

遮光处理对不同生育期小麦生物量分配和叶片叶绿素含量的影响

张元燕¹, 季永华², 贾恒¹, 王爱霞¹, 张敏^{1,2}, 方炎明^{1,①}

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153)

摘要:以普通小麦‘扬麦12号’(*Triticum aestivum* ‘Yangmai 12’) 为实验材料,研究了遮光处理对不同生育期小麦生物量分配和叶片叶绿素含量的影响。结果显示,从拔节期到完熟期,在不同遮光条件下(对照:相对透光率为100%;T1:相对透光率约为80%;T2:相对透光率约为60%;T3:相对透光率约为20%),小麦地上部分、地下部分及全株干质量随着发育期的延续总体呈增加趋势。遮光处理使小麦地上部分和地下部分干质量较对照不同程度降低,其中遮光对地上部分干质量的影响大于地下部分,并且根冠比随遮光程度的增加而增大。从开花期开始,各个生育期 T3 处理组小麦的根冠比均为最大,对照组小麦的根冠比均为最小。‘扬麦12号’地上部分和地下部分异速生长关系为简单的线性异速生长模型,遮光后小麦的异速性减小,按小麦地上部分和地下部分间的异速性由大至小依次排序为对照组、T1 处理组、T2 处理组、T3 处理组。从抽穗期到乳熟期,对照及各处理组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量在灌浆期(或乳熟期)最高;在不同的生育期,不同遮光处理对小麦叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量的影响不同,随着遮光程度的增加,各遮光处理组小麦的叶绿素 a/b 均不同程度低于对照。

关键词:小麦;遮光;生育期;生物量分配;叶绿素含量;异速生长

中图分类号: Q945.11; Q945.3; S512.1 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)04-0039-07

Effect of shading on biomass allocation and chlorophyll content in leaf of *Triticum aestivum* at different developmental stages ZHANG Yuan-yan¹, JI Yong-hua², JIA Heng¹, WANG Ai-xia¹, ZHANG Min^{1,2}, FANG Yan-ming^{1,①}(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(4): 39-45

Abstract: Effect of shading on biomass allocation and chlorophyll content in leaf of *Triticum aestivum* L. at different developmental stages was researched using *T. aestivum* ‘Yangmai 12’ as experimental material. The results show that from jointing stage to ripe stage, the dry weight of above-ground and under-ground parts, whole plant of *T. aestivum* ‘Yangmai 12’ increases under different shading conditions (control: natural light with 100% available light; T1: available light about 80%; T2: available light about 60%; T3: available light about 20%) with developmental stage postponing. The dry weight of above-ground and under-ground parts under shading conditions is lower than that under control with different degrees. The effect of shading on dry weight of above-ground part is stronger than that on dry weight of under-ground part, and root/shoot ratio increases with shading degree increasing. From flowering stage, root/shoot ratio of ‘Yangmai 12’ in T3 treatment group at each developmental stage is all the biggest and that in control is the smallest. Allometric growth relationship of above-ground and under-ground parts of ‘Yangmai 12’ is a simple linear allometric model, and allometric growth of ‘Yangmai 12’ decreases after shading. According to allometric growth of above-ground and under-ground parts from big to small, the order is control, T1, T2, T3, successively. From heading stage to milky stage, contents of chl a, chl b and chl a + chl b in ‘Yangmai 12’ leaf in control and three treatment groups all are the highest at filling or milky stages. Different shading treatments have different effects on contents

收稿日期: 2009-03-24

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A0507-2)

作者简介: 张元燕(1984—), 女, 四川西昌人, 硕士研究生, 主要从事发育植物学研究。

①通信作者 E-mail: jwu4@njfu.com.cn

of chl_a, chl_b and chl_a + chl_b in 'Yangmai 12' leaf at different developmental stages, and with shading degree increasing, chl_a/chl_b ratio in shading conditions is lower than that in control with different degrees.

Key words: *Triticum aestivum* L.; shading; developmental stage; biomass allocation; chlorophyll content; allometric growth

资源分配被认为是现代生态学的核心概念,它不仅关系到器官的直接生物量大小,还涉及到器官的形态建成^[1]。一般来说,通过研究生殖生物量与总生物量、生殖生物量与营养生物量及各器官之间生物量的关系^[2-5],可以探讨植物的资源分配问题。植物通过调节自身资源分配来响应环境因子的变化^[6-7],其中根、冠之间的资源分配是植物体内最大的资源流动^[8]。由植物地上部分获得的氮 75% 可以分配到地下部分^[9],植物每年生产的超过 60% 的碳也可能分配到地下部分^[10]。有关水分和营养等环境因子对植物根-冠分配的影响,前人已经进行了大量的研究^[10-14],并用异速生长理论和生长平衡假说^[9]等理论来解释根与冠以及根与叶之间的分配关系。

光照是影响植物生长的主要环境因子之一^[15]。光照不足直接影响植物在光合作用过程中碳的获取,改变植物的根-冠分配模式以及叶片和植株的生理状态,进而影响植物的生长和形态。在农林复合系统中,复合种植模式较单一种植模式具有多方面的生态优势,但不同植物间也存在着对环境资源的争夺^[16]。光照是林木与农作物之间竞争的环境因子之一,如何调节系统内种间光照的分配,发挥系统整体的生态与经济效益,是农林复合系统经营实践中的一个关键问题。

作者通过研究模拟遮光对小麦不同生育期的生物量及其根-冠分配和叶片叶绿素含量的影响,以期了解在其他环境因子一致条件下,林木遮光这一单一环境因子对农作物根-冠资源分配以及叶绿素含量的影响,为探讨农林复合系统种间光照调控技术提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 实验地概况

实验于 2007 年 11 月至 2008 年 6 月在江苏省林业科学研究所内进行。实验地周围开阔,无遮挡

物;地理位置为北纬 31°57'、东经 118°50',平均海拔 21.3 m;属于典型的亚热带季风性气候,年均降水量 1 031 mm;土壤为黄棕壤。

1.2 材料

供试的普通小麦(*Triticum aestivum* L.)品种'扬麦 12 号'('Yangmai 12')由江苏金土地种业有限公司生产。该小麦品种的特征性状为:分蘖力中等;株高约 92 cm;长芒、白壳、红粒;穗纺锤型,每穗约 34 粒;千粒重约 40 g;熟相较好,抗倒性较差。

1.3 方法

1.3.1 实验设计 实验采用单因素随机区组设计,每个小区面积 2 m²,每处理 6 次重复,各小区完全随机排列,小区之间间隔 2 m,避免相互遮光。小麦播种密度 120 kg·hm⁻²,施肥采用一次性底肥施入,常规大田管理。

于 2008 年 4 月 1 号(小麦拔节期)开始用黑色聚乙烯遮阳网遮光,遮光处理至小麦完熟期结束。遮阳网南北走向,起始高度为 1 m,高度随着小麦生长逐步增加。共设置 1 个对照组和 3 个遮光处理组。对照(CK):自然光照,相对透光率为 100%;T1:1 层黑色遮阳网,相对透光率约为 80%;T2:2 层黑色遮阳网,相对透光率约为 60%;T3:3 层黑色遮阳网,相对透光率约为 20%。采用上海嘉定学联仪表厂生产的 ZDS-10 型照度计测定光照度,4 次重复,各处理组光照度与对照组光照度的百分比即为相对透光率。

1.3.2 测定项目和方法 从遮光处理起始日算起,在各生育期取样进行生物量和叶绿素含量测定。在同一处理的各重复小区内随机取样 30 株,参照文献^[17]的方法取样并于 80 °C 干燥至恒质量,称取地上部分及地下部分的干质量,并计算根冠比:根冠比=地下部分干质量/地上部分干质量。采用丙酮乙醇混合液法^[18]测定叶绿素含量。

1.4 数据处理

用 Excel 软件和 SPSS 11.5 统计分析软件进行计算和统计分析。

2 结果和分析

2.1 遮光处理对小麦生物量的影响

遮光处理对不同生育期小麦干质量的影响见表1。由表1可以看出,从小麦拔节期到完熟期,对照(相对透光率为100%)组小麦地上部分、地下部分和全株干质量显著增加($P < 0.05$),T1(相对透光率约为80%)、T2(相对透光率约为60%)和T3(相对透光率约为20%)处理组小麦地上部分、地下部分和全株干质量总体呈增加趋势,但在完熟期T2和T3处理组小麦地上部分、地下部分和全株干质量及T1处理组小麦地下部分干质量较乳熟期显著减少($P < 0.05$)。

遮光处理18 d后(开花期),T1和T2遮光处理对小麦地上部分和全株的干质量有显著影响($P < 0.05$);与对照组相比,T1、T2和T3处理组小麦地上部分干质量分别下降了31.4%、35.0%和13.7%,T1和T2处理组小麦地下部分干质量分别下降了33.3%和14.3%,T1、T2和T3处理组小麦全株干质量分别下降了31.7%、33.0%和10.6%。在完熟期,与对照组相比,T1、T2和T3处理组小麦地上部分干质量分别下降了26.7%、55.2%和64.3%,地下部分干质量分别下降了32.7%、40.8%和34.7%,全株干质量分别下降了27.2%、54.1%和61.8%,下降幅度均达到显著水平($P < 0.05$),且随着遮光程度的增加,T2和T3处理组小麦地上部分和全株干质量的下降程度显著大于T1处理组

表1 不同遮光处理对小麦('扬麦12')不同生育期干质量的影响($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 1 Effect of different shading treatments on dry weight of *Triticum aestivum* 'Yangmai 12' at different developmental stages ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

处理 Treatment	生育期 Developmental stage	干质量/g Dry weight		
		地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part	全株 Whole plant
CK	拔节期 Jointing stage	1.05 ± 0.38C	0.26 ± 0.19BC	1.31 ± 0.50D
	抽穗期 Heading stage	1.41 ± 0.64aCD	0.16 ± 0.10aBC	1.57 ± 0.72aCD
	开花期 Flowering stage	1.97 ± 0.53aC	0.21 ± 0.05abBC	2.18 ± 0.54aCD
	灌浆期 Filling stage	2.10 ± 0.34bC	0.24 ± 0.10bBC	2.34 ± 0.32bC
	乳熟期 Milky stage	3.33 ± 1.01abB	0.33 ± 0.16bB	3.66 ± 1.15abB
	完熟期 Ripe stage	5.43 ± 2.00aA	0.49 ± 0.20aA	5.92 ± 2.11aA
T1	拔节期 Jointing stage	1.05 ± 0.38C	0.26 ± 0.19BC	1.31 ± 0.50C
	抽穗期 Heading stage	1.29 ± 0.53aC	0.17 ± 0.08aC	1.46 ± 0.59aC
	开花期 Flowering stage	1.35 ± 0.26bC	0.14 ± 0.03bC	1.49 ± 0.27bC
	灌浆期 Filling stage	2.69 ± 0.61aB	0.34 ± 0.12aB	3.03 ± 0.64aB
	乳熟期 Milky stage	3.76 ± 1.18aA	0.55 ± 0.24aA	4.31 ± 1.31aA
	完熟期 Ripe stage	3.98 ± 1.35bA	0.33 ± 0.14bB	4.31 ± 1.43bA
T2	拔节期 Jointing stage	1.05 ± 0.38B	0.26 ± 0.19B	1.31 ± 0.50C
	抽穗期 Heading stage	1.11 ± 0.32aB	0.18 ± 0.09aB	1.29 ± 0.35aC
	开花期 Flowering stage	1.28 ± 0.32bB	0.18 ± 0.12abB	1.46 ± 0.41bC
	灌浆期 Filling stage	2.05 ± 0.56bA	0.29 ± 0.09abB	2.34 ± 0.62bB
	乳熟期 Milky stage	2.56 ± 1.01bcA	0.46 ± 0.24abA	3.02 ± 1.13bcA
	完熟期 Ripe stage	2.43 ± 0.92cA	0.29 ± 0.07bB	2.72 ± 0.97cAB
T3	拔节期 Jointing stage	1.05 ± 0.38C	0.26 ± 0.19ABC	1.31 ± 0.50D
	抽穗期 Heading stage	1.32 ± 0.55aBC	0.16 ± 0.08aC	1.48 ± 0.55aCD
	开花期 Flowering stage	1.70 ± 0.86abAB	0.25 ± 0.17aBC	1.95 ± 1.02abBC
	灌浆期 Filling stage	2.04 ± 0.37bA	0.36 ± 0.11aAB	2.40 ± 0.61bAB
	乳熟期 Milky stage	2.21 ± 0.76cA	0.40 ± 0.21abA	2.61 ± 0.97cA
	完熟期 Ripe stage	1.94 ± 0.45cA	0.32 ± 0.10bAB	2.26 ± 0.53cAB

¹⁾ CK: 自然光照, 相对透光率为100% Natural light with 100% available light; T1: 相对透光率约为80% Available light about 80%; T2: 相对透光率约为60% Available light about 60%; T3: 相对透光率约为20% Available light about 20%. 同列中不同的小写字母表示同一生育期不同处理间差异显著($P < 0.05$), 同列中不同的大写字母表示同一处理不同生育期间差异显著($P < 0.05$), different small letters in same column indicate the significant difference among different treatments at same developmental stage ($P < 0.05$), different capitals in same column indicate the significant difference among different developmental stages of same treatment ($P < 0.05$).

($P < 0.05$)。从表 1 中还可以看出,在少数处理组中小麦干质量大于对照组,如开花期 T3 处理组小麦地下部分干质量比对照增加了 19.0%,推测这一现象可能是由采样中产生的误差造成的。

2.2 遮光处理对小麦根-冠生物量分配的影响

2.2.1 对根冠比的影响 不同遮光处理对小麦不同生育期根冠比的影响见表 2。由表 2 可见,对照(相对透光率为 100%)组及 T1(相对透光率约为 80%)、T2(相对透光率约为 60%)和 T3(相对透光率约为 20%)处理组小麦根冠比在抽穗期均急剧下降,其中 T3 处理组小麦根冠比下降幅度最大,根冠比仅为 0.087。从抽穗期以后,对照组小麦的根冠比随生长的进行呈缓慢下降趋势;而 3 个遮光处理组小麦的根冠比则随生长的进行呈先升高后下降的趋势,即从开花期到灌浆期或乳熟期升高,灌浆期或乳熟期后逐渐下降。在完熟期,对照组及 T1 处理组小麦的根冠比降到了 0.1 以下,T2 和 T3 处理组小麦的根冠比较拔节期有所下降,但下降幅度相对较小。从开花期开始,T3 处理组小麦在各个生育期的根冠比均为最大,对照组小麦在各个生育期的根冠比均为最小。

表 2 不同遮光处理对小麦(‘扬麦 12’)不同生育期根冠比的影响
Table 2 Effect of different shading treatments on root/shoot ratio of *Triticum aestivum* ‘Yangmai 12’ at different developmental stages

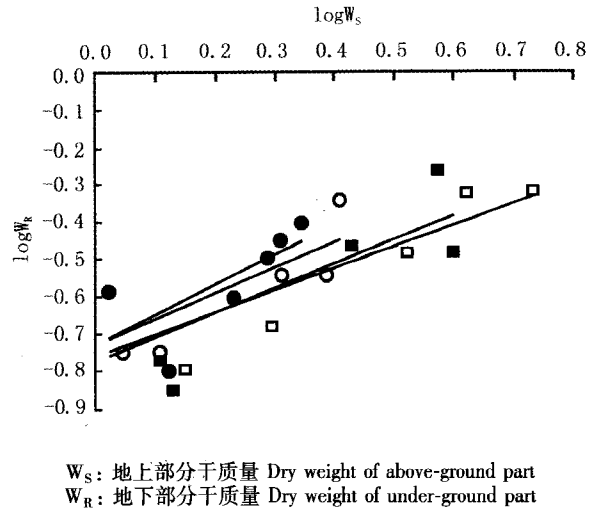
处理 ¹⁾ Treatment ¹⁾	不同生育期的根冠比 Root/shoot ratio at different developmental stages					
	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	开花期 Flowering stage	灌浆期 Filling stage	乳熟期 Milky stage	完熟期 Ripe stage
CK	0.209	0.108	0.104	0.104	0.096	0.084
T1	0.209	0.112	0.100	0.117	0.133	0.079
T2	0.209	0.128	0.116	0.137	0.127	0.119
T3	0.209	0.087	0.127	0.168	0.164	0.159

¹⁾ CK: 自然光照, 相对透光率为 100% Natural light with 100% available light; T1: 相对透光率约为 80% Available light about 80%; T2: 相对透光率约为 60% Available light about 60%; T3: 相对透光率约为 20% Available light about 20%.

2.2.2 对地上部分和地下部分异速生长关系的影响 利用不同发育阶段植物地上部分干质量和地下部分干质量拟合而得到植物地上部分和地下部分的异速生长关系模型,对照组和 3 组遮光处理组小麦的地上部分和地下部分异速生长关系模型见图 1。由图 1 可以看出,对照(相对透光率为 100%)组小麦地上部分和地下部分异速生长关系线性方程为 $y_0 = 0.584 1x_0 - 0.756 3(R^2 = 0.702 8)$; T1(相对透

光率约为 80%)、T2(相对透光率约为 60%)和 T3(相对透光率约为 20%)处理组小麦地上部分和地下部分的异速生长关系线性方程分别为 $y_1 = 0.664 0x_1 - 0.776 3(R^2 = 0.608 0)$; $y_2 = 0.682 3x_2 - 0.726 6(R^2 = 0.612 8)$; $y_3 = 0.812 0x_3 - 0.731 1(R^2 = 0.502 8)$ 。

遮光处理对小麦地上部分和地下部分异速生长关系的影响可用线性方程中 b 值(斜率)的变化来表示, b 值的数学含义为: 自变量 x 每变动 1 个单位时因变量 y 变动的单位数, 因此, b 值越大, 地上部分和地下部分之间的异速性越小。由图 1 可知, 对照组及各处理组线性方程斜率由大至小排序为: T3 处理组、T2 处理组、T1 处理组、对照组, 因此, 对照组及各处理组地上部分和地下部分间的异速性由大至小依次为: 对照组、T1 处理组、T2 处理组、T3 处理组。



□ CK: 自然光照, 相对透光率为 100% Natural light with 100% available light; ■ T1: 相对透光率约为 80% Available light about 80%; ○ T2: 相对透光率约为 60% Available light about 60%; ● T3: 相对透光率约为 20% Available light about 20%.

图 1 不同遮光处理组小麦(‘扬麦 12’)地上部分和地下部分的异速生长关系
Fig. 1 Allometric growth relationship between above-ground part and under-ground part of *Triticum aestivum* ‘Yangmai 12’ in different shading treatment groups

2.3 遮光处理对小麦叶片叶绿素含量的影响

不同遮光处理对不同生育期小麦叶片叶绿素含量的影响见表 3。由表 3 可见,从抽穗期到乳熟期,对照(相对透光率为 100%)组及 T1(相对透光率约为 80%)、T2(相对透光率约为 60%)和 T3(相对透光率约为 20%)处理组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素

b 及总叶绿素含量在灌浆期或乳熟期最高。在乳熟期, 对照组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量比抽穗期分别增加了 19.6%、24.7% 和 20.9%; T1 处理组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量比抽穗期分别增加了 32.0%、33.0% 和 32.3%; T2 处理组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量比抽穗期分别增加了 4.7%、10.4% 和 6.6%; T3 处理组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量比抽穗期分别增加了 18.9%、31.5% 和 22.0%。与乳熟期相比, 在完熟期, 对照组和 T1、T2 处理组小麦叶片的叶绿素 a 和总叶绿素含量以及 T1 处理组的叶绿素 b 含量均显著降低 ($P < 0.05$)。说明在小麦生育后期, 随着植株的衰老, 光照是促进叶绿素降解的主要原因之一。随着小麦的

生长, 从抽穗期到完熟期, T1、T2 和 T3 处理组小麦叶片的叶绿素 a/b 值均大于拔节期, 完熟期对照组小麦叶片的叶绿素 a/b 值显著低于之前的各个生育期 ($P < 0.05$)。

在抽穗期, 随着遮光程度的增加, T1 处理组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量显著高于对照组和 T2 处理组 ($P < 0.05$), 但与 T3 处理组间差异不显著; 在开花期, T1 和 T2 处理组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量相对较高, 但各处理间的差异不显著; 在灌浆期, 对照组及 T3 处理组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量显著高于 T1 和 T2 处理组; 在乳熟期, T1 和 T3 处理组小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量显著高于对照组和 T2 处理组; 在完熟期, T3 处理组小

表3 不同遮光处理对小麦(‘扬麦12’)不同生育期叶片叶绿素含量的影响($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 3 Effect of different shading treatments on chlorophyll content in leaf of *Triticum aestivum* ‘Yangmai 12’ at different developmental stages ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

处理 Treatment	发育时期 Developmental stage	叶绿素含量/mg · g ⁻¹ Chlorophyll content			叶绿素 a/b Chla/Chlb
		Chla	Chlb	Chla + Chlb	
CK	拔节期 Jointing stage	2.22 ± 0.06C	1.21 ± 0.05A	3.43 ± 0.10B	1.83 ± 0.03E
	抽穗期 Heading stage	2.25 ± 0.12bC	0.77 ± 0.07bD	3.02 ± 0.19bD	2.92 ± 0.14aA
	开花期 Flowering stage	2.34 ± 0.07aB	0.93 ± 0.02aC	3.27 ± 0.09aC	2.53 ± 0.13aD
	灌浆期 Filling stage	2.73 ± 0.13aA	1.03 ± 0.03abB	3.75 ± 0.15aA	2.77 ± 0.10aC
	乳熟期 Milky stage	2.69 ± 0.02abA	0.96 ± 0.02aC	3.65 ± 0.04bAB	2.80 ± 0.07aB
	完熟期 Ripe stage	0.63 ± 0.06cD	0.85 ± 0.07bC	1.48 ± 0.13cE	0.74 ± 0.02bF
T1	拔节期 Jointing stage	2.22 ± 0.06C	1.21 ± 0.05A	3.43 ± 0.10B	1.83 ± 0.03D
	抽穗期 Heading stage	2.47 ± 0.09aB	0.94 ± 0.04aB	3.41 ± 0.13aB	2.63 ± 0.06bAB
	开花期 Flowering stage	2.46 ± 0.24aB	0.97 ± 0.12aB	3.43 ± 0.36aB	2.42 ± 0.08aC
	灌浆期 Filling stage	2.47 ± 0.10cB	0.97 ± 0.03bB	3.44 ± 0.13bB	2.56 ± 0.03aC
	乳熟期 Milky stage	3.26 ± 0.01aA	1.25 ± 0.03aA	4.51 ± 0.04aA	2.61 ± 0.07bcBC
	完熟期 Ripe stage	1.93 ± 0.03bD	0.72 ± 0.01bC	2.65 ± 0.04bC	2.68 ± 0.04aA
T2	拔节期 Jointing stage	2.22 ± 0.06B	1.21 ± 0.05A	3.43 ± 0.10A	1.83 ± 0.03D
	抽穗期 Heading stage	2.11 ± 0.06bBC	0.77 ± 0.03bC	2.88 ± 0.09bC	2.74 ± 0.03bA
	开花期 Flowering stage	2.47 ± 0.22aA	0.97 ± 0.10aB	3.44 ± 0.32aA	2.42 ± 0.11aB
	灌浆期 Filling stage	2.48 ± 0.09bcA	0.98 ± 0.01bB	3.46 ± 0.10bA	2.44 ± 0.05aB
	乳熟期 Milky stage	2.21 ± 0.56bB	0.85 ± 0.23bBC	3.07 ± 0.78cB	2.60 ± 0.08bcAB
	完熟期 Ripe stage	1.93 ± 0.23bC	0.86 ± 0.21bBC	2.79 ± 0.44bC	2.24 ± 0.8aC
T3	拔节期 Jointing stage	2.22 ± 0.06C	1.21 ± 0.05A	3.43 ± 0.10B	1.83 ± 0.03C
	抽穗期 Heading stage	2.44 ± 0.06aB	0.92 ± 0.04aC	3.36 ± 0.10aB	2.65 ± 0.09bA
	开花期 Flowering stage	2.17 ± 0.11aC	0.87 ± 0.06aC	3.04 ± 0.17aC	2.45 ± 0.05aB
	灌浆期 Filling stage	2.69 ± 0.22abA	1.05 ± 0.05aAB	3.74 ± 0.26aA	2.40 ± 0.18aAB
	乳熟期 Milky stage	2.90 ± 0.03abA	1.21 ± 0.04aA	4.10 ± 0.06aA	2.40 ± 0.06cB
	完熟期 Ripe stage	2.77 ± 0.18aA	1.10 ± 0.10aAB	3.86 ± 0.28aA	2.52 ± 0.06aAB

¹⁾ CK: 自然光照, 相对透光率为 100% Natural light with 100% available light; T1: 相对透光率约为 80% Available light about 80%; T2: 相对透光率约为 60% Available light about 60%; T3: 相对透光率约为 20% Available light about 20%. 同列中不同的小写字母表示同一生育期不同处理间差异显著 ($P < 0.05$), 同列中不同的大写字母表示同一处理不同生育期间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in same column indicate the significant difference among different treatments at same developmental stage ($P < 0.05$), different capitals in same column indicate the significant difference among different developmental stages of same treatment ($P < 0.05$).

麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量显著高于其他处理组。随着遮光程度的增加,从抽穗期到乳熟期小麦叶片的叶绿素 a/b 值逐渐减小,且均不同程度低于对照组,其中抽穗期和乳熟期对照组与各处理组间的叶绿素 a/b 值没有显著差异。

3 讨论和结论

在小麦的整个生育期内(完熟期除外),小麦叶片的叶绿素含量呈现上升的趋势,这与小麦光合能力的增强密切相关。在不同生育期,遮光对小麦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量影响不同,这可能与小麦生长中心的改变有关。随着遮光程度的增加,小麦叶片的叶绿素 a/b 值逐渐减小,并均较对照组有不同程度降低,说明叶绿素 b 的增加幅度快于叶绿素 a,植株通过增加叶绿素 b 的相对含量来增加对蓝紫光的吸收,这种能力与遮光程度呈正相关,是对遮光的适应性表现^[19]。

遮光使植株因缺少光照导致光合作用下降,影响生物量的积累,因此供试小麦植株地上部分和地下部分在遮光之后干质量都有所下降。随着遮光程度的增加,小麦地上部分干质量的下降幅度大于地下部分干质量,故小麦的根冠比增大,这可能是供试小麦对逆境的特定异速生长响应。植物个体的异速生长是指生物体某一特征的相对生长速率不等于第二种特征的相对生长速率的特性,该特性是由物种的遗传性决定的一种固定特征^[20]。根、冠的异速生长与植物生长阶段有关,在植物生长发育早期分配给根的生物量较多,而以后分配给冠的生物量逐渐增加。研究表明,小麦从出苗至成熟,分配给地上部分的生物量由 0.5 增加至接近 1.0^[21]。本研究中,小麦在拔节期根冠比大于 0.2,以后各生育期均下降,表明随着小麦植株的成熟,分配到冠的生物量逐渐增加,与前人研究结果相符。

地上部分和地下部分的异速生长分析可用线性模型^[11]、指数函数模型^[22]、幂函数模型^[23]及曲线模型^[24]等进行拟合。供试小麦地上部分和地下部分间的异速生长关系可以用简单的线性异速生长模型 $y = bx + a$ 进行拟合,异速生长关系可用方程中的斜率和截距来表示,斜率越大,异速性越小。在遮光后随着遮光程度的增加,小麦地上部分和地下部分异速生长关系线性方程中的 b 值逐渐增大,说明经遮

光处理后小麦的异速性减小。根、冠的异速生长与基因型密切相关,Hebert 等^[25]在研究光照不足对玉米(*Zea mays* L.)根冠比及其异速生长关系的影响后认为,不同基因型玉米的根冠比和异速生长关系模型均不同。若用相关系数 R^2 来表示遗传因素对植物根、冠异速生长关系的影响, $1 - R^2$ 表示环境因子对植物根、冠异速生长关系的影响^[23],则本研究中遗传因子对供试小麦地上部分和地下部分异速生长关系的贡献率为 50.28% ~ 70.28%,而环境因子的贡献率为 49.72% ~ 29.72%。

综上所述,经遮光处理后,小麦做出了生理上的响应和生态上的对策:增加叶绿素含量,从而增加对光的吸收,其中叶绿素 b 的增加幅度更大;优先将光合产物分配给地下部分,提高根冠比;地上部分和地下部分异速生长线性方程的斜率增大,异速性减小。这些表型可塑性反应规律是农林复合系统种间光照调控的技术基础,在实践中可以通过改变种植密度和林带的走向来调节农林复合系统种间光照资源的分配。

参考文献:

- [1] Sadras V O, Bange M P, Milroy S P. Reproductive allocation of cotton in response to plant and environmental factors[J]. *Annals of Botany*, 1997, 80: 75 - 81.
- [2] Enquist B J, Niklas K J. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants[J]. *Science*, 2002, 295: 1517 - 1520.
- [3] McCarthy M C, Enquist B J, Kerkhoff A J. Organ partitioning and distribution across the seed plants: assessing the relative importance of phylogeny and function[J]. *International Journal of Plant Sciences*, 2007, 168(5): 751 - 761.
- [4] Weiner J. Allocation, plasticity and allometry in plants[J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2004, 6(4): 207 - 215.
- [5] Shipley B, Meziane D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation[J]. *Functional Ecology*, 2002, 16: 326 - 331.
- [6] Bloom A J, Chapin F S, III, Mooney H A. Resource limitation in plants: an economic analogy[J]. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 1985, 16: 363 - 392.
- [7] 曹珂,朱更瑞,王永熙,等.遮光对桃幼树形态及一些生理指标的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2006, 15(4): 52 - 56.
- [8] Craine J M. Competition for nutrients and optimal root allocation[J]. *Plant and Soil*, 2006, 285: 171 - 185.
- [9] Law B E, Ryan M G, Anthoni P M. Seasonal and annual respiration of a ponderosa pine ecosystem[J]. *Global Change*

- Biology, 1999, 5: 169 - 182.
- [10] Poorter H, Remkes C, Lambers H. Carbon and nitrogen economy of 24 wild species differing in relative growth rate [J]. *Plant Physiology*, 1990, 94: 621 - 627.
- [11] 陈晓远, 高志红, 刘晓英, 等. 水分胁迫对冬小麦根、冠生长关系及产量的影响[J]. *作物学报*, 2004, 30(7): 723 - 728.
- [12] 徐炳成, 山 仑, 黄 瑾, 等. 柳枝稷和白羊草苗期水分利用与根冠比的比较[J]. *草业学报*, 2003, 12(4): 73 - 77.
- [13] 周 婵, 杨允菲. 松嫩平原两个生态型羊草叶构件异速生长规律[J]. *草业学报*, 2006, 15(5): 76 - 81.
- [14] Müller I, Schmid B, Weiner J. The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants [J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2000, 2(3): 115 - 127.
- [15] 刘厚诚, 雷 雨, 陈日远. 遮光处理对节瓜光合作用特性的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2005, 14(3): 33 - 36.
- [16] 刘志龙, 方建民, 虞木奎, 等. 三种林-茶复合林分中环境因子和茶的光合特征参数的日变化规律[J]. *植物资源与环境学报*, 2009, 18(2): 62 - 67.
- [17] 杨志民, 陈 煜, 韩烈保, 等. 不同光照强度对高羊茅形态和生理指标的影响[J]. *草业学报*, 2007, 16(6): 23 - 29.
- [18] 张宪政. 植物叶绿素含量测定: 丙酮乙醇混合液法[J]. *辽宁农业科学*, 1986(3): 26 - 28.
- [19] 杨 渺, 毛 凯, 苟文龙, 等. 遮荫胁迫对叶绿素含量的影响[J]. *四川草原*, 2004(3): 20 - 22.
- [20] 陆霞梅, 周长芳, 安树青, 等. 植物的表型可塑性、异速生长及其入侵能力[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1438 - 1444.
- [21] Yin X, Schapendonk A H C M. Simulating the partitioning of biomass and nitrogen between roots and shoot in crop and grass plants [J]. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 2004, 51(4): 407 - 426.
- [22] 付东静, 潘晓云, 李 博, 等. 陆生环境中喜旱莲子草的生长模式[J]. *生物多样性*, 2007, 15(3): 241 - 246.
- [23] 韩忠明, 韩 梅, 吴劲松, 等. 不同生境下刺五加种群构件生物量结构与生长规律[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(7): 1164 - 1168.
- [24] 李仲芳, 王 刚. 种内竞争对一年生植物高生长与生物量关系的影响[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2002, 38(2): 141 - 146.
- [25] Hebert Y, Guingo E, Loudet O. The response of root/shoot partitioning and root morphology to light reduction in maize genotypes [J]. *Crop Science*, 2001, 41: 363 - 371.

欢迎订阅 2010 年《生态与农村环境学报》

中文核心期刊, 中国科技核心期刊, 中国科学引文数据库 (CSCD) 来源期刊

国内统一连续出版物号: CN 32 - 1766/X, 邮发代号: 28 - 114, 双月刊, 全年定价: 90.00 元

《生态与农村环境学报》系国家环境保护部主管、国家环境保护部南京环境科学研究所主办的全国性学术期刊, 是全国中文核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊、中国科技核心期刊、全国优秀环境科技期刊和江苏省优秀期刊, 也是中国科学引文数据库 (CSCD)、中国科技论文与引文数据库 (CSTPCD)、中文社会科学引文索引 (CSSCI)、中国学术期刊综合评价数据库和中国核心期刊 (遴选) 数据库等来源期刊, 为中国期刊协会赠建全国百家期刊阅览室指定赠送期刊, 并被 CA、CABI、BA、BP、BD、PD、ZR、EM、AGRIS、中国农业文摘、中国生物学文摘和环境科学文摘等国内外重要刊库收录。本刊及时报道生态与农村环境保护领域研究的动态、理论、方法与成果等。主要内容包括: 1) 全球重大环境问题的生态影响; 2) 生态功能区、自然保护区、生态示范区的建设和管理研究; 3) 自然资源开发和可持续发展理论与模式; 4) 生态破坏与环境污染控制的理论与方法; 5) 生物多样性保护与生态安全研究; 6) 农村与城镇生态系统优化研究; 7) 农村和城镇生态环境管理及其他相关问题研究。从事生态学、环境科学、农学、林学、地学、资源科学等研究、教学、生产的科技人员, 相关专业的高等院校师生以及各级决策与管理人员可从本刊获得有益信息。

本刊原为季刊, 2010 年起改为双月刊, 逢单月 25 日出版; 大 16 开, 每期定价 15.00 元, 全年定价 90.00 元; 国内外公开发行, 国内邮发代号 28 - 114, 全国各地邮局均可订阅; 国外发行代号 5688, 由中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱) 负责发行。如漏订, 可向本刊编辑部补订。编辑部地址: 江苏省南京市蒋王庙街 8 号, 邮政编码 210042; 电话: 025 - 85287036, 025 - 85287052, 025 - 85287053; E-mail: nest@chinajournal.net.cn, bjb@nies.org。