

黄土高原地区秋粮作物生产潜力模拟研究^{*}

李 军^{1, 2}, 王立祥¹, 邵明安², 樊廷录³

(1 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨陵 712100; 2 中国科学院水利部 水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100; 3 甘肃省农业科学院旱农所, 兰州 730070)

[摘 要] 应用DSSAT3中的CERES-谷子模型、CROPGRO-大豆模型和SUBSTOR-马铃薯模型分别模拟研究了黄土高原28个地点谷子、大豆和马铃薯的光温生产潜力(TPP)和气候生产潜力(CPP), 获得了各点6~15年各作物的产量潜力值, 并统计计算了研究时段内各作物生产潜力的平均值、标准差、最高值、最低值和水分满足率(WCR)。

[关键词] 黄土高原; DSSAT3; 秋粮作物; 作物生产潜力; 作物产量模拟

[中图分类号] S126.1; S162.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2001)05-056-05

黄土高原地区是我国北方主要旱作农业区域, 谷子、大豆及马铃薯的播种面积分别为55, 68和74万 hm^2 , 分别占粮食作物面积的5.2%, 6.4%和7%, 单位面积产量分别为2 052, 1 177和2 348 kg/hm^2 , 3种作物总产占粮食总产的12.4%左右。研究3种秋粮作物生产潜力, 有利于持续提高作物产量, 为黄土高原地区种植业结构调整提供理论依据。

1 模拟研究方法

我国北方主要类型旱区农田作物生产潜力研究经历了“七五”、“八五”科技攻关研究, 形成了“公式概算—田区定位试验—高产纪录值调查”的研究方法^[1], 虽然取得了一定成效, 但3种研究方法结果差异较大, 难以统一, 而且田区试验费时费力。在“九五”科技攻关研究期间, 为了探索新的作物生产潜力研究方法, 引进了美国研制的作物生长模型DSSAT3(Decision Support System for Agricultural Technology Transfer, version 3), 利用作物生长与产量模拟方法研究作物生产潜力, 取得了较为满意的效果。作物生长模型是指能动态地和定量地描述作物生长、发育与产量形成过程及其对环境反应的计算机程序。利用作物生长模型研究作物生产潜力, 方便快捷, 准确高效, 可以获得不同气候年型下的作物产量潜力变化范围, 研究结果较为客观。

本研究分别利用DSSAT3中的CERES-谷子模型、CROPGRO-大豆模型和SUBSTOR-马铃薯模型模拟研究黄土高原春谷子、春大豆和马铃薯的光温生产潜力和气候生产潜力, 特此建立了黄土高原地区DSSAT3模型气象、土壤和作物参数数据库。气象资料数据库包含了覆盖黄土高原不同生态类型区的28个气象台站的逐日气象资料, 资料来源于有关气象台站和世界气象组织计算机网站, 资料年限为1978~1992年期间6~15年不等。逐日气象资料数据包括逐日太阳辐射值、最高气温、最低气温和降水量。除逐日太阳辐射值因为难以获得而采用多年平均月值内插计算外, 其余3个气象要素均为逐日观测资料^[2]。土壤数据库包含了28个气象台站所在地面积最大的主要农田耕作土种28个^[3, 4], 将农田坡度、质地组成等16个土种特征资料输入计算机, 组成了黄土高原土壤特性数据库, 在作物生产潜力研究中用于计算土壤温度和土壤水分状况。作物参数数据库包括了3种作物模型在黄土高原地区的品种遗传特性参数, 用来描述作物的生长发育进程、植株形态与产量形成特征, 包括谷子7个品种遗传特性参数、大豆15个品种遗传特性参数和马铃薯6个品种遗传特性参数。在广泛调查黄土高原各生态类型区80年代末期至90年代初期生产上3种作物主栽品种性状介绍与试验资料基础上, 采用试错法模拟确定各作物品种遗传特性参数, 确立了21个谷

^{*} [收稿日期] 2000-10-23

[基金项目] 国家“九五”科技攻关项目(96-004-04-09); 中国科学院知识创新项目(KZCX2-411); 西北农林科技大学青年教师科研基金项目

[作者简介] 李 军(1964-), 男, 甘肃泾川人, 副教授, 博士。现在中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室博士后流动站工作。主要从事农业资源开发与高效耕作制度研究。

子品种、9 个大豆品种和 9 个马铃薯品种的遗传特性参数, 包括极早熟品种、早熟品种、中熟品种和晚熟品种类型。生产潜力模拟研究中各作物的播期与种植密度均按当地大田作物丰产栽培措施要求执行^[5~9]。

3 种作物模型已在世界范围内进行了广泛的验证和应用^[11], 本研究采用模拟值与观测值的对比分析, 对 3 种模型的模拟效果进行了验证, 认为这 3 种模型具有较好的模拟效果, 可用于黄土高原作物生产潜力研究。其中, CERES-谷子模型是针对珍珠谷(pearl millet)研制的, 而黄土高原栽培谷种为

foxtail millet, 二者在生长习性和产量构成上有一定差异, 用 CERES-谷子模型模拟 foxtail millet 产量潜力时, 效果不够理想, 但仍比通常的公式估算法精确细致, 所以本研究仍用该模型研究黄土高原的谷子生产潜力。

2 春谷子生产潜力

谷子在黄土高原分布广泛, 北部以春谷子为主, 南部有复种的夏谷。表 1 为黄土高原 23 个代表点春播谷子生产潜力模拟结果。

表 1 黄土高原地区春谷子生产潜力多年模拟结果

Table 1 Simulation results of spring millet productive potential on the Loess Plateau									
地区 Districts	光温生产潜力/(kg·hm ⁻²) Thermal productive potential, TPP				气候生产潜力/(kg·hm ⁻²) Climate productive potential, CPP				水分 满足率 Water content ratio, WCR
	平均值 Mean yield	标准差 Standard deviation	最高值 Maximum yield	最低值 Minimum yield	平均值 Mean yield	标准差 Standard deviation	最高值 Maximum yield	最低值 Minimum yield	
宝鸡 Baoji	8 746	500	9 655	7 971	8 725	524	9 655	7 940	0.997
西安 Xi'an	8 574	673	9 799	7 538	5 671	2 729	8 823	1 063	0.639
铜川 Tongchuan	9 892	644	11 071	8 824	7 748	2 138	10 665	2 996	0.783
洛川 Luochuan	8 413	358	8 858	7 590	7 304	1 372	8 858	5 664	0.868
延安 Yan'an	9 431	584	10 246	8 486	5 909	2 468	8 641	924	0.627
榆林 Yulin	10 475	951	11 796	8 593	3 744	3 373	9 946	307	0.357
西峰 Xifeng	7 915	795	9 173	6 170	6 535	2 115	8 287	2 211	0.826
平凉 Pingliang	8 214	767	9 230	7 199	6 118	2 479	9 167	784	0.745
天水 Tianshui	8 537	352	9 029	7 932	6 168	2 540	9 026	1 057	0.723
兰州 Lanzhou	8 857	1 029	10 166	6 883	1 890	2 720	7 629	0	0.213
静远 Jingyuan	9 219	826	10 105	7 821	2 243	2 888	8 861	0	0.243
固原 Guyuan	4 574	1 708	5 820	3 927	2 925	2 007	5 732	526	0.639
盐池 Yanchi	9 128	1 449	11 872	6 093	1 120	1 384	5 856	155	0.123
银川 Yinchuan	9 267	1 247	11 301	6 953	0	0	0	0	-
中宁 Zhongning	8 739	778	10 046	7 609	0	0	0	0	-
鄂托克 Ertuoke	7 161	930	8 881	5 077	1 245	1 087	3 648	0	0.174
呼和浩特 Huhehaote	6 874	1 029	8 985	5 360	3 490	2 913	8 878	0	0.506
朔州 Shuozhou	8 032	495	8 857	7 640	3 409	1 786	5 802	1 777	0.425
太原 Taiyuan	8 115	474	8 971	7 162	3 303	2 867	8 243	191	0.407
隰县 Xixian	8 546	916	10 468	7 159	4 355	3 349	10 462	955	0.510
长治 Changzhi	10 286	729	11 193	9 337	9 721	875	11 187	8 529	0.945
运城 Yuncheng	9 787	561	10 801	9 255	5 480	3 089	10 052	1 404	0.560
洛阳 Luoyang	9 911	471	10 552	9 222	7 172	2 085	9 973	2 482	0.724

在表 1 中,产量潜力的平均值、标准差、最高值和最低值是指模拟研究年限(6~15 年)内产量潜力的平均值、标准差、潜力的上、下限,分别表示各点产量潜力的高低水平、年际稳定程度及变化范围。WCR 是指水分满足率,用气候生产潜力(CPP)的平均值与光温生产潜力(TPP)平均值之比表示,即 $WCR = CPP/TPP$,表示自然降水条件下降水满足作物需水的程度。

黄土高原地区春播谷子光温生产潜力平均值 4 574~10 475 kg/hm²,标准差 352~1 708 kg/hm²,最高值 5 820~11 872 kg/hm²,最低值 3 927~9 255 kg/hm²。春谷光温生产潜力除地势高寒的固原不足 5 000 kg/hm²,北部的鄂托克、呼和浩特不足 8 000 kg/hm²外,其余各点均大于 8 000 kg/hm²。其中榆林与长治两地高达 10 000 kg/hm²以上。春谷的气候生产潜力平均值为 0~9 721 kg/hm²,标准差 0~3 373 kg/hm²,最高值

0~11 187 kg/hm²,最低值 0~8 529 kg/hm²。陇中、宁夏、海东、内蒙、榆林及晋北为春谷气候生产潜力低值区,不足 4 000 kg/hm²,其中银川和中宁为干旱区,自然降水条件下谷子不能生长,春谷气候生产潜力为零,其余各点均大于 4 000 kg/hm²。春谷气候生产潜力标准差较大,说明产量年际变异幅度大,稳产性差。水分满足程度为 0~0.997,除汾渭河谷、渭北及陇东较高外,其余各点均在 0.500 以下。

据有关研究结果^[6],太原、长治、榆林、延安、固原等地春谷气候生产潜力高产记录值分别为 9 285 (地膜覆盖栽培),6 700,4 725,6 652 和 4 575 kg/hm²,除太原外,其余各点模拟值与高产记录值较为接近。

3 春大豆生产潜力

黄土高原中部与北部属我国北方一熟春播大豆区,南部的汾渭河谷与豫西属二熟夏大豆区。

表 2 黄土高原春大豆生产潜力多年模拟结果

Table 2 Simulation results of spring soybean productive potential on the Loess Plateau

地区 Districts	光温生产潜力/(kg·hm ⁻²) Thermal productive potential, TPP				气候生产潜力/(kg·hm ⁻²) Climate productive potential, CPP				水分 满足率 Water content ratio, WCR
	平均值 Mean yield	标准差 Standard deviation	最高值 Maximum yield	最低值 Minimum yield	平均值 Mean yield	标准差 Standard deviation	最高值 Maximum yield	最低值 Minimum yield	
宝鸡 Baoji	3 939	159	4 245	3 645	3 723	588	4 235	2 369	0.945
西安 Xi'an	3 884	216	4 201	3 535	2 846	1 046	4 153	726	0.723
铜川 Tongchuan	3 918	116	4 108	3 685	3 480	750	4 074	1 854	0.888
洛川 Luochuan	3 512	379	3 952	2 925	3 512	379	3 952	2 925	1.000
延安 Yan'an	3 715	190	4 089	3 253	2 792	1 042	4 089	1 059	0.752
榆林 Yulin	3 677	300	4 160	3 040	1 190	1 415	4 125	0	0.324
西峰 Xifeng	2 748	402	3 496	2 059	2 350	801	3 363	902	0.855
平凉 Pingliang	2 812	360	3 557	2 252	2 229	917	3 383	482	0.792
天水 Tianshui	3 875	106	4 123	3 710	3 020	1 042	4 123	1 109	0.779
兰州 Lanzhou	3 279	498	4 199	2 555	625	1 035	3 414	26	0.191
静远 Jingyuan	3 314	393	4 088	2 776	0	0	0	0	-
银川 Yingchuan	3 866	420	4 532	3 332	0	0	0	0	0
中宁 Zhongning	3 911	357	4 570	3 330	0	0	0	0	0
盐池 Yanchi	3 410	439	3 999	2 660	0	0	0	0	0
鄂托克 Ertuohe	2 663	554	3 651	1 949	0	0	0	0	0
呼和浩特 Huhehaote	2 761	479	3 530	1 715	991	866	2 532	62	0.359
朔州 Shuozhou	2 209	484	2 919	1 681	1 285	1 056	2 323	101	0.582
太原 Taiyuan	3 959	243	4 209	3 538	1 588	1 545	4 094	93	0.401
隰县 Xixian	3 509	290	3 892	2 947	1 923	1 385	3 847	30	0.548
洛阳 Luoyang	3 845	107	4 035	3 690	2 298	752	3 923	970	0.598

表2为黄土高原春大豆生产潜力模拟结果,黄土高原春大豆光温生产潜力平均值为2 209~3 939 kg/hm²,东南部及银川平原春大豆光温潜力均大于3 500 kg/hm²,陇中黄河沿岸地区3 300 kg/hm²左右,陇东、内蒙河套和鄂尔多斯高原及晋西北低于3 000 kg/hm²。春大豆的气候生产潜力平均值为0~3 723 kg/hm²,在黄土高原东南部较高,而西北部干旱少雨地区较低,干旱地区的静远、银川、中宁、盐池和鄂托克甚至为零。降水满足率为0~1 000,除

渭北和陇东旱塬大于0 700外,其余地区小于0 600。另外,春大豆气候生产潜力的标准差远高于光温生产潜力,而绝大多数地区最低值不足1 000 kg/hm²,说明旱地春大豆产量年际变异大,干旱胁迫严重。

4 马铃薯生产潜力

马铃薯主要分布在黄土高原西北大部。表3为黄土高原马铃薯生产潜力(干重)模拟结果。

表3 黄土高原地区马铃薯生产潜力多年模拟结果

Table 3 Simulation results of potato productive potential on the Loess Plateau

地区 Districts	光温生产潜力/(kg·hm ⁻²) Thermal productive potential, TPP				气候生产潜力/(kg·hm ⁻²) Climate productive potential, CPP				水分 满足率 Water content ratio, WCR
	平均值 Mean yield	标准差 Standard deviation	最高值 Maximum yield	最低值 Minimum yield	平均值 Mean yield	标准差 Standard deviation	最高值 Maximum yield	最低值 Minimum yield	
宝鸡 Baoji	14 043	1 788	17 091	11 396	12 646	3 542	17 005	2 767	0 901
西安 Xi'an	12 118	1 736	15 300	9 226	9 509	3 045	12 900	3 418	0 785
铜川 Tongchuan	17 784	1 200	19 218	14 787	11 920	5 172	17 148	1 565	0 670
洛川 Luochuan	18 440	604	18 871	17 240	15 165	1 792	16 931	12 928	0 823
延安 Yan'an	18 283	870	19 369	16 387	9 597	5 241	16 677	2 225	0 525
榆林 Yulin	18 088	838	19 170	16 292	6 109	4 773	15 524	614	0 338
西峰 Xifeng	16 665	407	17 177	15 799	12 521	3 956	16 313	3 652	0 751
平凉 Pingliang	16 927	279	17 312	16 402	11 931	5 288	16 934	991	0 705
天水 Tianshui	16 035	833	17 071	14 577	10 737	3 946	16 195	1 503	0 670
临洮 Lintao	15 279	412	15 855	14 798	10 391	3 861	13 552	2 608	0 680
兰州 Lanzhou	16 891	1 188	18 327	14 449	6 437	4 249	15 574	1 001	0 381
静远 Jingyuan	16 980	618	17 732	15 722	3 861	3 921	11 557	0	0 227
民和 Minhe	15 959	1 636	16 785	11 375	6 812	3 828	14 120	556	0 427
西宁 Xining	13 859	321	14 287	13 032	8 222	3 185	13 262	1 929	0 595
门源 Mengyuan	2 675	2 188	6 280	0	-	-	-	-	-
固原 Guyuan	13 577	1 673	14 622	8 987	9 900	3 349	13 962	2 303	0 729
西吉 Xiji	14 029	328	14 383	13 399	10 433	3 748	14 218	1 887	0 753
盐池 Yanchi	14 325	731	15 522	12 952	3 304	2 821	9 255	0	0 231
鄂托克 Ertuoke	14 546	565	15 256	13 506	3 102	3 405	10 010	0	0 213
呼和浩特 Huhehaote	14 239	690	15 168	12 727	5 526	4 437	13 773	501	0 388
朔州 Shuozhou	15 340	224	15 605	15 018	7 865	4 438	13 899	3 009	0 513
太原 Taiyuan	14 748	751	15 670	12 953	6 055	3 862	14 361	0	0 411
隰县 Xixian	15 519	626	16 586	14 270	8 522	4 562	15 061	585	0 549
长治 Changzhi	16 840	385	17 622	16 632	13 387	992	14 495	11 766	0 795

由表3可以看出,黄土高原马铃薯光温生产潜力为2 675~18 440 kg/hm²,除地处海拔近3 000 m

的门源和热量条件较高的运城、洛阳光温潜力不足10 000 kg/hm²之外,其余各点均大于

13 000 kg/hm², 而气候较为冷凉的榆林、延安、洛川、铜川、西峰、平凉、天水、兰州、静远、民和、中宁、朔州、隰县、长治等地均大于 15 000 kg/hm²。马铃薯的气候生产潜力为 3 102~15 165 kg/hm², 以降水量较高的渭北、陇东、宁南、晋东南为高值区, 其余各点均较低。马铃薯降水满足率为 0.213~0.901, 干

旱、半干旱区低于 0.500, 半湿润区高于 0.600。据有关资料^[6], 呼和浩特、固原和西宁等地的马铃薯气候生产潜力高产记录值分别为 6 907, 13 743 和 12 430 kg/hm², 正处于模拟值的最高值与最低值之间。

[参考文献]

- [1] 陶毓汾, 王立祥, 韩仕峰. 中国北方旱农地区水分生产潜力及开发[M]. 北京: 气象出版社, 1993
- [2] 中国科学院自然资源综合考察队. 中国农业气候资源图集(光能部分)[M]. 北京: 气象出版社, 1984
- [3] 全国土壤普查办公室. 中国土种志(第 4, 5 卷)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995
- [4] Ritchie J T. Soil and weather inputs for the BSNA T crop models[Z]. Michigan State University, 1992
- [5] 陕西省种子管理站. 农作物优良新品种及栽培技术[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1993
- [6] 信乃谄, 王立祥. 中国北方旱区农业[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1998
- [7] 胥国斌, 于世铭. 陇东旱塬谷子千斤田产量结构及栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 1993, (9): 6- 7.
- [8] 林美石. 陕北黄土高原春大豆综合农艺措施数学模型研究[J]. 大豆科学, 1993, (4): 323- 329
- [9] 王立祥, 王留芳, 范芳强, 等. 西北黄土高原半干旱、半湿润地区旱作农田降水生产潜力及开发途径[J]. 自然资源学报, 1989, (1): 19- 25
- [10] 王树安. 作物栽培学各论(北方本)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995
- [11] Tsuji G Y. DSSAT3 user's guide[M]. Honolulu, Hawaii: The university of Hawaii, 1994

Simulation of autumn grain crop productive potential on Loess Plateau region of China

L I Jun^{1,2}, WANG L i-x iàng¹, SHAO M ìng-an², FAN T ìng-lu³

(1 College of Agronomy, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 State Key Lab of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation,
Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Dryland Farming Institute Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The CERES-millet model, CROPGRO-soybean model and SUBSTOR-potato model of DSSAT3 were used to simulate the thermal productive potential (TPP) and climate productive potential (CPP) of millet, soybean and potato at 28 sites on Loess Plateau of China. The crop yield potential data were obtained at each site for 6 to 15 years. The mean yield, yield standard deviation, maximum yield and minimum yield of 3 crops, TPP and CPP were calculated on each site. And water content ratio (WCR, WCR = CPP/TPP) was also calculated.

Key words: Loess Plateau; DSSAT3; autumn grain crop; crop productive potential; crop yield simulation