

京郊山地旱作区作物水分生态适应性系统评价

李玉义, 周宪龙, 张海林, 陈 阜

(中国农业大学 农学与生物技术学院 北京 100094)

摘要: 为了提高京郊山地旱作区农作物产量, 以延庆县为例, 依据农户调查、田间试验和数学模型等方法, 从作物生长期降水状况、作物生长发育与降水分布的时序关系、农田水分供需平衡与作物生态适应性判定和作物水分利用效率等方面, 对京郊山地旱作区主要作物生态适应性进行了系统评价。结果表明: 不同作物降水利用状况存在明显差异, 其规律是: 多年生苜蓿> 春玉米> 春大豆> 春谷子> 马铃薯。5 种作物中春玉米、春谷子和春大豆生长发育与降水分布耦合性较好, 马铃薯和多年生苜蓿生长发育与降水分布耦合性较差。农田作物水分满足率和生态适应性指数, 4 种春作物排序依次为: 春玉米> 春谷子> 春大豆> 马铃薯。水分利用效率依次为春玉米> 苜蓿> 春谷子> 春大豆> 马铃薯。研究结果可为京郊山地旱作区制定合理的种植制度提供理论依据。

关键词: 山地旱作区; 水分生态适应性指数; 水分利用效率

中图分类号: S5.07 文献标识码: A 文章编号: 1000-709(2005)02-0059-04

Systematic Analysis on Water Ecological Adaptability of Crops in Mountainous Arid Zone in the Suburb of Beijing

LI Yu-yi, ZHOU Xian-long, ZHANG Hai-lin, CHEN Fu

(College of Agronomy and Biotechnology, CAU, Beijing 100094, China)

Abstract: Based on the results of survey, field experimentation and model calculation, from the rainfall use during crops growth stage, the time-sequence relationship between crops growth and rainfall distribution, water supply-demand balance, water ecological adaptability index and water use efficiency. Water ecological adaptability of crops in mountainous arid area in suburb of Beijing was evaluated through a case study in Yanqing county. Results showed that there were differences in rainfall use among crops, the order being: perennial alfalfa> spring corn> spring soybean> spring millet> potato. Spring corn, spring millet and spring soybean were superior to potato and alfalfa in coupling characteristics between crop growth and rainfall distribution. Water satiety rate and water ecological adaptability could be put in order of spring corn> spring millet> spring soybean> potato. There were also differences in water use efficiency, the order being: spring corn> perennial alfalfa> spring millet> spring soybean> potato. The study results may provide theoretic basis for drawing up the cropping system in mountainous and arid area in the suburb of Beijing.

Key words: Mountainous and arid area; Water ecological adaptability index; Water use efficiency

山地旱作区在整个京郊农业中所占比重较大, 该地区年降水量约 400~550 mm, 属半干旱与半湿润之间的过渡区域。由于降水数量有限, 干旱发生频繁, 加之种植制度不合理, 造成本区农作物产量低而不稳、生产效益低下。为此, 本文以延庆县为例,

从作物生长期间的降水状况、作物-降水时序耦合特征、农田水分供需平衡与作物生态适应性判定和作物水分利用效率等方面, 对京郊山地旱作区主要作物生态适应性进行了系统评价, 以期对该地区种植制度优化和农艺技术改进提供科学指导。

收稿日期: 2004-12-08

基金项目: 北京市科委基金项目(20020219)

作者简介: 李玉义(1978-), 男, 山东潍坊人, 在读博士, 主要从事农作制度管理方面的研究工作; 陈阜为通讯作者。

1 材料和方法

1.1 田间试验

试验于 2003 年在延庆镇小河屯村进行, 采用春玉米、春谷子、春大豆、马铃薯和苜蓿作为参试作物。所有作物均按适宜播种期播种, 其他田间管理措施均采用常规技术。各种作物均在生育阶段测定土壤水分, 测定方法为称重烘干法, 测定深度为 100 cm。

1.2 数据统计与数学模型应用

1.2.1 水分供需平衡特征 采用旱地作物水分平衡分析方法, 对作物水分供需状况作定量评价^[1,2]。

水分满足率计算公式为: $d = ET_a / ET_m$

其中: $ET_a = P - \Delta w$ $ET_m = K_c \cdot ET_0$

式中: d 为作物的水分满足率; ET_a 为生育期内(或某生育阶段)的实际耗水量; ET_m 为作物需水量; P 为有效降水量; Δw 为土壤储水变化量; K_c 为作物系数, 采用 FAO 提出的作物 K_c 值; ET_0 为参考蒸散量, 采用 FAO 修正后的彭曼公式计算。

1.2.2 水分生态适应性评价 参考其他学者提出的水分生态适应性评价方法^[3~5], 采用如下的水分生态适应性评价模型:

$$f = \prod_{i=1}^n [1 - a_i (1 - ET_{ai} / ET_{mi})]$$

式中, f 为水分生态适应性指数, a_i 为权重系数, ET_{ai} 为各生育期实际耗水量, ET_{mi} 为作物各生育期需水量。将作物全生育期均划分为苗期、生长发育前期、中期和后期 4 个生育阶段, 根据权重系数的基本含义, 采用各生育阶段的作物需水系数, 确定水分生态适应性指数模型的权重系数。计算公式为: $a_i = K_{ci} / \sum K_c$ 。式中, a_i 为权重系数, K_{ci} 为第 i 个生育阶段的作物需水系数, $\sum K_c$ 为各生育期需水系数之和。

2 结果与分析

2.1 作物生长期间的降水状况

根据 1961~2003 年降水资料分析: 延庆县年平均降水量 463.0 mm, 平均年变率 40%, 全年 80% 降水保证率为 374.0 mm, 占年降水量的比值为 80% 左右。从降水季节分布(图 1)来看, 本区降雨具有明显的季节性, 冬、春两季干旱少雨, 夏、秋两季为多雨季节, 降水峰值出现在 6~9 月份, 约占全年降雨量的 70%, 其中 7 月份最多。作物降水利用状况因生育期的长短而表现明显的差异, 5 种旱地主要作物中以苜蓿最高, 生育期降水占全年的 90.7%, 其次为春玉米, 占 79.6%, 春大豆、春谷子因生育期接

近, 生育期降水分别占全年的 75.4% 和 76.5%, 当地马铃薯因满足下茬蔬菜作物生长需要, 生育期最短, 其生育期降水仅为 227.4 mm, 还不到全年的 50%。

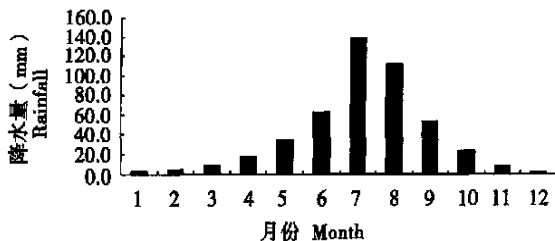


图 1 延庆县降水的季节分布

Fig. 1 Rainfall distribution in Yanqing county

2.2 生育期与降水的时序耦合特征

作物生育期与降水的耦合程度是评价旱地作物生态适应性的重要指标^[1,3,7,10]。作物生育期与降水资源的耦合性不但表现在全生育期水分的满足, 更重要的是表现在各生育阶段水分的满足, 这也是影响旱地作物高产性和稳产性的最主要因子。在正常降水条件下, 5 种作物全生育期降水量为 227.4~440.0 mm, 除马铃薯外, 本区作物的需水规律与降水的季节分配还是比较协调的。从降水满足率(表 1)来看, 春作物全生育期的平均降水满足率为 62.5%~93.8%, 春谷子最高, 其次是春大豆和春玉米, 而马铃薯降水与需水耦合度最低。4 种春作物降水亏缺的时段主要在苗期和作物生长初期, 亏缺程度达 33.6%~65.1%, 中后期降水基本满足生长需要, 甚至还有盈余。

与几种春作物相比, 苜蓿由于其生育期较长, 需水量最大, 整个生育期降水满足率较低, 为 64.8%; 从苜蓿生长发育规律来看, 从 11 月份至来年 3 月份由于正处冬季, 苜蓿基本停止生长, 降水对其影响不大, 7~8 月份进入降水高峰期, 能够完全满足苜蓿生长需要, 但 4~6 月份和 10 月份, 降水满足率仅为 30% 左右, 水分生态适应性较差, 对苜蓿生长极为不利。

2.3 水分供需平衡特征与水分生态适应性

2.3.1 主要作物水分供需平衡特征 表 2 是 2003 年延庆县主要春作物各生长发育阶段与全生育期水分供需平衡状况分析结果。由表中可以看出, 4 种春作物全生育期水分亏缺量为 57.2~78.0 mm, 水分满足率为 79.0%~85.3%, 其中以春玉米水分满足率最高, 其次为春谷子和春大豆, 而马铃薯水分满足率最低。从作物不同生育阶段看, 春玉米水分亏

缺的主要阶段出现在拔节—抽雄期, 其他生育阶段

阶段出现在拔节—抽穗, 水分满足率仅为 73.0%;

农田水分供应基本能够满足生长需要; 春大豆水分

马铃薯在旁枝—开花期间水分亏缺最为严重, 亏缺

亏缺阶段主要出现在分枝—孕蕾; 春谷子水分亏缺

量为 44.6 mm, 水分满足率仅为 61.1%。

表 1 旱地作物生育期需水与降水耦合度比较

Tab. 1 Coupling characteristics comparison between dry-land crops growth and rainfall

作物 Crops	项目 Items	月份 Months							全生育期 Whole period
		4	5	6	7	8	9	10	
春玉米 Corn	需水量(mm) Water demand	—	86.4	116.1	144.0	97.8	34.2	—	478.5
	降水量(mm) Rainfall	—	34.8	62.8	130.7	105.3	35.2	—	368.8
	亏缺量(mm) Deficiency	—	51.6	53.3	13.3	— 7.5	— 1.0	—	109.7
	降水满足率(%) Rainfall satiety rate	—	40.3	54.1	90.8	107.7	102.9	—	77.1
春大豆 Soybean	需水量(mm) Water demand	—	52.2	108.9	144.0	87.0	23.7	—	415.8
	降水量(mm) Rainfall	—	30.8	62.8	130.7	105.3	19.4	—	349.0
	亏缺量(mm) Deficiency	—	21.4	46.1	13.3	— 18.3	4.3	—	66.8
	降水满足率(%) Rainfall satiety rate	—	59.0	57.7	90.8	121.0	81.9	—	83.9
春谷子 Millet	需水量(mm) Water demand	—	46.4	101.6	137.4	70.7	21.3	—	377.5
	降水量(mm) Rainfall	—	30.8	62.8	130.7	105.3	24.4	—	354.0
	亏缺量(mm) Deficiency	—	15.6	38.8	6.7	— 34.6	— 3.1	—	23.5
	降水满足率(%) Rainfall satiety rate	—	66.4	61.8	95.1	148.9	114.6	—	93.8
马铃薯 Potato	需水量(mm) Water demand	32.6	99.8	152.4	79.1	—	—	—	363.9
	降水量(mm) Rainfall	14.5	34.8	62.8	115.3	—	—	—	227.4
	亏缺量(mm) Deficiency	18.1	65.0	89.6	— 36.2	—	—	—	136.5
	降水满足率(%) Rainfall satiety rate	44.5	34.9	41.2	145.8	—	—	—	62.5
苜蓿 Alfalfa	需水量(mm) Water demand	103.6	128.3	166.2	118.2	105.2	90.8	70.1	678.8
	降水量(mm) Rainfall	17.4	34.8	62.8	138.7	111.3	52.8	22.2	440.0
	亏缺量(mm) Deficiency	86.2	93.5	103.4	— 20.5	— 6.1	38.0	47.9	238.8
	降水满足率(%) Rainfall satiety rate	16.8	27.1	37.8	117.3	105.8	58.1	31.7	64.8

表 2 旱地作物农田水分供需平衡状况

Tab. 2 Water supply-demand balance of dry-land crops

作物 Crops	项目 Items	生育阶段 Growing stages				全生育期 Whole period
		iv	㊦	㊨	㊩	
春玉米 Corn	需水量(mm) Water demand	132	163.1	145.8	37.6	478.5
	耗水量(mm) Water consumption	111.6	128.0	120.1	48.4	408.1
	盈亏量(mm) Deficiency	+ 20.4	+ 35.1	+ 25.8	— 10.8	+ 70.4
	水分满足率(%) Water satiety rate	84.5	78.5	82.3	128.7	85.3
春大豆 Soybean	需水量(mm) Water demand	98.5	114.5	132.6	70.2	415.8
	耗水量(mm) Water consumption	80.8	86.7	107.7	62.6	337.8
	盈亏量(mm) Deficiency	+ 17.7	+ 27.8	+ 24.9	+ 7.6	+ 78.0
	水分满足率(%) Water satiety rate	82.0	75.7	81.2	89.2	81.2
春谷子 Millet	需水量(mm) Water demand	82.2	115.5	105.4	74.3	377.4
	耗水量(mm) Water consumption	74.2	84.3	86.4	65.3	310.2
	盈亏量(mm) Deficiency	+ 8.0	+ 31.2	+ 19.0	+ 9.0	+ 67.2
	水分满足率(%) Water satiety rate	90.3	73.0	82.0	87.9	82.3
马铃薯 Potato	需水量(mm) Water demand	92.6	114.8	82.4	74.1	363.9
	耗水量(mm) Water consumption	80.6	70.2	69.2	67.6	287.6
	盈亏量(mm) Deficiency	+ 12.0	+ 44.6	+ 13.2	+ 6.5	+ 76.3
	水分满足率(%) Water satiety rate	87.0	61.1	84.0	91.2	79.0

注: + 表示农田水分亏缺, - 表示农田水分盈余。iv, ㊦, ㊨, ㊩分别代表春玉米的播种—拔节、拔节—抽雄、抽雄—乳熟、乳熟—成熟, 春大豆的播种—分枝、分枝—孕蕾、孕蕾—结荚、结荚—成熟, 春谷子的播种—拔节、拔节—抽穗、抽穗—灌浆、灌浆—成熟, 马铃薯的播种—旁枝—开花、开花—膨大、膨大—成熟

Note: + represent the water deficit, - represent the water surplus. iv, ㊦, ㊨, ㊩respectively represent the stages of sowing to shooting, shooting to heading, heading to milking, milking to mature for spring corn; the stages of sowing to shooting, shooting to budding, budding to pod setting, and pod setting to mature for spring soybean; the stages of sowing to shooting, shooting to heading, heading to filling, and filling to mature for spring millet; the stages of sowing to shooting, shooting to flowering, flowering to tuber setting, tuber setting to mature for potato

2.3.2 主要作物水分生态适应性的判定 作物总体水分生态适应性是由各生育期的水分生态适应性决定的,因此在评价作物总体水分生态适应性时,必须全面权衡作物各生育期的水分供需关系。采用表 2 中主要作物各生育阶段水分满足率,测算了延庆县 4 种作物的水分生态适应性指数: 2003 年不同作物在水分生态适应性方面存在较大差异,4 种作物水分生态适应性指数依次为: 春玉米(0. 872) > 春谷子(0. 839) > 春大豆(0. 831) > 马铃薯(0. 818)。由此可见,从水分资源的角度评价,2003

年延庆县春玉米具有较强的生态适应性,春谷子、春大豆次之,而马铃薯生态适应性相对较差。

2.4 作物水分利用效率

表 3 是 2003 年延庆县 5 种旱地作物产量、生育期降水量、耗水量和水分利用效率的试验结果。从表 3 可以看出,4 种春作物中春玉米因生育期间降水较多而且降水分配比较合理,水分利用效率最高,其次为春谷子和春大豆,最小为马铃薯。多年生苜蓿生长期间基本涵盖全年所有降水,其水分利用效率接近于春玉米,但大于其他 3 种春作物。

表 3 旱地作物水分利用效率比较

Tab. 3 Water use efficiency comparison of dry- land crops

作物 Crops	生育期降水量 Rainfall during growing stage	耗水量(mm) Water consumption	产量(kg/hm ²) Yield	水分利用效率(kg/m ³) Water use efficiency
春玉米 Corn	349. 9	408. 1	7592. 6	1. 86
春大豆 Soybean	290. 6	337. 8	2823. 4	0. 84
春谷子 Millet	298. 3	310. 2	3632. 8	1. 17
马铃薯 Potato	220. 3	287. 6	2399. 7	0. 83
苜蓿 Alfalfa	419. 9	452. 3	7295. 0	1. 61

注: 马铃薯按 5 kg 鲜薯折合 1 kg 粮食计算; 苜蓿产量以干草重统计

Note: 5 kg of potato amounts to 1 kg of grain, production of alfalfa was the statistic value of dry matter

3 结论

在京郊山地旱作区,不同作物降水利用状况因生育期长短表现出明显差异,其规律是: 多年生苜蓿 > 春玉米 > 春谷子 > 春大豆 > 马铃薯。作物生育期与降水分布的耦合性也存在明显差别,春玉米、春谷子和春大豆降水满足率为 76. 6% ~ 93. 8%,生长发育与降水分布耦合性较好,马铃薯和多年生苜蓿降水满足率分别为 62. 5% 和 64. 8%,生长发育与降水分布耦合性较差,5 种作物不同生育阶段均存在不同程度的降水水分亏缺,亏缺程度达 33. 6% ~ 83. 2%。农田作物的水分盈亏状况和水分满足率,因生育期降水的多寡和作物类型的不同而各不相同,4 种春作物全生育期需水量为 363. 9~ 478. 5 mm,2003 年 4 种春作物全生育期水分亏缺量为 57. 2~ 78. 0 mm,水分满足率为 79. 0% ~ 85. 3%,水分生态适应性指数排序依次为: 春玉米(0. 872) > 春谷子(0. 839) > 春大豆(0. 831) > 马铃薯(0. 818)。

依据旱地作物产量、耗水量和水分利用效率试验结果,2003 年 5 种旱地作物水分利用效率排序依次为: 春玉米> 苜蓿> 春谷子> 春大豆> 马铃薯。研究结果可为京郊山地旱作区制定合理的种植制度提供理论依据。

参考文献:

[1] 陶毓汾,王立祥,韩仕峰,等.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. 62-1572.

[2] 信乃谄.计算农田蒸发的水量平衡法[J].干旱地区农业研究,1986,(2):33-403.

[3] 李锋瑞,编著.干旱农业生态系统研究[M].西安:陕西科学技术出版社,1998.37-73.

[4] Rao N H. A simple dated water production function for use in irrigated agriculture[J]. Agric Water Managemant, 1986,(13): 25-32.

[5] 王龙昌,谢小玉,王立祥,等.黄土丘陵区旱地作物水分生态适应性系统评价[J].应用生态学报,2004,15(5): 758-762.