

渭北旱塬影响小麦产量的关键降水因子分析

党廷辉^{1,2}, 高长青³

(1 中国科学院 水土保持研究所; 2 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100;
水 利 部
3 长武县农技推广中心, 陕西 长武 713600)

摘 要: 水分是旱塬区作物产量的主要限制因子。不同小麦生长时段的雨量大小和分布对小麦产量的作用存在很大差异。通过双重筛选逐步回归方法, 对不同施肥处理小麦产量与生育时段降水分析表明, 小麦播前休闲期 7、8、9 三个月降水在决定来年冬小麦产量方面起关键作用, 同时越冬期 11 月、1 月、2 月降水对小麦产量也有十分重要的影响。从统计学上认为上述关键期降水决定来年小麦产量, 并不否认其它时段降水对小麦的重要性, 只能认为其它阶段降水一般可以保证需要。
关键词: 小麦; 关键期降水; 渭北旱塬
中图分类号: S 512. 11; S 273. 4 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2003) 01-0009-03

Study on Key Water Factors of Affecting Wheat Yield in Weibei Dry Highland

DANG Ting-hui^{1,2}, GAO Chang-qing³

(1 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academg of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2 Northwern Sci-tech University of Agriculture and Forestry, YangLing 712100, Shaanxi, China;
3 Changwu Agriculture Technology Extension Center, Changwu 713600, Shaanxi, China)

Abstract: Water is a main limited factor to crop yield in dry highland of Loess Plateau. The effects of rainfall amount and distribution in stages of winter wheat growing to crop yield show great differences. After analyzing the relationship between wheat yield of various treatments and rainfall of wheat growth stages with the means of the Double Screening Stepwise Regression, it was found that the rainfall in fallow time (July, August and September) of pre-planting wheat plays a key role on wheat yield in coming year, and the rainfall in winter (November, January and February) has important impact in wheat yield as well. Above the key stages, rainfall is considered very important to wheat yield in coming year, without denying the importance of the other stages' rainfall to wheat. Only was it known that the rainfall in other stages may meet crop's necessities.
Key words: winter wheat; key stages' rainfall; Weibei dry highland

在干旱与半干旱的雨养农业区, 小麦产量的高低很大程度上决定于土壤墒情和生育期降水的多少及阶段分布。李玉山认为^[1], 旱塬冬小麦“底墒量+ 生育期降水量”与产量相关性达 10% 的显著水平, 底墒与产量相关程度达 20% 的显著水平。表明底墒及生育期降水直接影响小麦产量。而对于生育期不同时段降水对产量的贡献大小, 很少有研究报道。本文通过筛选比较分析, 建立小麦产量与降水因子的优化模式, 对于科学的划分旱塬降水年型, 预报产量, 进一步对肥料的科学管理有重要意义。

1 研究条件与方法

渭北旱塬位于黄土高原沟壑区, 属于半湿润易旱气候区。年平均降水 400~600 mm。干旱时常威胁本区农业的持续稳定发展。我们于 1984 年在有代表性的长武旱塬设置了一个规模较大的长期定位试验。其中包括一个小麦连作六处理的施肥试验, 处理为 NPM、M、NP、N、P、CK。其中 N 指每公顷施用纯氮(N) 120 kg, P 指每公顷施用纯磷(P₂O₅) 60 kg, M 指每公顷施用有机肥 75 t, CK 指不施肥。重复 3 次。小区面积 66 m²。在十多年运转过程中发现, 即使为同一施肥处理, 由于年度间降水等气候因素的影响, 小麦产量波动

* 收稿日期: 2002-11-25
基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2- 413- 5); 国家科技攻关项目(2001BA508B18) 资助。
作者简介: 党廷辉(1964-), 男, 在职博士, 副研究员, 主要从事土壤作物营养与施肥研究。

性很大,不同处理最高产量是最低产量的 3.3~11.2 倍,尤以 N 处理为甚。长武旱塬降水季节与年度间变化极大,针对靠天生产的旱塬地区,深入了解决定作物产量的关键降水因子,对于水肥的科学管理,提高或稳定产量有积极作用。

小麦产量和降水资料分别来源于布设于陕西长武的长期定位施肥试验上述 6 处理和长武县气象站,由于数据较多,文中未列出。为了寻找决定小麦产量的关键水分因子,以各种水分因子为自变量(X),以不同施肥处理的小麦产量为因变量(Y),采用双重筛选逐步回归方法^[2],建立小麦产量与水分因子的优化模型。进而评价不同时段水分因子对产量的贡献大小。

表 1 小麦生育阶段降水与产量的双重筛选分析结果(包括休闲期降水)

方程组	回归方程	相关系数 R	显著水平 P	剩余标准差 S
第 1 组	$Y_3=8.6095X_1-85.4084$	0.8926	0.0000	496.1574
第 2 组	$Y_1=9.6221X_1+539.5061$	0.7916	0.0013	847.7359
第 3 组	$Y_4=4.0180X_1+401.5678$	0.6368	0.0193	555.1794
第 4 组	$Y_5=10.1578X_1+1053.8579$	0.6537	0.0154	1342.1567
第 5 组	$Y_2=2.6890X_1+700.3697$	0.4503	0.1226	608.4630
第 6 组	$Y_6=9.8523X_1-86.1012X_4+2446.3173$	0.7120	0.0291	814.9685

从回归方程的显著性来看,除纯施磷处理(P)只达 12.26%的显著水平外,其它施肥处理均达到 5%或 1%的显著或极显著水平。表明回归方程基本能够反映实际中的降水-产量关系。

由上述结果可看出,在小麦生育年中,除了有机肥处理(M)小麦产量还受越冬期降水显著影响外,所有施肥处理小麦产量主要取决于播前休闲期降水的多少。

表 2 小麦生育阶段降水与产量的双重筛选分析结果(不包括休闲期降水)

方程组	回归方程	相关系数 R	显著水平 P	剩余标准差 S
第 1 组	$Y_1=56.3248X_2-7.0121X_5+2166.9476$	0.4808	0.2686	1274.4937
	$Y_2=20.4924X_2+6.3565X_5+264.9409$	0.4528	0.3175	636.2328
	$Y_6=-8.6703X_2-3.6427X_5+3168.8599$	0.1453	0.8987	1144.4592
第 2 组	$Y_3=58.3445X_2+258.3031$	0.5412	0.0561	924.0680
第 3 组	$Y_4=14.9374X_4+920.5288$	0.3783	0.2024	664.8143
第 4 组	$Y_5=38.8017X_4+2325.3042$	0.3972	0.1789	1630.5214

尽管所有回归结果均未达到 5%的显著水平,但从双重逐步分析结果仍能看出不同施肥条件下小麦产量受生育期各时段降水的影响主次。即 NP、P 和 M 处理产量与越冬期、孕穗期降水关系密切,而且越冬期远大于孕穗期降水的影响;N 处理产量与越冬期关系相对较大;CK 和 NPM 则与拔节期关系更大。由方程较低的显著水平同时说明,小麦产量与生育期各个阶段降水没有明显的相关关系。

2.2 小麦生育年各月降水与产量的双重筛选分析

(1) 包括休闲期 7、8、9 三月降水的分析结果。以小麦生

2 结果与分析

2.1 小麦生育阶段降水与产量的双重筛选分析

(1) 包括休闲期降水的分析结果。首先对小麦生育年有关的各阶段降水进行综合评价。选取自变量分别为 X_1 (休闲期)、 X_2 (生育期)、 X_3 (分蘖期)、 X_4 (越冬期)、 X_5 (返青期)、 X_6 (拔节期)和 X_7 (孕穗期)。小麦产量为因变量,分别为 Y_1 (NP)、 Y_2 (P)、 Y_3 (N)、 Y_4 (CK)、 Y_5 (NPM)和 Y_6 (M)。

在临界值 $F_x=2.60(p=0.05)$, $F_y=2.37(p=0.05)$ 条件下,经过微机双重筛选分析,可建立如下回归方程(表 1):

(2) 不包括休闲期降水的分析结果。为了更进一步了解小麦生育期不同时段降水与产量的关系,排除休闲期后,再作双重筛选分析。自变量分别为 X_1 (分蘖期)、 X_2 (越冬期)、 X_3 (返青期)、 X_4 (拔节期)和 X_5 (孕穗期)。因变量仍分别为 Y_1 (NP)、 Y_2 (P)、 Y_3 (N)、 Y_4 (CK)、 Y_5 (NPM)和 Y_6 (M)。

在临界值 $F_x=2.60(p=0.05)$, $F_y=2.60(p=0.05)$ 的条件下,双重筛选结果为(表 2):

表 2 小麦生育阶段降水与产量的双重筛选分析结果(不包括休闲期降水)

育年各月降水为自变量,分别定义为 X_1 (7 月)、 X_2 (8 月)、 X_3 (9 月)、 X_4 (10 月)、 X_5 (11 月)、 X_6 (12 月)、 X_7 (1 月)、 X_8 (2 月)、 X_9 (3 月)、 X_{10} (4 月)、 X_{11} (5 月)和 X_{12} (6 月)。小麦产量为因变量(Y),分别为 Y_1 (NP)、 Y_2 (P)、 Y_3 (N)、 Y_4 (CK)、 Y_5 (NPM)和 Y_6 (M)。

在临界值 $F_x=2.60(p=0.05)$, $F_y=2.09(p=0.05)$ 的条件下,经过微机双重筛选分析,可建立如下回归方程(表 3):

表 3 小麦生育年各月降水与产量的双重筛选分析

方程组	回 归 方 程	相关系 数 R	显著水 平 P	剩余标 准差 S
第 1 组	$Y_1= 10. 1463X_1+ 16. 9923X_3- 21. 1402X_4- 111. 1727X_6- 20. 2541X_{11}+ 3651. 2784$	0. 92910	0. 0062	642. 9778
第 2 组	$Y_3= 5. 6335X_1+ 8. 5132X_2+ 10. 8443X_3- 42. 1768X_6+ 8. 5186$	0. 92775	0. 0017	481. 9168
	$Y_4= 8. 6820X_3- 27. 5562X_5+ 6. 5664X_6+ 65. 1744X_8- 4. 8966X_{10}+ 779. 2415$	0. 87778	0. 0335	431. 3287
第 3 组	$Y_5= 17. 4545X_3- 25. 0302X_5- 97. 6289X_6+ 147. 7042X_8- 10. 9478X_{10}+ 2389. 3178$	0. 88235	0. 0299	1043. 7150
	$Y_6= 11. 9407X_3- 6. 8199X_5- 60. 5423X_6+ 85. 7583X_8- 23. 5553X_{10}+ 2024. 0429$	0. 81265	0. 1121	806. 1442
第 4 组	$Y_2= 4. 4590X_2+ 973. 1607$	0. 41420	0. 1594	618. 3117

上述模拟方程除 $Y_2(P)$ 、 $Y_6(M)$ 只达到 15. 94% 和 11. 21% 外, 其它都达到 5% 或 1% 的显著水平。

结果表明, $Y_4(CK)$ 、 $Y_5(NPM)$ 和 $Y_6(M)$ 对应的小麦产量与 9 月、11 月、12 月、2 月和 4 月降水量相关性较高; $Y_1(NP)$ 产量主要由 7 月、9 月、10 月、12 月和 5 月各月降水的制约; $Y_3(N)$ 产量则由 7 月、8 月、9 月和 12 月降水决定; $Y_2(P)$ 主要取决于 8 月降水。

表 4 小麦生育年各月降水与产量的双重筛选分析

方程组	回 归 方 程	相关系 数 R	显著水 平 P	剩余标 准差 S
第 1 组	$Y_1= 101. 5152X_5+ 2172. 7626$	0. 6406	0. 0183	1067. 7226
第 2 组	$Y_4= - 26. 9690X_2+ 22. 0724X_3+ 54. 2161X_5+ 1292. 6910$	0. 6586	0. 1462	597. 7871
	$Y_5= - 23. 6870X_2- 66. 1133X_3+ 124. 6432X_5+ 3399. 8353$	0. 7434	0. 0551	1313. 7293
第 3 组	$Y_2= - 25. 4307X_2+ 35. 3407X_5+ 1523. 8858$	0. 5908	0. 1169	575. 1150
第 4 组	$Y_3= 117. 3422X_4+ 1352. 1727$	0. 5836	0. 0363	898. 8208
第 5 组	$Y_6= 60. 93517X_5+ 1891. 27898$	0. 4846	0. 0933	965. 2715

所有方程均达到了 15% 的显著水平, 其中二个方程 (Y_1 、 Y_3) 达到显著水平。由结果知, $Y_1(NP)$ 与 $Y_6(M)$ 均主要决定于 2 月降水; $Y_4(CK)$ 和 $Y_5(NPM)$ 均受 11 月、12 月和 2 月降水的影响; Y_2 主要由 11 月和 2 月降水制约; Y_3 则主要由 1 月降水决定。

2.3 关键水分因子的确定与回归预报

表 5 关键期降水与产量的双重筛选分析

方程组	回归方程	相关系 数 R	显著水 平 P	剩余标 准差 S
第 1 组	$Y_1= 9. 0729X_1+ 6. 7878X_2- 45. 2904X_3+ 58. 5943X_4+ 216. 3214$	0. 8674	0. 0151	810. 8544
	$Y_2= 3. 8885X_1- 32. 0451X_2- 101. 29420X_3+ 49. 30393X_4+ 1008. 41076$	0. 8336	0. 0327	440. 3399
	$Y_3= 8. 6608X_1- 15. 8003X_2- 20. 9103X_3+ 11. 5054X_4- 119. 6173$	0. 9108	0. 0036	531. 8284
	$Y_4= 4. 8407X_1- 28. 6571X_2- 84. 0002X_3+ 44. 8662X_4+ 696. 5134$	0. 8614	0. 0176	427. 4672
	$Y_5= 11. 0134X_1- 34. 0729X_2- 215. 9998X_3+ 162. 0073X_4+ 957. 3648$	0. 9039	0. 0048	887. 6878
第 2 组	$Y_6= 5. 1102X_1- 13. 6801X_2- 109. 6936X_3+ 74. 3563X_4+ 1211. 3693$	0. 6569	0. 2847	975. 9636

从表 5、图 1 看出, 除 M 处理产量 (Y_6) 外, 其它处理产量与关键水分因子回归方程的相关关系均达到显著或极显著水平, 相关性明显提高。实际产量与预报产量的吻合性较好。

3 讨 论

冬小麦是一种深根系作物, 越冬期间, 良好土壤水分和大气环境, 对于促成发达根系, 保证来年小麦丰产十分重要。渭北旱塬区年降水有限, 而 7、8、9 三个月降水常常占到全年降水的 50% 以上, 且这期间正值小麦休闲期, 因此, 这期间做好蓄水保墒工作, 对于实现来年小麦高产具有重要意义。同时本区冬季雨水通常较少, 风大气温低, 没有适当降水, 常

(2) 不包括休闲期 7、8、9 三月降水的分析结果

用小麦生育期各月降水作自变量, 代号为 X_1 (10 月)、 X_2 (11 月)、 X_3 (12 月)、 X_4 (1 月)、 X_5 (2 月)、 X_6 (3 月)、 X_7 (4 月)、 X_8 (5 月) 和 X_9 (6 月)。小麦产量为因变量, 分别为 $Y_1(NP)$ 、 $Y_2(P)$ 、 $Y_3(N)$ 、 $Y_4(CK)$ 、 $Y_5(NPM)$ 和 $Y_6(M)$ 。

在临界值 $F_x= 2. 10(p= 0. 05)$, $F_y= 2. 60(p= 0. 05)$ 的条件下, 变量双重筛选结果见表 4。

由前面分析可以得出, 休闲期 7、8、9 三个月降水 (X_1) 在决定来年冬小麦产量方面起关键作用, 同时越冬期 11 月 (X_2)、1 月 (X_3)、2 月 (X_4) 降水对小麦产量也有决定性影响。用上述关键期降水与小麦产量进行回归, 在临界值 $F_x= 0. 00$, $F_y= 0. 00$ 的条件下, 结果如下(表 5):

会导致麦苗冻死或枯死, 来年缺苗断垄, 所以, 这一阶段适当降水, 对于促进小麦分蘖和春季正常返青, 长出良好群体和健壮苗株同样有关键作用。当然, 小麦生长不同阶段对水分有不同的要求, 任一时段水分过多过少都对小麦生长不利。在试验的十多年里, 从统计学上认为上述关键期降水决定来年小麦产量, 并不否认其它时段降水对小麦的重要性, 只能认为其它阶段降水一般可以保证需要。

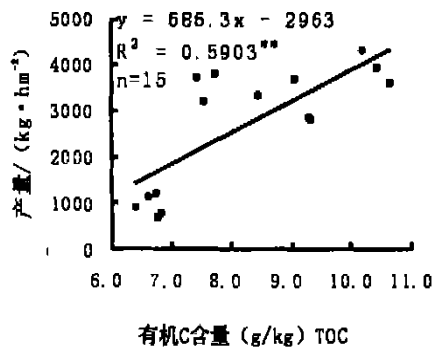


图 3 轮作中冬小麦地有机 C 含量与产量关系

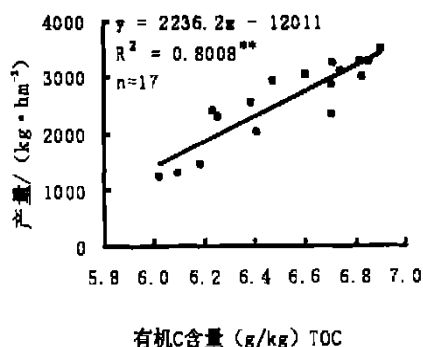
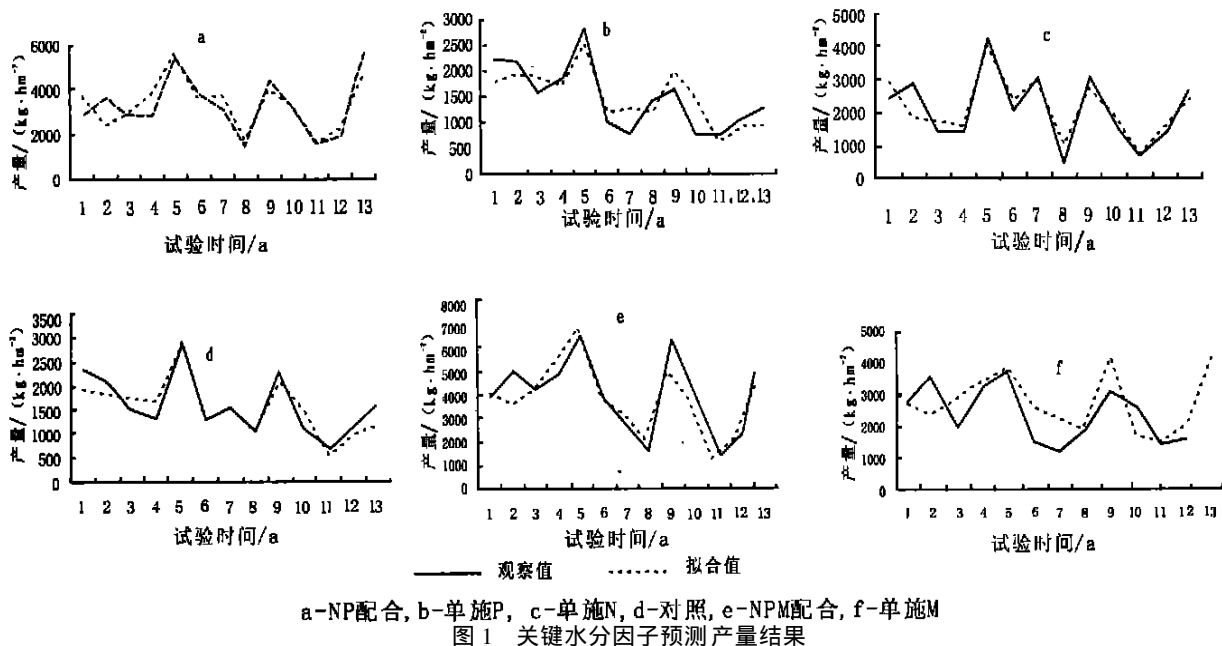


图 4 施化肥有机 C 含量与产量关系

(2) 单独施化肥对土壤有机 C、全 N 影响并不明显, 但随施肥量的增加土壤有机 C、全 N 有一定增加, 其与产量的显著相关关系表明, 施化肥对土壤养分有影响, 这是长期施化肥参考文献:

- [1] 沈善敏. 国外长期肥料试验一、二、三[J]. 土壤通报, 1984, 2-4: 85-91, 134-138, 184-185.
- [2] 李科江, 张素芳, 史文竹, 等. 半干旱地区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(1): 21-25.
- [3] 钦绳武, 顾益初, 朱兆良. 潮土肥力演变与施肥作用的长期试验初报[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 367-375.
- [4] 蒂斯代尔, S L, 纳尔逊, W L, 毕藤, J D. 土壤肥力与肥料(第四版)[M]. 金继运等译. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [5] 李科江, 张素芳, 贾文竹, 等. 半干旱地区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(1): 21-25.
- [6] 王生录, 陈炳东. 陇东旱塬施肥培肥效果研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 171-173.
- [7] 樊军, 郝明德, 党廷辉. 旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 23-26.
- [8] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 等. 有机-无机肥配施的增产下效应及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 138-147.
- [9] 兰晓泉, 郭贤仕. 旱地长期施肥对土地生产力和肥力的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(3): 102-105.

(上接第 11 页)



由于作物产量受多种因素综合影响。只考虑肥料和降水两种关键因素, 诚然对评价或预测本区小麦生产状况有重要意义, 但仍然有一定的局限性。许多环境因素如温度、湿度、干燥度等在年际间都有一定差异。长期实施一些耕作施肥措施, 直接影响土壤的理化性质, 也会改变土壤的蓄水供肥特性。但毋庸置疑的是, 水分和肥料永远是旱作产量两大主要限制因素。

- [1] 李玉山, 苏陕民. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991. 115-125.
- [2] 袁志发. 多元统计分析[M]. 杨陵: 天则出版社, 1988.