

太阳辐射减弱对冬小麦生长发育及产量的影响

陆昱, 丁宇辉, 蔡沈林, 叶倩, 王子昕, 娄运生*

(南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏省农业气象重点实验室, 江苏南京 210044)

摘要 [目的]研究太阳辐射减弱对冬小麦生长发育及产量的影响。[方法]通过盆栽模拟试验, 设置不同的太阳辐射减弱梯度(自然光、70%太阳辐射、50%太阳辐射), 研究太阳辐射减弱对冬小麦干物质积累及产量的影响。[结果]太阳辐射减弱使冬小麦生育期延长, 穗、叶和茎等干物质积累减少。太阳辐射减弱下, 有效穗数、穗粒数、穗重、千粒重等产量构成指标下降。[结论]太阳辐射减弱对冬小麦的生长发育和产量存在明显的抑制效应。

关键词 冬小麦; 太阳辐射减弱; 遮阴; 生长发育; 产量; 影响

中图分类号 S162.5⁺3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)04-0143-03

Effect of Weaker Solar Radiation on the Growth and Yield of Winter Wheat

LU Yu, DING Yu-hui, CAI Shen-lin et al (Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing, Jiangsu 210044)

Abstract [Objective] The research aimed to study the effects of weaker solar radiation on the growth and yield of winter wheat. [Method] Through pot simulation test, we set different weakened gradients of solar radiation (natural light, 70% solar radiation, 50% solar radiation) to study the effect of weaker solar radiation on the dry matter accumulation and yield of winter wheat. [Result] Weakening solar radiation prolonged the growth period of winter wheat and reduced the accumulation of spike, leaf and stem dry matter. Under the weakened solar radiation, the yield index of effective spike, grain number per spike, panicle weight and 1 000-grain weight decreased. [Conclusion] The weaker solar radiation had obvious inhibitory effect on the growth and yield of winter wheat.

Key words Winter wheat; Weaker solar radiation; Shade; Growth and development; Yield; Effect

1951—2000年到达地球表面的太阳辐射强度减弱尤为明显, 全球每年平均减少 $(0.51 \pm 0.05) \text{ W/m}^2$, 相当于减少了 $2.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 10 \text{ a})$ ^[1]。近年来, 大气污染物排放显著增加, 导致大气气溶胶浓度及雾霾日数与日俱增, 空气中 SO_2 、 NO_x 、黑碳、飞灰、土壤尘粒子等引起大气气溶胶光学厚度逐年增加, 最终将导致这些地区到达地表的太阳辐射呈减少趋势, 减少幅度为 $4.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 10 \text{ a})$ ^[2]。研究表明, 太阳辐射强度降低会给作物生产带来挑战, 使作物茎秆变细、植株变高、叶面积指数降低^[3], 使冬小麦旗叶的净光合速率、气孔导度降低^[4]等。江苏省是我国南方冬小麦主产区之一, 但有关该区冬小麦生产对太阳辐射减弱响应的相关研究还需深入开展。因此, 笔者通过模拟太阳辐射减弱对大田生长的冬小麦进行遮光处理, 运用盆栽试验设置不同的太阳辐射减弱梯度, 研究太阳辐射减弱对冬小麦生长发育及产量的影响, 为区域冬小麦生产应对太阳辐射减弱提供科学依据。

1 材料与试验方法

1.1 试验地点 盆栽试验在南京信息工程大学生态与农业气象试验站($32^\circ 14' \text{N}$, $118^\circ 42' \text{E}$)进行。该站地处亚热带季风气候, 四季分明, 夏季高温多雨, 冬季温和湿润。热量资源丰富, 年平均气温在 $13 \sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$, 年降水量在 $1\ 000 \sim 1\ 200 \text{ mm}$ 。供试土壤为潜育型水稻土, 土壤质地为壤质黏土。供试土壤基本理化性质为全碳 19.4 g/kg 、全氮 1.45 g/kg 、黏粒 261 g/kg , $\text{pH} 6.2$ (1:1土水比)。

1.2 试验材料 试验所用冬小麦品种为扬麦13, 由江苏省

里下河地区农业科学研究所培育。该品种为优质抗病弱筋专用小麦, 系春性, 中早熟, 幼苗直立, 分蘖力中等, 成穗率高, 长势旺盛, 株高在 85 cm 左右, 茎秆粗壮, 耐肥抗倒。播种前挑选饱满均匀的种子, 用水浸泡, 水微微发黄后换水再浸泡, 如此 $2 \sim 3$ 次, 小麦种子均已长出白色的幼芽, 随后进行播种。

1.3 试验设计 试验处理设置为自然光(CK, 100%太阳辐射)、单层遮阴(T_1 , 70%太阳辐射)和双层遮阴(T_2 , 50%太阳辐射)。遮阴处理利用黑色遮阴网模拟弱辐射天气, 使透过遮阴网的辐射分别为70%自然光(T_1)、50%自然光(T_2)。3个处理各设置10盆, 共30盆。返青期进行间苗, 使每个处理冬小麦苗数一致。间苗后进行遮光试验, 试验期间辐射计(TBQ-2型)测定遮光率, 并进行调整。随着作物长高, 定期调节遮阴网高度, 使其与作物冠层距离保持在 0.5 m 左右, 从而保证小区内部的空气流通与太阳辐射环境一致。在小麦进入拔节期后开始关注长势和测定生理参数, 定期浇水施肥。

1.4 观测项目的测定方法

1.4.1 干物质重的测定。在孕穗期、灌浆期和成熟期分别对3个处理进行采样, 用水把每株冬小麦根部冲洗干净, 尽量避免损坏, 然后晾干, 分成根、茎、叶和穗4个部分放入恒温干燥箱烘干。各部分在恒温干燥箱中 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青1h, 并在 $75 \text{ }^\circ\text{C}$ 下干燥12h后进行第1次称重, 以后每小时称重1次, 当样本前后2次的重量差 $\leq 5\%$ 时, 该样本不再烘烤, 然后取出测定各器官干物质重, 总干物质重为各个器官干物质重之和。

1.4.2 千粒重和产量的测定。小麦成熟后, 每个处理随机取样100粒放入恒温干燥箱烘干, 3次重复称重取平均值为

基金项目 国家自然科学基金项目(41375159); 江苏省自然科学基金项目(BK20131430); 江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目(1214071601202)。

作者简介 陆昱(1996—), 女, 江苏南通人, 本科生, 专业: 应用气象。* 通讯作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事应用气象研究。

收稿日期 2017-11-13

百粒重,乘10得到千粒重。产量的计算公式:产量=穗数×每穗粒数×千粒重/100。

2 结果与分析

2.1 适合小麦各部位干物质累积的光照条件

2.1.1 茎干物质累积的光照条件。从表1可以看出,在孕穗期和灌浆期,小麦的茎在自然光(CK)条件下是干物质质量最大的,且与其他处理水平差距明显;而在成熟期3个处理间差异不大。对于茎来说,高光照水平下干物质质量积累更多。

表1 不同生育期3种光照处理下茎干物质质量的变化

Table 1 Changes of stem dry matter weight under three light treatments in different growth stages g

处理 Treatment	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage
CK	12.446	9.416	8.412
T ₁	10.851	6.755	8.231
T ₂	10.151	6.451	7.972

2.1.2 叶干物质累积的光照条件。从表2可以看出,在孕穗期,小麦叶片在自然光(CK)条件下生长最好,优于另外2个处理水平;而在灌浆期和成熟期,50%光照(T₂)条件处理下的叶片干物质积累更多,依次多于70%光照(T₁)处理和自然光(CK)处理的小麦。这是冬小麦为了维持在太阳辐射减弱情况下的正常生长做出的自然反应,干物质配制的变化利于冬小麦在太阳辐射减弱的条件下获得更多光能。对于叶来说,低光照处理下干物质积累较多。

表2 不同生育期3种光照处理下叶干物质质量的变化

Table 2 Changes of leaves dry matter weight under three light treatments in different growth stages g

处理 Treatment	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage
CK	8.312	4.356	5.366
T ₁	6.392	6.597	5.533
T ₂	7.750	6.730	6.199

2.1.3 根干物质累积的光照条件。从表3可以看出,在孕穗期,小麦根部在70%光照(T₁)条件下干物质质量最多,明显多于另外2个处理水平;在灌浆期,50%光照条件(T₂)处理下的根干物质积累最多,但差异不大;在成熟期,自然光(CK)处理和50%光照(T₂)处理下根部干物质积累相差无几,多于70%光照(T₁)处理的小麦。对于根来说,低光照处理下干物质更多。

2.1.4 穗干物质累积的光照条件。从表4可以看出,在孕穗期、灌浆期和成熟期冬小麦的穗在自然光(CK)条件下是干物质质量最大的,远远多于50%(T₂)和70%(T₁)的光照处理水平;且在灌浆期自然光(CK)条件下穗干物质质量积累的最明显;遮光处理中,50%光照(T₂)处理的小麦比70%光照(T₁)下穗干物质积累要多。对于穗来说,自然光处理下干物

质量积累最多。

表3 不同生育期3种光照处理下根干物质质量的变化

Table 3 Changes of root dry matter weight under three light treatments in different growth stages g

处理 Treatment	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage
CK	10.037	7.702	7.409
T ₁	12.839	6.175	6.762
T ₂	9.205	8.402	7.388

表4 不同生育期3种光照处理下穗干物质质量的变化

Table 4 Changes of spike dry matter weight under three light treatments in different growth stages g

处理 Treatment	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage
CK	10.528	15.205	10.516
T ₁	6.516	8.393	7.486
T ₂	7.275	8.855	9.329

2.2 不同生育期不同光照处理下小麦各部位干物质重比较

2.2.1 孕穗期。从图1可以看出,经过自然光(CK)处理的小麦的茎、叶和穗干物质质量均大于遮光处理的小麦;2个遮光处理的小麦各干物质重差异不大,50%自然光(T₂)的小麦穗和叶片的干物重还大于70%自然光(T₁)的小麦。这说明并不是遮光越多,小麦的生理参数越小。太阳辐射减弱至50%,小麦的生理参数会略微上升。

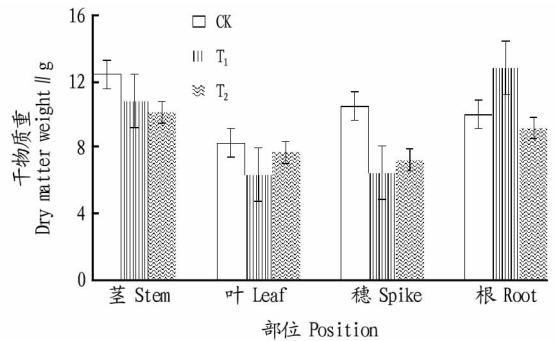


图1 孕穗期小麦茎、叶、穗和根的干物质重

Fig. 1 Dry matter weight of stem, leaf, spike and root in booting stage

2.2.2 灌浆期。从图2可以看出,自然光(CK)处理的小麦开始迅速发育,穗重远超遮光处理的小麦;从观测小麦长势可以看出,自然光(CK)处理的小麦生育期比其他处理的小麦提前。

2.2.3 成熟期。从图3可以看出,自然光(CK)处理的小麦穗重最大,其次是50%光照(T₂)处理的,70%光照(T₁)处理的小麦穗重最小。这说明太阳辐射减弱会导致小麦生育期延后,穗干物质重下降。当遮光达到50%,穗重反而有所上升,不过自然光处理的小麦始终是穗重最大、长势最好的。

2.3 不同光照处理下小麦的产量和千粒重比较 从图4可

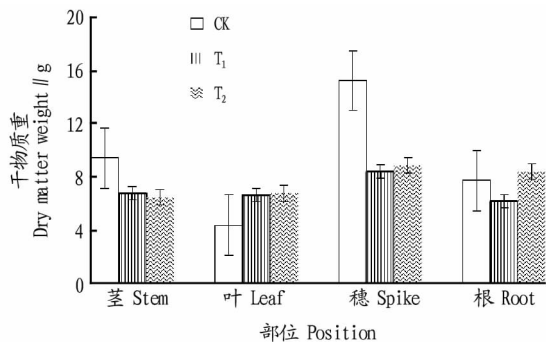


图2 灌浆期小麦茎、叶、穗和根的干物质重

Fig. 2 Dry matter weight of stem, leaf, spike and root in filling stage

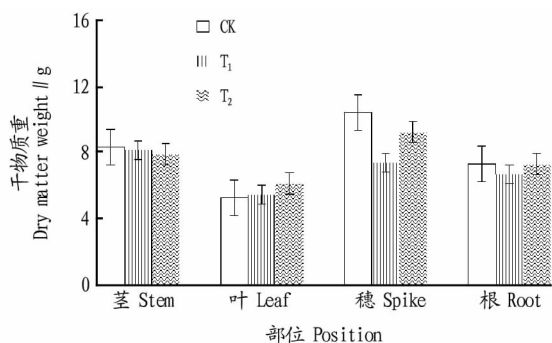


图3 成熟期小麦茎、叶、穗和根的干物质重

Fig. 3 Dry matter weight of stem, leaf, spike and root in mature stage

以看出,自然光下(CK)的小麦产量和千粒重最大,其次是50%自然光(T₂)的,最后是70%自然光(T₁)的。这说明不遮光的情况下产量最大,遮光达到一定程度产量会上升一些,仍然不及自然光时的产量。3种处理下千粒重的大小差距不大,造成主要差距的是穗数和每穗粒数,这与“2.1.4”得出的麦穗在高光照下发育得最好这一结论相符合。

对产量数据进行方差分析及多重比较,发现不同的光照条件对小麦的产量影响显著,显著性达到0.05水平。其中,70%光照处理与50%光照处理差异不显著,自然光处理与70%光照、50%光照处理有明显差异。

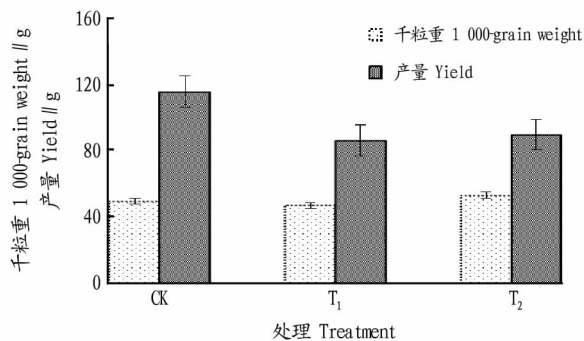


图4 3种光照处理下冬小麦的产量和千粒重

Fig. 4 Yield and 1 000-grain weight of winter wheat under three light treatments

3 讨论

3.1 太阳辐射减弱对冬小麦生长的影响 太阳光能通过光

合作用调节器官的形成,并能通过形态建成,控制作物的生长发育^[5]。试验发现,冬小麦的茎和穗在自然光条件下干物质累积最多,并随着太阳辐射减弱,冬小麦增加了对叶片生物量的输入,这与陶建平^[6]对苦瓜、王祥宁等^[7]对百合的研究结果一致。这些干物质分配的变化有利于冬小麦在太阳辐射减弱的环境下获取更多光能,合成更多光合产物。

3.2 太阳辐射减弱对冬小麦产量的影响 大部分研究表明,弱光降低了小麦的干物质积累和籽粒产量^[8-9]。这与此次试验得出的结果(自然光条件下冬小麦的产量最大)相符合。太阳辐射减弱情况下,50%光照的冬小麦产量大于70%光照的冬小麦,表明存在缓减拔节期至成熟期遮光不利影响的补偿效应发生^[10]。Wang等^[11]研究表明,弱光条件下,作物产量在干旱时不受影响,而在湿润气候下产量显著下降。因南京气候湿润,太阳辐射减弱后冬小麦产量有明显减少。

4 结论

通过模拟太阳辐射减弱对大田生长的冬小麦进行遮光处理,运用盆栽试验设置不同的太阳辐射减弱梯度,研究地表辐射减弱对冬小麦生长发育、产量形成的生理生态变化的影响,以及太阳辐射减弱胁迫下冬小麦植株干物质累积与分配的动态变化。结果表明,太阳辐射减弱使冬小麦生育期延长,穗、叶和茎等干物质积累减少;太阳辐射减弱下,有效穗数、穗粒数、穗重、千粒重等产量构成指标下降。自然光处理的冬小麦穗重和产量最大,其次是50%光照处理的冬小麦,最后是70%光照下的冬小麦。这说明太阳辐射减弱对冬小麦生长速度和产量存在抑制作用,在光照不足或雾霾天气,可通过人工光照增加光照时间和强度,提高产量。环境、人口和食物问题是当前时代面临的一个较大的问题,合理利用并改善气象条件,有益于增加粮食产量,保护环境。

参考文献

- [1] STANHILL G, COHEN S. Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences[J]. *Agricultural and forest meteorology*, 2001, 107(4): 255-278.
- [2] 申彦波, 赵宗慈, 石广玉. 地面太阳辐射的变化、影响因子及其可能的气候效应最新研究进展[J]. *地球科学进展*, 2008, 23(9): 915-923.
- [3] 朱肖锋, 周守标, 郑和权, 等. 遮光对马蹄金生物量分配和形态特征的影响[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(7): 1419-1422.
- [4] 郑有飞, 倪艳利, 麦博儒, 等. 太阳辐射减弱对冬小麦旗叶光合速率的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(6): 1457-1464.
- [5] 战吉斌, 黄卫东, 王利军. 植物弱光逆境生理研究综述[J]. *植物学通报*, 2003, 20(1): 43-50.
- [6] 陶建平, 钟章成. 光照对苦瓜形态可塑性及生物量配置的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 336-340.
- [7] 王祥宁, 熊丽, 杨永福, 等. 不同光照条件下东方百合生长状态及生物量的分配[J]. *西南农业学报*, 2007, 20(5): 1091-1096.
- [8] ESTRADA-CAMPUZANO G, MIRALLES D J, SLAFTER G A. Yield determination in triticale as affected by radiation in different development phases[J]. *European journal of agronomy*, 2008, 28(4): 597-605.
- [9] 贺明荣, 王振林, 高淑萍. 不同小麦品种千粒重对灌浆期弱光的适应性分析[J]. *作物学报*, 2001, 27(5): 640-644.
- [10] 牟会荣. 拔节至成熟期遮光对小麦产量和品质形成的影响及其生理机制[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [11] WANG G G, QIAN H, KLINKA K. Growth of *Thuja plicata* seedlings along a light gradient[J]. *Canadian journal of botany*, 1994, 72(12): 1749-1757.