

# 气象条件对冬小麦生长发育和产量影响的研究进展

王春玲<sup>1,2</sup> 申双和<sup>1</sup> 王润元<sup>2</sup> 赵鸿<sup>2</sup>

(1 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044; 2 中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 兰州 730020)

## Review of Effects of Weather Conditions on Winter Wheat Growth, Cultivation and Production

Wang Chunling<sup>1,2</sup>, Shen Shuanghe<sup>1</sup>, Wang Runyuan<sup>2</sup>, Zhao Hong<sup>2</sup>

(1 College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, 2 Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration/ Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province/ Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of China Meteorological Administration, Lanzhou 730020)

小麦是我国第三大主要粮食作物, 是重要的商品粮和战略性安全储备粮, 在全世界范围内亦有广泛种植。气候变化明显而广泛的影响着农作物生产<sup>[1, 2]</sup>, 分析和研究气象条件对冬小麦生长发育和产量的影响, 对提高冬小麦生产对气候变化的适应能力具有重意义<sup>[3, 4]</sup>。近年来, 有关气象条件对冬小麦生产影响的研究取得了较多成果, 本文主要介绍光照、温度、水分三个主要气象因子对冬小麦生长发育和产量影响及应对措施, 并展望研究趋势。

### 1 光照对冬小麦的影响

#### 1.1 光照时长和强度的影响

闫素辉等<sup>[5]</sup>研究指出, 弱光胁迫显著降低小麦产量和粒重, 其中灌浆中期弱光胁迫对小麦产量及粒重的形成影响最大。张黎萍等<sup>[6]</sup>认为生育中后期日照时数减少不利小麦发育成熟的原因是小麦灌浆期旗叶光合能力最强, 而弱光生境下小麦旗叶气孔形态发生变化, 影响了植株蒸腾速率和气孔导度, 光合产物合成受抑制, 从而导致小麦灌浆速率显著下降。

#### 1.2 光能利用率的影响

一般认为, 光能利用率较大的年份, 小麦产量均处于一个较高且较稳定的水平<sup>[7]</sup>。李红卫等<sup>[8]</sup>研究发现,

在光能利用率最高的2年, 小麦产量反而没能达到最高, 其原因是小麦种植密度过大、贪青晚熟使得光能利用率偏大, 但籽粒与茎秆比偏低, 导致经济产量不一定达到最大。

### 1.3 应对措施

影响冬小麦光能利用率和产量的因子包括灌溉条件、品种和种植方式等, 调亏灌溉、选择合适的品种和种植方式可以提高冬小麦光能利用率<sup>[9, 10]</sup>。Bedoussac等<sup>[11]</sup>指出, 当小麦和豌豆间作时, 不同物种叶面积指数和高度的动态互补可有效提高光能利用率。

### 2 温度对冬小麦的影响

#### 2.1 气温和积温变化的影响

根据IPCC报告, 全球近50年温度升高幅度为 $0.13 \pm 0.03^\circ\text{C}/10\text{a}$ <sup>[12]</sup>; 在我国, 1987—2003年的平均气温比1961—1986年升高了 $0.7^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ 积温平均增加 $112^\circ\text{C}$ ,  $10^\circ\text{C}$ 积温平均增加 $107^\circ\text{C}$ <sup>[13]</sup>。针对气温和积温较大幅度升高给冬小麦的生产带来的影响, 中外学者进行了大量研究工作, 取得了不少成果。

##### 2.1.1 对冬小麦冬前生长和安全越冬的影响

气温和积温对冬小麦冬前生长有重要影响。王位泰等<sup>[14]</sup>指出1980—2006年甘肃陇东地区 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温和 $\geq 5^\circ\text{C}$ 积温分别以 $6.1^\circ\text{C}/\text{a}$ 和 $5.5^\circ\text{C}/\text{a}$ 的速度增加, 即秋季冬小麦生长季内热量资源条件呈增加趋势。李巧云等<sup>[15]</sup>研究发现, 冬前积温升高可导致播种一出苗天数和所需积温的减少, 冬前主茎叶龄增加和幼穗分化进入单棱期和二棱期的时间提前。

收稿日期: 2011年10月10日; 修回日期: 2011年11月16日  
第一作者: 王春玲(1988—), Email: wangchunling668@126.com  
资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106029),  
国家重大科学研究计划(2012CB955304)

蒲金涌等<sup>[13]</sup>指出最近20多年冬季气温升高使得冬小麦越冬死亡率降至2%以下,越冬天数减少了7~8d,有利于冬小麦生产。代立芹等<sup>[16]</sup>则认为气候变暖致使冬小麦冬前旺长现象突出,抗寒力下降,冻害风险依然存在,如2004—2005年黄淮海麦区、2005—2006年河北中南部麦区大面积冻害。

### 2.1.2 对冬小麦冬后生长和产量形成的影响

王鹤龄等<sup>[17]</sup>指出,在黄土高原农业区3月最低气温每升高1℃,冬小麦返青期将提前3.4d;6月最高气温升高1℃,成熟期将提前5.2d左右。钟秀丽等<sup>[18]</sup>指出春季温度对拔节期有明显影响,平均拔节期的地区分布与温度的地区分布相似。最近,王位泰等<sup>[19]</sup>研究指出,1981年以来,气候持续变暖导致黄土高原中部冬小麦拔节期提前的速率(4.5d/10a)大于终霜日提前的速率(3.2d/10a),冬小麦春季拔节—孕穗期遭受终霜冻危害的气候风险在增大。

### 2.1.3 对冬小麦病虫害的影响

全球变暖使农业有害生物地理分布范围扩大,生长季加长,越冬存活率提高,数量增加,导致病虫害的危害加大<sup>[20]</sup>。刘明春等<sup>[21]</sup>由长期定点观测资料得出,1985年以来武威凉州区小麦蚜虫的发生及危害总体呈加重趋势。王惠芳等<sup>[22]</sup>发现随着气候趋暖,以前在南方麦区才能见到的小麦赤霉病、锈病、白粉病、纹枯病不断在豫东北地区出现,蚜虫、黏虫、红蜘蛛、吸浆虫、蛴螬、蝼蛄等危害有加重趋势。

## 2.2 土壤温度变化的影响

地温与冬小麦发育期为负相关,地温高,发育期早,地温低,发育期迟<sup>[23]</sup>。刘炜等<sup>[24]</sup>利用自制的恒温培养系统,使小麦地上部气温条件相同,而根系处于不同温度,来研究各生育期小麦生长对土壤温度的反应,结果表明:小麦冬前至返青期低温处理明显抑制根系发育;越冬前和越冬期高温促进了根系生长,返青期高温则抑制根长和根体积增加。最近,Patil等<sup>[25]</sup>研究了冬小麦对土壤变暖的响应,发现土壤变暖促进了早期阶段作物的生长,在不减少后期生长的前提下,使总生长季缩短了12d。

## 2.3 应对措施

针对暖冬气候条件对冬小麦冬季生长发育状况的改变,崔彦生等<sup>[26]</sup>指出在过去认定的播期播种,常常出现小麦冬前旺长现象,冬季和早春冻害时有发生,为此冬小麦适宜播期应该比过去适当推迟,并根据多地多年份的冬前积温进行了确定冬小麦适宜播期的研究,得出河北中南部地区冬小麦播种期应在适宜播期范围内适当后延1~2d的结论。

## 3 水分对冬小麦的影响

### 3.1 干旱缺水的危害及应对措施

#### 3.1.1 苗期对缺水的敏感性

根系是冬小麦感受土壤干旱的原初部位,干旱条件下根系活力显著降低,且随着干旱的不断加深,根系受影响逐渐加重<sup>[27]</sup>。单长卷等<sup>[28]</sup>研究表明在干旱胁迫下,冬小麦幼苗根系通过降低水势、相对含水率和根系活力,增加渗透调节物质可溶性糖、脯氨酸含量和增强SOD,POD活性等生理上的变化以提高抗旱性。柳斌辉等<sup>[29]</sup>发现,干旱条件下旱地小麦通过降低水分消耗维持地上部分生长,而高水肥品种则依赖根系进一步发展来适应缺水环境,这体现了不同小麦品种的根系在干旱胁迫调节中存在差异性。

叶片是冬小麦受到干旱影响的另一部位。单长卷等<sup>[30]</sup>采用盆栽试验研究得出,随着土壤水分的减少,幼苗叶片叶绿素、光合速率、蒸腾速率、气孔导度等均呈降低趋势。进一步研究表明,在干旱胁迫下,冬小麦幼苗通过叶片内部的生理变化和降低蒸腾来适应干旱逆境<sup>[31]</sup>。

此外,底墒是冬小麦生长发育和产量形成的重要水源之一,随着播前底墒的增加,冬小麦产量、水分利用效率、光合速率、光合量子产量显著增加<sup>[32]</sup>。播种前降水对于适时播种,有效分蘖数的增加,也有着重要作用<sup>[4]</sup>。

#### 3.1.2 水分临界期对缺水的敏感性及应对

拔节—灌浆期是冬小麦水分临界期,需水量大,对水分条件要求较高,此期缺水严重影响着冬小麦地下及地上部的生物产量以及最终籽粒产量的形成,对后期穗粒数和千粒重有显著影响<sup>[33]</sup>。集水补灌不仅可有效提高旱地小麦产量,而且可有效提高其水分利用效率,补灌时期以拔节期补灌最佳<sup>[34]</sup>。

### 3.2 水分过多的危害及应对措施

冬小麦全生育期耗水量与产量之间基本呈二次函数关系,经济灌水量为374.9mm,冬小麦适宜耗水量区间为374.9~551.7mm<sup>[35]</sup>。水分过多时,植物根系无氧呼吸加强,吸收功能衰退,新陈代谢紊乱,小麦品质下降<sup>[36]</sup>。Skinner等<sup>[37]</sup>指出,土壤水分饱和会对冬小麦越冬期的抗寒性造成影响。刘培等<sup>[38]</sup>则提出在冬小麦对水分不很敏感的时期,节省若干次灌水,可以大大减少无效耗水总量,从而在实现高产的基础上,达到节约水量的目的。

## 4 结论

(1)光照条件对冬小麦的生长发育和产量的影响主要包括光照时长和强度、光能利用率的影响等,研究认为光照不足往往对冬小麦产量和品质造成严重影响,其原因是灌浆期冬小麦在弱光生境下光合产物合成受到抑制,从而导致冬小麦灌浆速率显著下降;较大的光能利用率可使冬小麦产量均处于一个较高且

较稳定的水平。提高冬小麦光能利用率的措施包括调整灌溉条件、品种和种植方式等。

(2) 温度条件对冬小麦的生长发育和产量的影响方面, 有关气温(积温)的较大幅度升高对冬小麦的生长发育和产量的影响的研究近年来进展很快, 已成为一个研究热点, 取得了不少成果, 指出气候变暖导致冬小麦冬前旺长现象突出, 不利于冬小麦安全越冬, 为此应当适当推迟冬小麦播种期; 气候变暖还可导致冬小麦返青期、拔节期和成熟期提前, 还可造成冬小麦病虫害的危害加大。

(3) 水分条件对冬小麦的生长发育和产量影响的研究主要涉及干旱缺水和水分过多对冬小麦的危害, 大量的对比试验发现干旱缺水会对冬小麦根系和叶片产生危害, 拔节—灌浆期缺水会对冬小麦的产量形成有显著影响, 水分过多时也会导致小麦品质下降。

## 5 讨论

地温是表示土壤温度的要素, 而作物的根系生长在土壤中, 土壤温度的高低对作物生长的影响比气温更加直观。我们应在关注气温变化对冬小麦生产影响的基础上, 重点开展土壤温度变化对冬小麦生长发育和产量影响的研究。

有关水分条件对冬小麦影响的研究主要以同一年份内的大田对照试验或盆栽试验为主, 较少采用多年实际观测资料。我们可以利用多年的冬小麦和土壤水分含量实际观测资料, 重点针对土壤水分含量在自然状态下的变化过程, 分析其对冬小麦的影响, 使研究结果更切合实际。

利用作物模型的发展使得模拟未来气候变化对冬小麦产量的影响成为可能, 大量的研究表明未来气候变化将引起冬小麦产量下降。此外, 许多学者还研究了CO<sub>2</sub>浓度变化对冬小麦生长的影响, 但结论尚不一致, 这也成为我们关注的热点。

### 参考文献

[1] 房世波, 韩国军, 张新时, 等. 气候变化对农业生产的影响及其适应. 气象科技进展, 2011, 1(2): 15-19.

[2] Butterworth M H, Semenov M A, Barnes A, et al. North-south divide: Contrasting impacts of climate change on crop yields in Scotland and England. *Journal of the Royal Society*, 2010, 7(42): 123-130.

[3] Reilly J, Tubiello F, McCarl B, et al. US agriculture and climate change: New results. *Climatic Change*, 2003, 57: 43-69.

[4] 柳芳, 黎贞发. 降水量和积温变化对天津冬小麦产量的影响. *中国农业气象*, 2010, 31(3): 431-435.

[5] 闫素辉, 李文阳, 杨安中, 等. 弱光对小麦花后旗叶光合及籽粒灌浆的影响. *麦类作物学报*, 2011, 31(1): 77-81.

[6] 张黎萍, 荆奇, 戴廷波, 等. 温度和光照强度对不同品质类型小麦旗叶光合特性和衰老的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(2): 311-316.

[7] 史定珊, 毛留喜. 冬小麦生产气象保障概论. 北京: 气象出版社, 1994.

[8] 李红卫, 李书岭, 张志红, 等. 冬小麦光能利用率动态分析. *安徽农业科学*, 2009, 37(26): 12457-12458.

[9] Han H, Li Z, Ning T, et al. Radiation use efficiency and yield of winter wheat under deficit irrigation in North China. *Plant Soil Environment*, 2008, 54 (7): 313-319.

[10] Li Q Q, Chen Y H, Liu M Y, et al. Effects of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. *Agricultural Water Management*, 2008, 95: 469-476.

[11] Bedoussac L, Justes E. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat-winter pea intercrop. *Plant Soil*, 2010, 330: 37-54.

[12] Solomon S, Qin D H, Manning M, et al. Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group, *Climate Change 2007: The Scientific Basis*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2007.

[13] 蒲金涌, 姚玉璧, 马鹏里, 等. 甘肃省冬小麦生长发育对暖冬现象的响应. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1237-1241.

[14] 王位泰, 张天峰, 马鹏里, 等. 甘肃陇东黄土高原秋冬季冬小麦异常旺长对气候变暖的响应. *生态学杂志*, 2008, 27(9): 1492-1497.

[15] 李巧云, 年力, 刘万代, 等. 冬前积温对河南省小麦冬前生长发育的影响. *中国农业气象*, 2010, 31(4): 563-569.

[16] 代立芹, 李春强, 姚树然, 等. 气候变暖背景下河北省冬小麦冻害变化分析. *中国农业气象*, 2010, 31(3): 467-471.

[17] 王鹤龄, 王润元, 赵鸿, 等. 中国西北冬小麦和棉花生长对气候变暖的响应. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(1): 258-264.

[18] 钟秀丽, 王道龙, 李玉中, 等. 黄淮海冬小麦拔节期的时空变化研究. *中国生态农业学报*, 2007, 15(2): 22-25.

[19] 王位泰, 张天峰, 蒲金涌, 等. 黄土高原中部冬小麦生长对气候变暖和春季晚霜冻变化的响应. *中国农业气象*, 2011, 32(1): 6-11.

[20] 赵鸿, 孙国武. 环境蠕变对农业病虫害鼠害的潜在影响. *干旱气象*, 2004, 22(1): 69-73.

[21] 刘明春, 蒋菊芳, 史志娟, 等. 小麦蚜虫种群消长气象影响成因及预测. *中国农业气象*, 2009, 30(3): 440-444.

[22] 王惠芳, 张青珍, 张明捷, 等. 豫东北气温变化趋势及对冬小麦生长发育的影响. *中国农学通报*, 2010, 26(11): 341-345.

[23] 费晓玲, 丁春兰. 甘肃黄土高原地温与冬小麦发育期的关系分析. *干旱气象*, 2009, 27(2): 148-151.

[24] 刘炜, 杨君林, 许安民, 等. 不同根区温度对冬小麦生长发育及养分吸收的影响. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(4): 197-201.

[25] Patil R H, Laegdsmand M, Olesen J E, et al. Growth and yield response of winter wheat to soil warming and rainfall patterns. *Journal of Agricultural Science*, 2010, 148: 553-566.

[26] 崔彦生, 韩江伟, 曹刚, 等. 冬前积温对河北省中南部冬小麦适播期的影响. *中国农学通报*, 2008, 24(7): 195-198.

[27] 吴寅, 贺德先, 周宏美, 等. 秋冬春连续干旱对冬小麦生育前期根系发育与生理活性的影响. *山东农业科学*, 2010, (4): 13-15, 21.

[28] 单长卷, 徐新娟, 王光远, 等. 冬小麦幼苗根系适应土壤干旱的生理学变化. *植物研究*, 2007, 27(1): 55-58.

[29] 柳斌辉, 孟东霞, 刘子会, 等. 水分胁迫对不同根型小麦幼苗水分利用率和导水率的影响. *华北农学报*, 2007, 22(2): 90-94.

[30] 单长卷, 郝文芳, 张慧成. 土壤干旱对冬小麦幼苗生理特性的影响. *河北农业大学学报*, 2006, 29(4): 6-10, 18.

[31] 单长卷, 任秀娟. 冬小麦幼苗叶片适应土壤干旱的生理机制. *西南农业大学学报*, 2006, 28(2): 219-222, 243.

[32] 刘荣花, 方文松, 朱自玺, 等. 黄淮平原冬小麦底墒水分分布规律. *生态学杂志*, 2008, 27(12): 2105-2110.

[33] 安永芳, 关军锋, 及华, 等. 拔节期灌溉对冬小麦根重与产量的影响. *河北农业科学*, 2005, 9(2): 16-20.

[34] 崔欢虎, 靖华, 马爱平, 等. 不同下垫面降雨产流与旱地小麦集水补灌的产量及水分利用效率研究. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 170-173.

[35] 肖俊夫, 刘战东, 段爱旺, 等. 新乡地区冬小麦耗水量与产量关系研究. *河南农业科学*, 2009, (1): 55-59.

[36] 党廷辉, 高长青. 渭北旱塬影响小麦产量的关键降水因子分析. *水土保持研究*, 2003, 10(1): 9-11, 36.

[37] Skinner D Z, Mackey B. Freezing tolerance of winter wheat plants frozen in saturated soil. *Field Crops Research*, 2009, 113: 335-341.

[38] 刘培, 蔡焕杰, 王健. 土壤水分胁迫对冬小麦生长发育、物质分配及产量构成的影响. *农业现代化研究*, 2010, 31(3): 330-333.