

旱作高产田产量波动性和土壤干燥化*

李 玉 山

(中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘 要 根据旱地作物长期田间试验数据, 论述了旱作农业生产中作物产量波动性是一个规律性现象, 并用波动系数加以表述。研究结果表明旱作高产田与低产田相比, 存在相似的产量波动性, 区别是它在较高产量水平上波动。高产田作物耗水量较高, 从而导致土壤相对干燥化。土壤干燥化是高产田产量产生波动性的直接原因; 而低产田则因作物吸水能力低, 土壤储水不能充分利用所致。

关键词 旱地作物, 产量波动性, 干燥过程, 高产田

中图分类号 S157.4

旱作农业中粮食作物产量因受年际间降水量影响出现的波动性, 似乎是人们熟知的一个问题^[1, 2]。但深究起来, 许多现象表明, 对这一问题还有进一步认识的必要。例如, 旱作农业常把高产稳产作为产量目标, 遇到早年减产, 有时是大幅度减产, 往往主要从管理和栽培技术方面, 较少从水分约束条件方面分析其规律, 不适当地加上“靠天吃饭”这一贬义性评价。或者认为, 低产田产量波动性大, 通过增施肥料培育的高产田, 可以减少波动性, 因而冠以“高产稳产田”的名称。如此种种, 都反映了我们对旱作产量的波动性缺乏应有的认识。许多探索有成的抗旱农业生物技术和栽培方法, 固然具有减少早年产量波动性的效果, 但旱作产量具有较大波动性这一基本规律是难能改变的^[3]。

1 长期试验中旱作粮食产量的波动性记录

1984 年, 结合国家科技攻关项目, 在陕西渭北高原我国典型旱作农业区, 建立了包括七种作物、五种施肥方式、含 108 个小区的大型长期田间试验, 研究农田生态系统中作物产量的变化及其和水分养分条件变化之间的关系。已经获得的 14 年数据包含了丰雨年、中雨年和少雨年的不同降水年型。相似管理和优化栽培条件下连续获得的产量动态, 可以基本视为自然条件, 主要是降水条件, 即旱作条件影响下的结果。图 1 绘出的产量波动线和降水量波动线, 具有很好的同步性即说明了这一问题。

长期试验在优化农业技术, 优良品种和充分施肥条件下, 依然出现了幅度很大的产量波动性。表 1 统计表明, 在 13 年平均单产小麦为 $3\ 964\text{kg hm}^{-2}$, 玉米为 $6\ 784\text{kg hm}^{-2}$ 背景下, 离散系数小麦高达 42.6%, 玉米为 26.2%。波动范围小麦达到 5, 213kg, 玉米

* 国家自然科学基金(49890330)和国家科技攻关项目(96-004-05)的阶段性研究成果

收稿日期: 1999-11-30; 收到修改稿日期: 2000-05-10

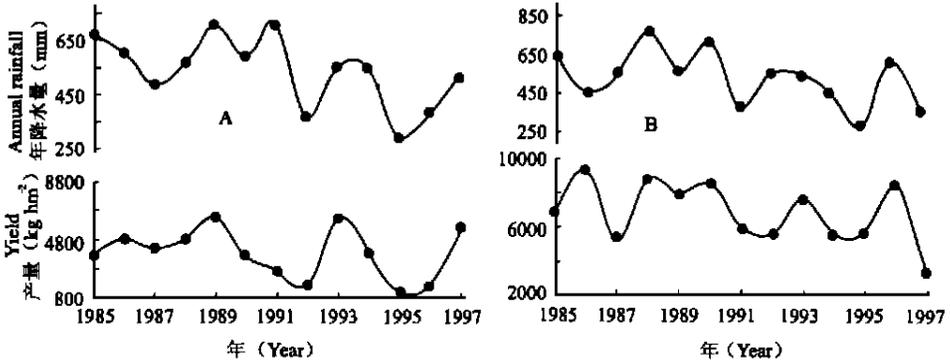


图 1 小麦(A)和玉米(B)产量波动性

Fig. 1 Yield fluctuation for wheat (A) and corn (B)

表 1 旱作小麦玉米年际产量波动情况(1985~1997)

Table 1 Yield fluctuation for wheat and corn on dryland

项目 Item	平均产量 Average yield(kg hm ⁻²)	离均差 S	离均系数 CV(%)	最高产量 Highest yield(kg hm ⁻²)	最低产量 Lowest yield(kg hm ⁻²)	波动范围 Fluctuation range(kg hm ⁻²)	波动系数 Fluctuation coefficient
小麦	3964	1694	42.6	6464	1251	5213	1.32
玉米	6784	1793	26.4	9293	3216	6077	0.90

达到 6,077kg。波动系数(波动范围与平均产量之比)小麦为 1.32,玉米为 0.90。其波动范围接近甚至大于多年平均产量,表明有很大的波动性。应当指出,试验地区 90 年代出现了周期性旱期。1991~1997 年均降水量为 448.2mm,较 50~80 年代平均降水量 584mm 少 136mm,即少 23%。其中有二年低于 350mm。1995 年发生了有雨量记录以来的最低年降水量,只有 275.1mm,较多的平均减少 53%。这无疑使波动性较通常时段更加剧烈。旱作农业产量的波动性,即使在美、澳等农业先进国家,照样存在。稳产是一个相对概念,“靠天吃饭”有其客观规律性。我们在丰雨年获得的高产记录,要充分考虑技术和自然条件的各自作用。在规划粮食生产目标时,应以较长时段(例如五年)平均产量作为根据。据长武县王东试验区 1961~1995 年产量分析,以五年为一单元时段,平均产量相当于丰产年产量的 71%~78%。

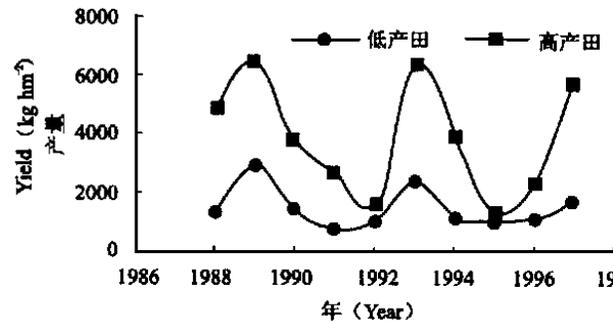


图 2 小麦高产田、低产田年际产量波动比较

Fig. 2 Comparison of yield fluctuation between wheat high and low-yield fields

一个相对概念,“靠天吃饭”有其客观规律性。我们在丰雨年获得的高产记录,要充分考虑技术和自然条件的各自作用。在规划粮食生产目标时,应以较长时段(例如五年)平均产量作为根据。据长武县王东试验区 1961~1995 年产量分析,以五年为一单元时段,平均产量相当于丰产年产量的 71%~78%。

2 高产田产量波动性的特征

一般认为,高产田具有较大的逆境调节能力,因而和低产田相比较,具有较大的稳产性。长期试验中代表高产田和低产田的高肥处理区和低肥处理区,历经 10 年的小麦产量

记录表明,上述推测是不符合实际的。图 2 中两条波动线,视觉上似乎是高产田的波动幅度更大一些。统计分析表明,二者的波动性相似。尽管二者波动范围相差很大,小麦高产田为 $5\ 109\text{kg}$,低产田为 $2\ 202\text{kg}$,但因平均产量相差悬殊,前者为 $3\ 870\text{kg hm}^{-2}$,后者为 $1\ 404\text{kg hm}^{-2}$,所以表征波动性的两个指标,即 CV 值和波动系数均接近(表 2)。由此可以认为,旱作高产田和低产田一样,存在年际间相似的产量波动性,但因高产田水分利用效率较高,所以其最高产量和最低产量均高于同一年份低产田。也使不同水文年份间,高产田产量能在较高的产量水平上摆动。

表 2 小麦高产田、低产田产量波动性比较(1988~1997)¹⁾

Table 2 Comparison of yield fluctuation between high and low-yield in wheat fields

项目 Item	平均产量 Average yield (kg hm^{-2})	离均系数 CV (%)	最高产量 Highest yield (kg hm^{-2})	最低产量 Lowest yield (kg hm^{-2})	波动范围 Fluctuation range(kg hm^{-2})	波动系数 Fluctuation coefficient	水分利用率 WUE ($\text{kg mm}^{-1}\text{hm}^{-2}$)
高产田	3854	49.9	6450	1260	5190	1.35	12.2
低产田	1404	47.2	2913	711.0	2202	1.57	4.2

1) 试验土壤田间持水量为 21%~22%,萎蔫湿度为 7%~8%(重量%)

3 高产田土壤干燥化趋势与产量波动性

本研究的长期试验自 1984 年秋播开始。高产处理区和低产处理区由于单产和耗水量的差异,土壤湿润情况在原来同一基础上,至今已发生显著分异。这种分异不仅发生在 3m 深度根系层内,而且发生在根系层以下的 3~5m 深度土层。表 3 表明,至 1997 年,高产区土壤湿度在各个深度土层内都显著低于低产区,土壤干燥化趋势明显^[4]。从 1985 年至 1997 年,高产区 13 年平均产量为 3964kg hm^{-2} ,低产区为 1492.5kg hm^{-2} ,高出 165%。较高产量导致较高的耗水量。年均耗水量高产区为 362.2mm,较低产区高 20.8mm。连续 13 年,土壤储水多支出 270mm 水分。这是导致土壤干燥化的直接原因。高低产区年均耗水量上的差异与单产的相比,耗水量相差明显偏小,原因是高产区和低产区的耗水规律,在常态年份中和干旱年份中完全相反。常态年份中,有相对充分的水分供应,高产区耗水量显著高于低产区,年均达到 475mm,高出低产区 80mm。但在干旱年份中,由于土层相对干燥,供水调节能力低,年耗水量反而低于低产区 53mm,如 1992 年和 1995 年,高产区耗水量分别降至 195.8mm 和 181.9mm 的超低水平。高产田土壤干燥化是引起产量波动的直接原因,而低产田产量的波动性则来自作物吸水能力低,如表 3 所表明,大量土壤储水未被利用,二者机制不同。

尽管由于高肥农田存在水肥耦合效应,作物有较高水分利用效率,在湿润和干旱各类水文年份中,其产量均高于低产田。但只有在中雨年和丰雨年,高产田大幅度增产效应才能充分表现出来。

图 3 显示了高产区和低产区 3m 土层储水量的演变进程。高产区土壤干燥化主要发生在头三年。此后深层的根土水势达到相对平衡,1~3m 土层土壤湿度处在 11%~12% 之间。降雨入渗深度也因高产区形成了较大土壤水分亏缺而显著变浅。历年入渗深度为

70~ 160cm; 低产区土壤水分亏缺较小, 渗深可达到 100~ 280cm。入渗深度变浅, 无疑将会削弱土壤水库的供水调节能力, 增加高产区的产量不稳定性。

表3 高产和低产麦田土壤湿度差异

Table 3 Difference in soil moisture between high and low- yield wheat plots

土层深度米 Depth (m)	高产区 H- yield plot	低产区 L- yield plot
0~ 1	11. 8	15. 7
1~ 2	12. 5	16. 7
2~ 3	14. 0	16. 8
3~ 4	16. 2	19. 1
4~ 5	19. 2	20. 4

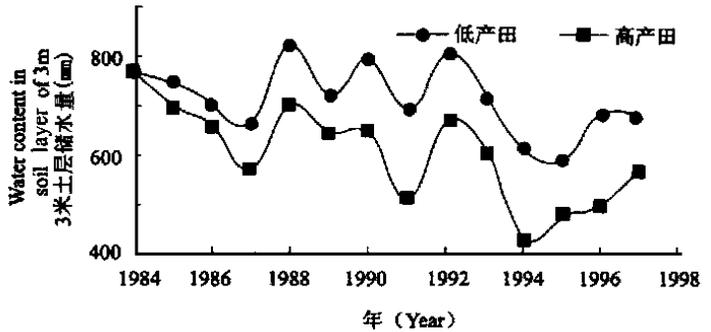


图3 高产和低产麦田土壤储水量演变(播期)

Fig. 3 Evolution of water storage in soil for wheat fields

参 考 文 献

1. Johnston, A E. The rothamsted classical experim ents, long- term experim ents in agricultural and ecological sciences, in: Leigh R A, Joghston A E. eds CAB INTERNATIONAL, 1994, 31~ 32
2. Grace P, Oades, J M. Long- term field trials in australia, long- term experim ents in agricultural and ecological sciences. in: Leigh R A, Joghston A E. eds. CAB INTERNATIONAL, 1994, 67~ 69
3. 李玉山. 旱作农业作物生产力若干规律性及提高途径, 土壤通报, 1990(5): 194~ 201
4. 李玉山. 黄土高原治理开发与黄河断流的关系. 水土保持通报, (6) 1997: 41~ 45

FLUCTUATION OF YIELD ON HIGH- YIELD FIELD AND DESICCATION OF THE SOIL ON DRYLAND

Li Yu- shan

(Institute of Soil and Water Conservation Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100)

Summary

Based on the data of a long term field experiment of dryland crops, this article points out that yield fluctuation, expressed in fluctuating coefficient, is a regular phenomenon in dryland farming. High- yield field has a similar fluctuation as compared with low- yield field but their mechanisms are different. Desiccation happened in the entire soil profile is a direct cause of the yield fluctuation for high- yield field, but low water absorbing capacity of the crop for low- yielding field.

Key words Desiccation, Dryland crops, High- yield field, Yield fluctuation