

程立平,林文,赵玉明,等.旱作冬小麦生育后期持续无降水对土壤水分的影响[J].江苏农业科学,2018,46(10):304-306.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.10.073

旱作冬小麦生育后期持续无降水对土壤水分的影响

程立平¹,林文²,赵玉明¹,刘沛松¹

(1.平顶山学院,河南平顶山 467000; 2.中国科学院水利部水土保持研究所,陕西杨凌 712100)

摘要:通过对冬小麦生育后期实施遮雨,以自然降雨样地为对照,研究黄土塬区旱作冬小麦生育后期持续无降水对土壤水分及小麦产量的影响。结果表明,在底墒充足的条件下,生育后期持续无降水将导致旱作冬小麦小幅减产,但并不显著。原因在于遮雨样地冬小麦利用了深达 3.5 m 土层土壤水分,与对照样地相比多消耗了 37.6 mm 土壤储水,但总蒸散量小于 40.4 mm,提高了土壤储水利用率和水分利用效率,由此导致土壤水分亏缺深度和程度明显偏大,土壤水库水分调节功能减弱。夏闲期采取地表覆盖等蓄水保墒措施,能够有效增加土壤储水量,对于缓解冬小麦生育后期气象干旱所带来的负面效应,保证小麦稳产高产具有重要意义。

关键词:黄土塬区;冬小麦;土壤水分;底墒

中图分类号: S343.1; S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)10-0304-03

黄土高原南部的黄土塬区是我国北方重要的冬小麦产区,该区冬小麦生育期降水量仅占生育需水量的一半左右^[1],尤其是在拔节—抽穗—灌浆期高需水阶段降水更少。黄土土层深厚,土壤水库能够蓄积雨季降水、调节水分,持续供应植物生长,有效地缓解了冬小麦生育期降水与需水之间的矛盾。该区有关土壤水分与冬小麦相互关系的研究有农田生产力提升对土壤水分循环的影响^[2-3],底墒对冬小麦的稳产效应^[4-6],施肥与覆盖等耕作管理对冬小麦生理性状、产量、土壤水分及水分利用效率的影响^[7-10]等几个方面,并取得了一系列重要进展。也有一些学者研究了干旱胁迫对冬小麦生理特性、产量及水分利用效率的影响^[11-13],但是这些研究多为盆栽试验,或者并未关注旱作冬小麦生育持续气象干旱,特别是冬小麦抽穗以后持续无降水对土壤水分及产量的影响。基于此,本研究通过对比法研究冬小麦生育后期持续无降水条件下土壤水分动态变化及产量变化,以期为黄土区旱作冬小麦田间水分管理提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区地处陕西省长武县,位于中国科学院长武农业生态试验站(地理位置 35°14' N, 107°40' E)所在的黄土塬上,塬面海拔 1 220 m,属暖温带半湿润易旱大陆性季风气候区,多年平均降水量 580 mm,降水年际变化较大,且年内分布不均,7—9 月降水量占全年降水总量的 55% 以上。长武塬区为典型的雨养农业区,作物一年一熟,农田轮作方式多为冬小麦—冬小麦—春玉米。研究区黄土堆积深厚,土壤为黑垆土,田间持水量和凋萎湿度分别为 22% (质量分数,下同)和 9%,平均容重 1.3 g/cm³,母质为中壤质马兰黄土。黄土剖面

土质较为疏松,孔隙度在 50% 左右,通透性良好,利于水分入渗和植物根系生长。

1.2 研究方法

本试验在长武站作物水肥平衡试验场进行。试验小区长×宽为 4 m×3.5 m,四周用水泥砌 1.5 m 深墙,以阻断水分交换,小区间留有 0.5 m 宽保护行。2015 年 9 月 24 日选择 6 个“一”字形排列小区播种小麦,播种量为 150 kg/hm²,播前一次性深翻施氮肥(尿素, 150 kg/hm²)、磷肥(P₂O₅, 90 kg/hm²)。

2016 年 5 月 9 日开始利用遮雨棚对 4、5、6 号小区进行人工遮雨处理,即雨前将遮雨棚推至小区,雨后推离,模拟持续气象干旱胁迫;1、2、3 号小区为对照,接纳自然降水。于 5 月 9 日、5 月 19 日、5 月 29 日、6 月 10 日和 6 月 22 日(小麦收割日)分别在样地人工土钻取土,用烘干法测定土壤水分含量,取样深度 4 m,取样间隔 20 cm。6 月 22 日,按小区收获,脱粒后晒干称质量,计算产量。

土壤储水量计算公式为 $W = \sum \theta_i \times \rho \times h_i \times 10/100$ 。

黄土塬区水量平衡计算公式一般被简化为 $ET = P - W$ 。式中: W 为土壤储水量(mm); θ 为土壤含水量(质量分数, %); ρ 为土壤容重(g/cm³); h 为土层厚度(cm); ΔW 为土壤储水量的变化量(mm); P 为降水量(mm); ET 为蒸散量(mm)。

1.3 数据处理及作图

采用 Excel 2007 分析统计数据和作图。

2 结果与分析

2.1 土壤水分剖面变化

遮雨样地 5 月 9 日、5 月 19 日、5 月 29 日、6 月 10 日、22 日 0~4 m 土壤剖面平均湿度分别为 15.49%、14.79%、14.31%、14.17%、13.81%; 对照样地分别为 15.71%、15.52%、15.31%、15.13%、14.76%。从图 1 看出,5 月 9 日 2 类小麦地 0~4 m 土壤水分剖面几乎没有差异,垂直方向上

收稿日期:2017-09-10

基金项目:国家自然科学基金(编号:41401015、41771036)。

作者简介:程立平(1981—),男,陕西渭南人,博士,副教授,主要从事生态水文方向的研究。E-mail:lpchengnwu@163.com。

土壤水分含量在不同深度土层范围内随深度变化表现出不同的变化特征:从地表到 1.5 m 土层深度,土壤水分含量从 9% 增加至 15% 以上;从 1.5 m 到 2.5 m 土层深度,土壤水分含量基本稳定在 15% ~ 16% 之间;2.5 m 土层深度以下,土壤水分含量随深度增加而增加,至 4 m 土层深度,土壤水分含量已达 20%。

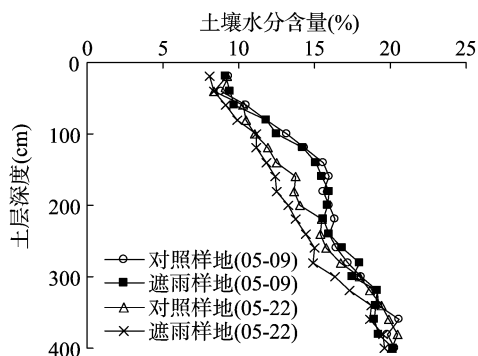


图1 不同样地下土壤水分剖面

随着时间推移,2 块小麦样地土壤水分曲线均向左移动,但程度不同。从图 1 看出,与 5 月 9 日相比,6 月 22 日对照样地仅在 0 ~ 2.2 m 土层范围内土壤水分曲线左移,而遮雨样地由于缺少降水对土壤水分的补充,0 ~ 3.5 m 土层范围内土壤水分减少,且减少程度较大。小麦收获期 2 类样地土壤水分曲线出现明显的差异,在整个 0 ~ 4 m 土层范围内遮雨样地土壤水分含量均低于对照小麦样地,这是因为持续的气象干旱迫使冬小麦消耗了更多更深的土壤水分。表明在生育后期持续无降水条件下,冬小麦能够利用 3.5 m 深度土层土壤水分以维持自身生长发育。

2.2 储水量动态变化

从 5 月 9 日到冬小麦收获,对照样地和遮雨样地土壤储水量分别减少 49.8、87.4 mm,遮雨样地较对照样地多消耗土壤储水量 37.6 mm。从图 2 看出,对照样地土壤储水量在整个试验期间内平缓减少,日均减少 1.14 mm;遮雨样地土壤储水量则在 5 月 9 日至 5 月 29 日减少较快,日均减少 3.07 mm,而 5 月 29 日至收获期土壤储水量平缓减少,日均减少 1.08 mm。其原因可能有 2 点:一是 5 月 9 日至 5 月 29 日属于冬小麦抽穗—开花—灌浆期,是需水关键期,在无降水补充条件下,只能通过消耗土壤储水来满足生长需要,在此期间 1.5 ~ 2.5 m 土层范围内土壤水分状况较好,有足够水分供冬小麦利用;二是灌浆期后到成熟期小麦需水减少,土壤水分主要通过物理蒸发支出,而此时浅层土壤水分状况差,土壤物

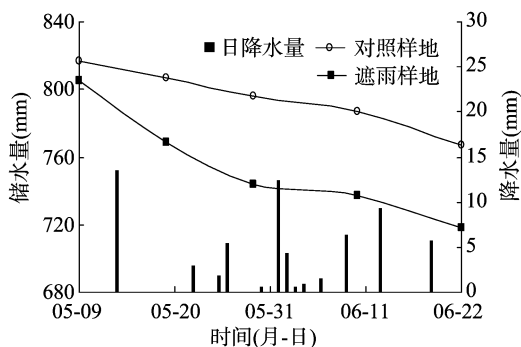


图2 不同样地土壤储水动态变化

理蒸发小。

2.3 蒸散量动态变化

5 月 9 日起至冬小麦收获研究区累积降水量达 78 mm (图 3)。遮雨样地由于无降水补充,蒸散量等于土壤储水量的减少量 87.4 mm;而对照样地蒸散量为降水量与土壤储水量的减少量之和(127.8 mm),较遮雨样地高 40.4 mm。但是在不同试验阶段 2 块样地蒸散量大小关系不同,由试验期间 2 块样地蒸散量累积变化曲线看出,5 月 29 日之前遮雨样地累积蒸散量大于对照样地;5 月 29 日之后对照样地累积蒸散量开始大于遮雨样地(图 3)。

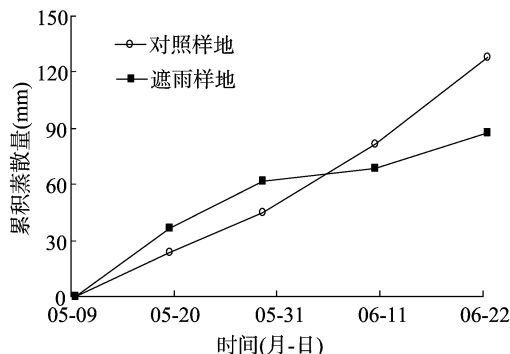


图3 不同样地累积蒸散量变化

2.4 生育后期持续无降水对冬小麦产量的影响

遮雨样地冬小麦平均产量为 4 450 kg/hm²,对照样地冬小麦平均产量为 4 600 kg/hm²,虽然遮雨样地冬小麦产量低于对照样地,但是方差分析表明二者并无显著差异。

综上可以发现,旱作冬小麦生育后期持续无降水补充的遮雨样地较对照样地多消耗 37.6 mm 土壤储水,但是总蒸散量小于 40.4 mm,且冬小麦产量并无显著差异。由此表明旱作冬小麦生育后期持续干旱能够提高土壤储水的利用率和水分利用效率。

3 讨论

黄土塬区土壤水库以底墒水的形式提供了旱作冬小麦一半左右的生育需水量,从而使该区冬小麦具有较好的稳产性和丰产潜力,即农谚“麦收隔年墒”^[1]。本研究中冬小麦播期 0 ~ 4 m 土层平均水分含量为 18% 以上,底墒充足。有研究表明,黄土旱塬底墒和生育期降水与冬小麦产量均呈显著正相关,但是冬小麦生育期降水的产量效应小于底墒的效应^[4]。因此遮雨样地虽然从 5 月 9 日起并无降水输入,但是其产量与对照样地并无显著差异,表明在底墒充足条件下生育后期持续无降水并不会对旱作冬小麦产量造成影响。但是该结果并不是说底墒是决定小麦产量的唯一因素,没有一定量的生育期降水,也难以实现稳产^[5];本研究仅从 5 月 9 日开始遮雨,而之前所有样地正常接纳雨水也说明了这一点。底墒充足能诱导根系相对较多地向土壤纵深下扎,形成了上层相对较少、深层相对较多的根系构型,增加了小麦根系汲取土壤水分的深度^[14],从而使深层土壤储水在冬小麦全生育期持续发挥水分调节功能,保证了冬小麦的稳产性。由此也造成了土壤水库库容的过量消耗,形成土壤水分亏缺^[1]。

本研究中旱作冬小麦生育后期持续无降水的遮雨样地利用了 3.5 m 深度土壤水分,较对照样地多消耗 37.6 mm 土壤

储水,因此遮雨样地所形成的土壤水分亏缺,无论是在影响深度还是在亏缺程度上,都超过了对照样地。在雨季同样降水量的情况下,遮雨样地降水入渗深度显著变浅,入渗层之下的土壤水分亏缺层可能形成土壤干层^[15]。土壤干层具有以下特点:一是土壤干层湿度介于萎蔫湿度和土壤稳定湿度之间;二是位于降雨入渗深度以下土体某一深度范围内;三是干燥程度因植物种类和生长年限而定^[15-16]。研究区土壤湿度低于田间稳定湿度时(田间持水量的 70%、15.4%)即认为形成土壤干层^[17],由本研究看出,冬小麦收获期遮雨样地下 0~3 m 土层土壤湿度均低于田间稳定湿度,而对照样地仅在 2.2 m 以上土层的土壤湿度低于田间稳定湿度。Liu 等利用皮尔逊Ⅲ型统计曲线对长武旱作小麦地下降水最大入渗深度进行统计,结果表明降水入渗至 2、2.5、3 m 深度的重现期分别为 3.1、5.4、9.8 年^[18]。表明黄土塬区冬小麦生育后期持续无降水条件下,即使播前底墒充足,旱作冬小麦田下都将形成深度更深、干燥程度更大、水分恢复周期更长的土壤干层。

本研究区为半湿润偏旱气候区,降水年际变化较大,年内分布不均,7—9 月降水量占全年降水总量的 55% 以上,该时段是冬小麦田的夏季休闲期,也是土壤水分恢复补给时期。而土壤干层内水分是否能够恢复对于土壤水库水分调节功能至关重要,若土壤干层内土壤水分未得到有效恢复,则水库水分调蓄功能减弱,下茬小麦生长发育及产量必然受到影响;若土壤干层内土壤水分能够得到有效恢复,冬小麦生育后期持续干旱不仅提高了土壤水分的利用率,而且能够扩充土壤水库库容,充分发挥土壤水库水分调蓄功能。但是在传统的深翻晒垡、纳雨蓄墒、耙耱保墒等农耕措施下,土壤夏闲期蓄水效率不足 40%,60% 以上的雨水在此高温时段以及土壤裸露状况下通过土壤蒸发等方式散失^[4]。诸多研究表明,夏闲期地表覆盖保墒措施能够有效提高降雨入渗率,抑制土壤水分的蒸发,增加土壤储水量,显著改善播前底墒^[19-21],而底墒对于该区小麦稳产、高产具有重要意义。地表覆盖技术中,用碎麦草覆盖休闲麦田,不仅具有保水蓄墒的功效,而且能够使废弃物得到利用,在改善土壤肥力的同时减轻因秸秆燃烧及其废弃地膜带来的环境压力,具有广阔的应用前景。

4 结论

在渭北黄土旱塬区,旱作冬小麦在播前底墒充足的情况下,生育后期持续无降水将会导致冬小麦小幅减产,但是减产并不显著。冬小麦生育后期持续遮雨样地可以利用深达 3.5 m 土层土壤水分,而对照样地仅利用 2.2 m 以上土层土壤水分;遮雨样地较对照样地多消耗了 37.6 mm 土壤储水,但是总蒸散量小于 40.4 mm。表明旱作冬小麦生育后期持续无降水能够提高土壤储水的利用率 and 水分利用效率,但是会形成深度更深、干燥程度更大、水分恢复周期更长的土壤干层,从而对黄土土壤水库调节水分功能产生影响。夏闲期麦田地表覆盖等蓄水保墒措施,能够提高土壤蓄水量,改善播前底墒,对于缓解冬小麦生育后期干旱所带来的负面效应,保证小麦稳产、高产具有重要意义。

参考文献:

- [1] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91-101.
- [2] 黄明斌, 党廷辉, 李玉山. 黄土区旱塬农田生产力提高对土壤水分循环的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 50-54.
- [3] 李玉山. 旱作高产田产量波动性和土壤干燥化[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 353-356.
- [4] 罗俊杰, 王 勇, 樊廷录. 旱地不同生态型冬小麦水分利用效率对播前底墒的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 61-65, 71.
- [5] 孟晓瑜, 王朝辉, 李富翠, 等. 底墒和施氮量对渭北旱塬冬小麦产量与水分利用的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 369-375.
- [6] 李玉山, 喻宝屏. 土壤深层储水对小麦产量效应的研究[J]. 土壤学报, 1980, 17(1): 43-54.
- [7] 柴守玺, 杨长刚, 张淑芳, 等. 不同覆膜方式对旱地冬小麦土壤水分和产量的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(5): 787-796.
- [8] 官 情, 王 俊, 宋淑亚, 等. 黄土旱塬区不同覆盖措施对土壤水分及冬小麦水分利用效率的影响[J]. 地下水, 2011, 33(1): 21-24.
- [9] 王晓峰, 田霄鸿, 陈自惠. 不同覆盖施肥措施对黄土旱塬冬小麦土壤水分的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(5): 1105-1111.
- [10] 李博文, 杨长刚, 兰雪梅, 等. 秸秆带状覆盖对旱地冬小麦产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(2): 14-20.
- [11] 刘恩科, 梅旭荣. 不同生育时期干旱对冬小麦氮素吸收与利用的影响[J]. 植物生态学报, 2010, 34(5): 555.
- [12] 王俊儒, 龚月桦, 翟丙年, 等. 生育后期干旱对冬小麦产量和生理特性的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(6): 908-912.
- [13] 赵世伟, 管秀娟, 吴金水. 不同生育期干旱对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水, 2001, 20(4): 56-59.
- [14] 任三学, 赵花荣, 郭安红, 等. 底墒对冬小麦植株生长及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(4): 79-85.
- [15] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 427-432.
- [16] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [17] 程立平, 刘文兆. 黄土塬区土壤水分分布特征及其对不同土地利用方式的响应[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 203-207.
- [18] Liu W Z, Zhang X C, Dang T H, et al. Soil water dynamics and deep soil recharge in a record wet year in the southern Loess Plateau of China [J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(8): 1133-1138.
- [19] 郭 媛, 孙 敏, 任爱霞, 等. 夏闲期地表覆盖对旱地土壤水分、小麦氮素吸收运转及产量的影响与施氮调控[J]. 生态学杂志, 2015, 34(7): 1823-1829.
- [20] 李 青, 高志强, 孙 敏, 等. 夏闲期施肥与覆盖处理对旱地冬小麦产量和土壤水分利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(3): 519-523.
- [21] 张 萌, 孙 敏, 高志强, 等. 旱地麦田休闲期覆盖保水与植株氮素运转及产量的关系[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1): 117-124.