

文章编号:1672-3317(2017)08-0013-05

冬小麦受旱减产规律及产量与水关系模型研究

曹成, 汤广民

(安徽省·水利部淮委水利科学研究院, 水利水资源安徽省重点实验室, 安徽蚌埠 233000)

摘要:以淮北平原地区常用小麦品种冠35为试验材料,采用测坑进行冬小麦受旱试验,研究了不同受旱等级条件下的减产规律,构建了产量与水分关系模型。结果表明,冬小麦需水非关键期和关键期土壤水分对产量影响的总趋势均是产量随着土壤水分的降低即受旱程度的增大而下降,轻旱、中旱、重旱减产率分别为4.4%、8.1%、8.6%和6.2%、6.9%、11.2%;冬小麦在拔节期和抽穗—灌浆期对水分亏缺较为敏感,敏感指数分别为0.175 2和0.084 9,乳熟期与分蘖期对水分亏缺敏感程度较低,敏感指数分别为0.003 2和0.066 2。水分亏缺对冬小麦产量影响最大的阶段为抽穗灌浆期,而此阶段也正是小麦耗水强度最大期。

关键词:受旱; 减产规律; 模型; 冬小麦

中图分类号: S274.1; S423

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2017.08.003

曹成,汤广民. 冬小麦受旱减产规律及产量与水关系模型研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(8): 13-17.

0 引言

淮河流域是我国重要的商品粮生产基地。流域国土面积仅占全国的2.9%,但耕地面积却占全国的12%^[1],粮食产量占全国的近20%,GDP占全国的10%以上;平均每年向国家提供商品粮150亿~200亿kg,约占全国商品粮的1/4。淮河流域的耕地率和人口密度均居我国七大江河流域之首,人均农业产值为全国平均水平的1.4倍,在我国农业生产中的地位举足轻重。受气候和地理环境等自然因素及经济社会发展和人类活动的影响,淮河流域的水旱灾害频繁发生^[2]。尤其流域旱灾呈现频次加快、范围扩大、损失加重的趋势,每年给城乡居民生活和工农业生产造成不同程度的影响,严重制约流域经济社会的正常运行^[3]。

自20世纪70年代以来,国内外学者关于冬小麦水分调亏灌溉^[4-9]、干旱风险分析评估等已开展大量的研究。研究初期,冬小麦调亏灌溉主要侧重于节水、高产研究;近年来随着国民生活品质的提高,调亏灌溉的目标开始转向节水、调质研究^[10-13],兼顾冬小麦产量与蛋白质产量的适宜亏水模式依次为返青期轻度亏水、返青期中度亏水、灌浆成熟期轻度亏水、抽穗扬花期轻度亏水、拔节期中度亏水、拔节期轻度亏水^[14]。此外,从灾害风险分析的角度构建了我国北方冬小麦干旱、江淮冬小麦渍涝、东北作物夏季低温冷害及华南荔枝和香蕉冬季寒害组合的灾害风险评估体系^[15];基于冬小麦减产与致旱因子间的关系研究,确定了基于降水负距平的气候干旱强度指标和基于水分亏缺率的作物干旱指标^[16];采用水分盈亏指数分析了安徽省冬小麦全生育期和关键期水分盈亏的时空变化特征,在此基础上统计分析了冬小麦旱涝发生情况及其对产量的影响^[17];研究了淮河流域冬小麦水分亏缺率的空间分布特征^[18]。但是与干旱等级结合开展不同干旱级别条件下淮河流域农作物的减产规律及产量与水关系模型研究鲜见报道。为此,有必要通过开展“主要农作物受旱”专项试验研究,探求淮河流域主要农作物受旱条件下的减产规律,建立作物产量与水关系模型,确定不同干旱指标与粮食减产之间的关系,为探讨不同旱情等级对流域粮食生产的影响和构建流域防旱减灾生产模式提供一定理论依据与技术支撑。

收稿日期:2016-11-04

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(200901026)

作者简介:曹成(1983-),男,安徽长丰人。工程师,硕士,主要从事农田水利和水土保持试验研究和科技服务工作。E-mail: cc1898@126.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2009—2010年在安徽省·水利部淮委水利科学研究院新马桥农水综合试验站进行。该站位于黄淮海平原南端、皖北平原中南部,地处东经117°32′、北纬33°09′,海拔19.5 m,属暖温带半湿润季风气候区。多年平均降雨量911 mm,蒸发量916 mm;地下水埋深在1.0~2.0 m范围内变动。试验区土壤为典型的中低产田土壤—砂姜黑土,其理化性质均属不良,土质黏重,具有湿时泥泞、干时坚硬、胀缩率大,垂直和水平排水不良,易旱易涝等特点。试验站的地理环境、自然条件和作物种植等均具有较好的代表性。

1.2 试验设计

受旱试验主要采用坑测(有遮雨棚)进行,测坑断面面积为6.67 m²,坑内土体深1.5~2.0 m,土质为砂姜黑土(分层回填),底部设有滤层和排(供)水管道系统。土壤全氮量为0.865 g/kg,全磷量为0.95 g/kg,全钾量为17.2 g/kg,速效氮量为46.1 mg/kg,速效磷量为28.2 mg/kg,速效钾量为81.1 mg/kg,有机质量为10 g/kg,pH值为8.3。土壤平均体积质量为1.45 g/cm³,田间质量持水率(FC)约为28%。

冬小麦供试品种为冠35,于2009年10月29日播种,2010年6月8日收获。小麦播种量为225 kg/hm²,基肥用量复合肥75 kg/hm²、尿素225 kg/hm²。2009年10月29日—2010年6月8日(小麦生育期)新马桥站降雨量为434.0 mm,蒸发量为495.8 mm(E601)。

试验控制因素为土壤水分和生育阶段。生育阶段包括苗期(2009年10月30日—2010年1月16日)、分蘖期(2010年1月17日—3月26日)、拔节期(2010年3月27日—4月20日)、抽穗灌浆期(2010年4月21日—5月16日)和乳熟期(2010年5月17日—6月2日)。分别在拔节期、抽穗—灌浆期需水关键期和分蘖期、乳熟期不需水关键期设置轻旱、中旱和重旱3个受旱水平,各生育阶段灌水下限控制的土层深度是20~40 cm,另设全生育期各阶段供水充足的对照(CK)1个,每处理原则上重复3次,但受试验条件限制,非关键期受旱处理均为2个重复。具体试验设计见表1。

表1 试验设计

处理(测坑号)	生育阶段				备注
	分蘖期	拔节期	抽穗灌浆期	乳熟期	
处理1(10,11)	50%FC	65%FC	70%FC	50%FC	需水非关键期轻旱
处理2(2,12)	40%FC	65%FC	70%FC	40%FC	需水非关键期中旱
处理3(3,13)	30%FC	65%FC	70%FC	30%FC	需水非关键期重旱
处理4(4,7,14)	65%FC	55%FC	60%FC	60%FC	需水关键期轻旱
处理5(5,8,15)	65%FC	45%FC	50%FC	60%FC	需水关键期中旱
处理6(6,16,18)	65%FC	35%FC	40%FC	60%FC	需水关键期重旱
处理7(1,9,17)	65%FC	65%FC	70%FC	60%FC	对照

1.3 测定项目与方法

土壤含水率采用定点法(主要用TRIME测得)+人工取土法测定,TRIME每1~2 d测定1次作为辅助,人工取土法每5~10 d测定1次。每个测坑的测定样点数不少于2点,采用平均值确定土壤含水率。土壤含水率的测定深度不小于100 cm。测定时以每10~20 cm为1个测定段,最后用加权平均法计算整个土体的含水率。作物实际耗水量通过前后2次测定的土体含水率并考虑灌水、降水、渗漏等因素造成的水量变化,用水量平衡法计算确定。

测产:分区人工收割,用试验用小型脱粒机脱粒,收获时单收、单打、单晒,称量千粒质量和小区总产量。采用SPSS22.0软件对相关数据进行统计和分析。用一元方差分析(One-way ANOVA)判断不同处理对小麦耗水量和产量的影响。若主效应显著,则进行Duncan多重比较,检验小麦产量在处理间差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 阶段受旱减产分析

不同受旱处理条件下,测定并统计小麦生长发育性状参数,结果详见表2。

从表2可看出,1)需水非关键期(分蘖期和乳熟期),在试验所控制的土壤水分范围内,小麦的千粒质量对土壤水分较为敏感,随着土壤水分的降低而上升;有效分蘖数随着土壤水分的降低呈先上升后下降的趋

势。需水非关键期土壤水分对产量影响的总趋势是产量随着土壤水分的降低而下降。轻旱、中旱和重旱处理分别比对照(处理7)4.4%、8.1%和8.6%。

2)需水关键期(拔节期和抽穗灌浆期),在试验所控制的土壤水分范围内,小麦的有效分蘖数、穗粒数、穗长随着土壤水分的降低而呈先上升后下降的变化趋势;千粒质量随土壤水分的降低有上升的趋势。需水关键期土壤水分对产量影响的总趋势是产量随着土壤水分的降低而下降。轻旱、中旱和重旱处理分别比CK减产6.2%、6.9%和11.2%。

表2 各处理考种结果

处理	有效穗数/(穗·hm ²)	穗长/cm	穗粒数/粒	千粒质量/g	产量/(kg·hm ²)	减产率/%
1	5 571 214	7.8	35.0	41.3b	7 650	4.4
2	5 842 579	7.7	36.8	42.8ab	7 350	8.1
3	6 086 207	7.7	34.2	43.6ab	7 313	8.6
4	5 654 173	7.8	36.2	42.3b	7 500	6.2
5	5 333 333	8.0	37.1	41.4b	7 450	6.9
6	5 414 793	7.7	33.9	45.9a	7 100	11.2
CK	5 501 749	7.8	36.9	43.0ab	8 000	/
Sig.	0.22	0.676	0.471	0.012*	0.322	/

注 减产率为各受旱处理产量与CK相比;同列不同小写字母表示差异性显著;*表示达到 $P<0.05$ 显著性水平。下同。

2.2 耗水量及耗水规律分析

小麦各处理不同生育期阶段耗水量及耗水强度计算成果,见表3。

表3 各处理小麦产量、阶段耗水量与耗水强度

处理	苗期		分蘖期		拔节期		抽穗灌浆期		乳熟期		产量/(kg·hm ²)
	耗水量/mm	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	耗水量/mm	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	耗水量/mm	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	耗水量/mm	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	耗水量/mm	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	
1	44.7	0.57	79.0a	1.16	55.1ab	2.30	109.4a	4.21	55.1	3.44	7650
2	43.1	0.55	42.3b	0.62	46.1abc	1.92	110.1a	4.23	54.2	3.39	7350
3	43.0	0.55	35.6b	0.52	48.4abc	2.02	108.1a	4.16	48.2	3.01	7313
4	42.3	0.54	95.4a	1.40	47.1abc	1.96	93.4ab	3.59	60.0	3.75	7500
5	42.8	0.55	82.9a	1.22	40.0bc	1.67	96.9ab	3.73	48.4	3.03	7450
6	44.5	0.57	95.7a	1.41	29.5c	1.23	79.4c	3.05	50.8	3.18	7100
CK	44.8	0.57	87.9a	1.29	64.0a	2.67	108.0a	4.15	64.9	4.06	8000
Sig.	0.994		0.004**		0.018*		0.025*		0.603		0.322

从表3可看出,CK小麦全生育期耗水量369.6 mm,平均耗水强度为1.74 mm/d。阶段耗水量以抽穗灌浆期最大,模比系数达29.2%;苗期最小,模比系数为12.1%。耗水强度也以抽穗灌浆期最大,达4.15 mm/d;苗期最小,为0.57 mm/d。需水非关键期受旱处理1、处理2、处理3耗水总量分别为343.4、295.8、283.3 mm,分别占CK的92.8%、80.0%、76.6%,阶段耗水量也是抽穗灌浆期最大,且均略高于CK,模比系数分别达31.8%、37.2%、38.1%,耗水强度也是抽穗灌浆期最大;苗期最小,且均略低于充分灌溉处理,模比系数分别为13.0%、14.5%、15.1%。需水关键期受旱处理4、处理5、处理6耗水总量分别为338.2、311.0、299.9 mm,分别占CK的91.5%、84.1%、81.1%,阶段耗水量最大为抽穗灌浆期或分蘖期,最小为苗期或拔节期;耗水强度最大为抽穗灌浆期,最小为苗期。

2.3 水分生产函数

表征作物产量与其耗水量之间定量关系的数学表达式称为作物水分生产函数,其是进行灌溉工程规划、设计与用水管理的基本依据,也是建立经济灌溉模式必须要研究解决的主要内容之一。目前,较常用的作物水分生产函数模型^[19-21]有Jensen模型、Blank模型、Stewart模型和Singh模型。基于这4种模型的小麦各阶段的敏感指数(或系数)如表4所示。

由表4可知,小麦在拔节期和抽穗灌浆期对水分亏缺较为敏感,乳熟期与分蘖期对水分亏缺敏感程度较低。在各回归模型中,Stewart模型复相关系数最高,且各生育期敏感指数(系数)分布和2.1阶段受旱减产分析结果较为一致。因此,本年度小麦的水分生产函数选用Stewart模型。

表4 小麦各生育阶段的敏感指数(系数)

生育期	苗期	分蘖期	拔节期	抽穗灌浆期	乳熟期	R	F
Jensen模型	0.174 5	0.044 2	0.131 7	0.046 5	0.020 2	0.968 0	2.978 6
Blank模型	0.435 5	0.097 3	-0.038 2	0.388 5	0.112 8	0.924 5	1.176 6
Stewart模型	0.026 6	0.066 2	0.175 2	0.084 9	0.003 2	0.974 2	3.723 0
Singh模型	0.565 5	0.117 5	0.328 4	-0.065 4	0.028 9	0.933 9	1.364 5

注 0.05显著性水平下 $F_{临界值}=4.8758$;0.01显著性水平下 $F_{临界值}=10.4555$ 。

3 讨论

试验结果表明,水分亏缺对冬小麦产量影响最大的阶段为抽穗灌浆期,随着受旱程度的增加减产幅度不断增大,此阶段也正是小麦耗水强度最大期;在试验所控制的土壤水分范围内,不管是需水非关键期受旱还是需水关键期受旱,小麦的千粒质量均随土壤水分的降低有上升的趋势。这与“水分亏缺主要通过影响灌浆持续期来影响最终千粒质量”、“水分亏缺没有改变冬小麦蛋白质形成的基本趋势,除返青期外,其他生育阶段都是随着亏水程度加重,蛋白质量升高”等已有研究结论^[14]基本一致。此外,本次试验结果中,同等受旱等级时,冬小麦关键期受轻旱、重旱减产率均大于非关键期受旱,而关键期受中旱的减产率小于非关键期,这是否有偶然因素,需进一步试验研究对比。针对淮北平原地区乃至淮河流域,确定不同干旱等级指标与粮食减产之间的关系,以及如何在干旱条件下或灌溉水资源不足时,将有限的灌溉水资源在作物生育期时间上和数量上进行优化分配,从而达到灌溉效益最大或水分生产率最高,尚需综合多年多品种作物受旱试验进一步系统研究。

4 结论

1)冬小麦非关键期受轻旱、中旱、重旱的减产率分别为4.4%、8.1%、8.6%;关键期受轻旱、中旱、重旱的减产率分别为6.2%、6.9%、11.2%;需水非关键期、关键期土壤水分对产量影响的总趋势均是随着土壤水分的降低即受旱程度的增大而下降。

2)2009—2010年测坑冬小麦全生育期平均需水强度1.74 mm/d,阶段需水量、需水强度均是抽穗灌浆期最大,苗期最小。

3)2009—2010年冬小麦在拔节期和抽穗灌浆期对水分亏缺较为敏感,乳熟期与分蘖期对水分亏缺敏感程度较低,水分生产函数选用Stewart模型为宜。

参考文献:

- [1] 许朗,欧真真.淮河流域农业干旱对粮食产量的影响分析[J].水利经济,2011,29(5):56-59.
- [2] 杜云,蒋尚民,金菊良,等.淮河流域农业旱灾风险评估研究[J].水电能源科学,2013,31(4):1-4.
- [3] 陈小凤,李瑞,胡军.安徽省淮河流域旱灾成因分析及防治对策[J].安徽农业科学,2013,41(8):3 459-3 462.
- [4] ZHAO Dandan, SHEN Jiayin, LANG Kun, et al. Effects of irrigation and wide-precision planting on water use, radiation interception, and grain yield of winter wheat in the North China Plain [J]. Agricultural Water Management, 2013, 118(2):87-92.
- [5] 孟兆江,段爱旺,王景雷,等.调亏灌溉对冬小麦不同生育阶段水分蒸散的影响[J].水土保持学报,2014,28(1):198-202.
- [6] 闫永鑫,郝卫平,梅旭荣,等.拔节期水分胁迫-复水对冬小麦干物质积累和水分利用效率的影响[J].中国农业气象,2011,32(2):90-195.
- [7] IQBAL M A, SHEN Y, STRICEVIC R, et al. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation[J]. Agricultural Water Management, 2014, 135(2):61-72.
- [8] 杨静敬,路振广,张玉顺,等.水分亏缺对冬小麦生长发育及产量影响的试验研究[J].灌溉排水学报,2013,32(1):116-120.
- [9] 雷艳,张富仓,寇雯萍,等.不同生育期水分亏缺和施氮对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J].西北农林科技大学学报,2010,38(5):167-174.
- [10] 申孝军,孙景生,刘祖贵,等.灌水控制下限对冬小麦产量和品质的影响[J].农业工程学报,2010,26(12):58-63.
- [11] YAN N, WU B. Integrated spatial-temporal analysis of crop water productivity of winter wheat in Hai Basin[J]. Agricultural Water Management, 2014, 133(1):24-33.
- [12] LIU Xiuwei, SHAO Liwei, SUN Hongyong, et al. Responses of yield and water use efficiency to irrigation amount decided by pan evaporation for winter wheat[J]. Agricultural Water Management, 2013, 129(8): 173-180.
- [13] KARIMOV A K, ŠIMŮNEK J, HANJRAMA A, et al. Effects of the shallow water table on water use of winter wheat and ecosystem health: Implications for unlocking the potential of groundwater in the Fergana Valley (Central Asia)[J]. Agricultural Water Management, 2014, 131(1):57-69.

- [14] 王书吉,康绍忠,李涛. 基于节水高产优质目标的冬小麦适宜水分亏缺模式[J]. 农业工程学报,2015,31(12):111-116.
- [15] 霍治国,李世奎,王素艳,等. 主要农业气象灾害风险评估技术及其应用研究[J]. 自然资源学报,2003,18(6):692-703.
- [16] 刘荣花. 河南省冬小麦干旱风险分析与评估技术研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2008.
- [17] 张浩,马晓群,王晓东. 安徽省冬小麦水分盈亏特征及其对产量的影响[J]. 气象, 2015, 41(7):899-906.
- [18] 许莹,马晓群,王晓东,等. 淮河流域冬小麦水分亏缺时空变化特征分析[J]. 地理科学, 2013,33(9):1 138-1 143.
- [19] 沈荣开. 作物水分生产函数与农田非充分灌溉研究评述[J]. 水科学进展,1995,6 (3):248-254.
- [20] 曹秀清. 江淮丘陵区冬小麦水分生产函数模型初步分析[J]. 水利水电技术, 2011,42 (8):72-74.
- [21] 彭世彰,边立民,朱成立. 作物水分生产函数的研究与发展[J]. 水利水电科技进展, 2000,20(1):17-20.

Reduction in Yield of Winter Wheat Caused by Droughts and Its Water-yield Relationship

CAO Cheng, TANG Guangmin

(Anhui Province Key Laboratory of Water Resources and Hydraulic Engineering,
Anhui and Huaihe River Water Resources Research Institute, Bengbu 233000, China)

Abstract: Using the Guan 35 winter wheat as a model plant, we investigated the impact of drought on yield reduction in the wheat grown in a lysimeter, as well as its water-yield relationship. The results showed that the yield of the wheat reduced when soil moisture decreased in both its critical and noncritical growth stages. A slight drought reduced the yield by 4.4%, while a moderate and severe drought could lead to a yield reduction by 8.1% and 8.6% respectively when the drought occurred at noncritical growth stage. In contrast, a slight, moderate or severe drought occurring at critical growth stage could give rise to a yield reduction by 6.2%, 6.9% and 11.2% respectively. It was also found that the wheat was more sensitive to water deficit occurring at the jointing and the heading-filling stages, with their associated sensitivity index being 0.175 2 and 0.084 9 respectively, than occurring at the milking and the tillering stages, with their associated index being 0.003 2 and 0.066 2 respectively. The wheat at heading-filling stage, also the highest water-demanding stage, was most sensitive to drought.

Key words: drought; yield rule; relation model; winter wheat

责任编辑:刘春成