] 刘国宁. 吉林省不同年代大豆品种光合作用与根系活力变化

的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013. (Liu G N. Changes of photosynthesis and root activity of soybean cultivars released in different years in Jilin province[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2013)

[7] 董钻. 大豆株型育种的若干生理问题[J]. 大豆科学, 1988, 7(1): 69-74. (Dong Z. Several physiological problems in soybean plant type breeding[J]. Soybean Science, 1988, 7(1): 69-74. )

[8] 李大勇, 徐克章, 张治安, 等. 新老大豆品种叶片光合特性的比较[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(3): 281-285. (Li D Y, Xu K Z, Zhang Z A, et al. Comparison of photosynthetic characteristics in the leaves of modern and old soybean cultivars[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2007, 29(3): 281-285. )

[9] 孙玉莹, 毕京翠, 赵志超, 等. 作物叶片衰老研究进展[J]. 作物杂志, 2013(4): 11-19. (Sun Y Y, Bi J C, Zhao Z C, et al. The advancement on leaf senescence in crops[J]. Crops, 2013(4): 11-19. )

[10] 蒯本科. 植物衰老关乎器官发育和作物产量与品质性状的形成[J]. 植物生理学报, 2014(9): 1265-1266. (Kuai B K. Associations of green organ senescence with nascent organ development in plants and yield and quality component formations in crops[J]. Plant Physiology Journal, 2014, 50(9): 1265-1266. )

[11] 梁建生, 曹显祖. 杂交水稻叶片的若干生理指标与根系伤流强度关系[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 1993, 14(4): 25-30. (Liang J S, Cao X Z. Studies on the relationship between several physiological characteristics of leaf and bleeding rate of roots in hybrid rice[J]. Journal of Jiangsu Agricultural College, 1993, 14(4): 25-30. )

[12] 张治安, 陈展宇. 植物生理学实验技术[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008. (Zhang Z A, Chen Z Y. Plant physiology experiment technology[M]. Changchun: Jilin University Press, 2008. )

[13] 陈睿. 植物衰老机理研究进展探讨[J]. 绿色科技, 2012(5): 6-9. (Chen R. Advances in research on plant senescence mechanism[J]. Green Technology, 2012(5): 6-9. )

[14] 庄波, 徐克章, 杜双洋, 等. 新、老大豆品种冠层产量和光合作用的比较[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(1): 6-9. (Zhuang B, Xu K Z, Du S Y, et al. Comparison on yield and photosynthesis in canopy in modern and old soybean cultivars[J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(1): 6-9. )

[15] Morrison M J, Voldeng H D, Cober E R. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada[J]. Agronomy Journal, 1999, 91(4): 685-689.

[16] 孟田, 郭小红, 王兴才, 等. 中美大豆Ⅲ熟期组代表品种主要光合特性及其与产量的相关性[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(1): 65-70. (Meng T, Guo X H, Wang X C, et al. Comparison of photosynthetic characteristics of representative soybean cultivars (MG III) developed in the USA and China [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2016, 38(1): 65-70. )

[17] 郑殿君, 张治安, 姜丽艳, 等. 不同产量水平大豆叶片净光合速率的比较[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(9): 1-5. (Zheng D J, Zhang Z A, Jiang L Y, et al. Comparison of net photosynthetic rate in leaves of soybean at different yield levels [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(9): 1-5. )

[18] 朱未, 刘晓龙, 徐晨, 等. 吉林省新老大豆品种不同节位叶片光合特性的研究[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(2): 38-41, 67. (Zhu M, Liu X L, Xu C, et al. Studies on photosynthetic characteristics of leaves at different node of old and new soybean cultivars in Jilin province[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2015, 40(2): 38-41, 67. )

[19] 李大勇. 不同进化类型大豆叶片某些光合特性的比较研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2006. (Li D Y. A comparison on some photosynthetic characteristics of leaves in the different evolution types soybean[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2006. )

[20] 张巨松, 杜永猛. 棉花叶片叶绿素含量消长动态的分析[J]. 新疆农业大学学报, 2002, 25(3): 7-9. (Zhang J S, Du Y M. Analysis on chlorophyll content of cotton leaves[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2002, 25(3): 7-9. )

[21] 李大勇, 陈展宇, 徐克章, 等. 不同年代大豆品种叶片氮含量及其与净光合速率的关系[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(2): 171-178. (Li D Y, Chen Z Y, Xu K Z, et al. Changes of nitrogen content in leaf and its correlations with net photosynthetic rate of soybean cultivars released in different years[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(2): 171-178. )

[22] 赵洪祥, 徐克章, 杨光宇, 等. 吉林省82年来育成大豆品种的产量和叶片部分生理特性变化及其相互关系[J]. 作物学报, 2008, 34(7): 1259-1265. (Zhao H X, Xu K Z, Yang G Y, et al. Changes and correlations between yield and partial physiological characters in leaves of soybean cultivars released from 1923 to 2005 in Jilin pProvince) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(7): 1259-1265.