

基于作物生育期灾害敏感指数的旱灾粮食减产量研究

江 丽, 薛翠翠, 安萍莉

(中国农业大学 资源与环境学院 土地资源管理系, 北京 100193)

摘 要:我国是自然灾害频繁发生的国家,自然灾害造成不同程度的粮食减产,是粮食安全的潜在风险源。该文以旱灾为主,将全国各地作物生育期、不同旱灾强度、发生时间及发生次数进行耦合分析,研究其耦合规律及主要粮食作物在各生育期对灾害的敏感性,并据此计算我国不同地区旱灾减产量并进行风险评价分析。研究表明,冬小麦的返青、乳熟和成熟期,春小麦的分蘖、乳熟和成熟期,玉米的三叶、七叶和成熟期以及水稻的返青、孕穗、乳熟和成熟期均是防灾减灾的关键期,应该加强农田管理,减少灾害损失。旱灾对我国粮食主产区影响较大,粮食减产风险防范关键区主要分布在黄淮海区、长江中下游区。

关键词:旱灾; 作物生育期; 灾害敏感指数; 粮食减产

中图分类号:S423

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0183-05

Research on the Amount of Grain Loss by Droughts Based on the Sensitive Index of Crop Growth Period

JIANG Li, XUE Cui-cui, AN Ping-li

(Department of Land Resources Management, College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: China is a county with frequent natural disasters. Natural disasters have grain yield reduction at different levels, and are the potential sources of food security. Based on studies of drought, this paper couples crop growth periods with different intensities, the times and frequencies of drought, further studies on the coupling laws and the sensitivities of disaster at different growth periods of main grain crops, calculates the amount of grain yield reduction caused by drought, analyzes and evaluates drought risk. The results show that the re-greening, milky stage and maturity stage of winter wheat, tillering stage, milky stage and maturity stage of spring wheat, trefoil stage, seven leaves and maturity stage of maize, the re-greening stage, booting stage, milky stage and maturity stage of rice are the critical periods of drought precaution and drought mitigation. Droughts have greater impact on China's main grain-producing areas. The key areas of drought precaution are mainly distributed in the North China Plain, the Yangtze District.

Key words: drought; crop growth period; sensitive index of disaster; grain yield reduction

干旱灾害是一种对社会造成严重危害的自然灾害。在我国,干旱是对作物产量影响最大、区域最广、发生最频繁的气象灾害。中国有句俗语:“水灾一条线,旱灾一大片”。干旱缺水对农业生产所造成的损失比其他自然灾害的影响要大,已经成为中国农业稳定发展和粮食安全工具的主要制约因素。根据 1978—2005 年的统计数据显示,我国平均每年农作物旱灾受灾面积为 2 553.3 万 hm^2 , 占总受灾面积的 52.2%; 成

灾面积为 1 395.4 万 hm^2 , 占总成灾面积的 51.3%。可见,干旱是影响我国粮食生产的主要气象灾害。据农业部 2006 年农业年鉴统计,我国 2005 年旱灾共造成 1 600 万 hm^2 农作物受灾, 848 万 hm^2 成灾, 约 190 万 hm^2 绝收, 直接经济损失 200 多亿元。因此, 干旱及其灾害的危害不容忽视, 我们需要根据我国干旱的历史数据资料, 了解和掌握干旱灾害的发生规律和粮食损失量, 及时采取防范措施以保障粮食安全和社会

收稿日期:2010-08-16

修回日期:2010-08-25

资助项目:国家科技支撑项目“综合生态与食物安全风险防范关键技术示范(2006BAD20B07)”

作者简介:江丽(1984—),女,山东省临沂市沂水县人,硕士研究生,研究方向是土地利用规划与粮食安全风险等。E-mail:sdauijw@126.com

通信作者:安萍莉(1969—),女,河北省石家庄人,副教授,主要从事土地利用规划与粮食安全风险等相关研究。E-mail:anpl@cau.edu.cn

经济发展的需要。本文将全国各地区主要粮食作物的主要生育期、旱灾强度、旱灾发生时间及其发生次数进行耦合分析,并研究主要粮食作物在各生育期对旱灾的敏感性,计算旱灾对不同作物造成的粮食减产量。研究各生育期对旱灾的敏感性及其减产量对于有针对性采取灾害防范措施具有重要意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文采用降水数据来自中国气象局的 1978—2005

表 1 水稻、小麦、玉米生育期名称

作物	一级耕作区	苗期	移栽	返青	分蘖	孕穗	抽穗	乳熟	成熟
水稻	长江中	4 月中旬—	6 月上旬	6 月中旬	6 月下旬—	7 月下旬	8 月上、	8 月下旬—	9 月
	下游区	5 月下旬			7 月中旬				
作物	一级耕作区	苗期	分蘖	返青	拔节	抽穗	乳熟	成熟	
小麦	黄淮海区	10 月	11 月—	2 月	3 月—	4 月中旬—	5 月下旬	6 月上旬	
			次年 1 月		4 月上旬	5 月中旬			
作物	一级耕作区	苗期	三叶	七叶	拔节	抽穗	乳熟	成熟	
玉米	黄土高原区	6 月中旬	6 月下旬	7 月上、中旬	7 月下旬	8 月上、中旬	9 月上、中旬	9 月下旬	

(2)作物生育期旱灾强度的确定。根据粮食作物的生育期时间和 1978—2005 年各省的日降水数据,计算每年粮食作物各个生育期的降水距平。

$$D_p = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\%$$

式中: D_p ——降水距平(%) ; P ——作物每个生育期内降水量(mm); \bar{P} ——作物每个生育期内多年平均降水量(mm),一般采用近 30 a 的降水数据。

参照我国相关的行业干旱等级划分^[4],本文采用降水距平划分旱灾等级(表 2),旱灾分为轻旱、中旱和重旱,从而确定作物各生育期的旱灾强度。

表 2 旱灾等级的划分

旱灾等级	重旱	中旱	轻旱	正常
降水距平	≤ -80	-80~	-60~	-40~
$D_p/\%$		-60	-40	25

(3)旱灾与作物生育期的耦合分析。利用旱灾发生频率作为耦合的度量指标,即统计主要作物各生育期不同旱灾强度下的发生频率,作为旱灾和作物生育期的耦合结果。

(4)计算作物各生育期灾害敏感指数。第一步:计算粮食(水稻、小麦和玉米)旱灾减产量、减产比例。

根据历年粮食作物的产量、播种面积、单产、旱灾受灾面积、旱灾成灾面积的数据,则:

$$Y_D = [(A_S - A_C) \times C_1 + A_C \times C_2] \times Y_N$$

$$R = \frac{Y_D}{Y_N \times S}$$

式中: Y_D ——旱灾减产量(10^4 t); A_S, A_C ——作物受灾面积(10^3 hm²)和作物成灾面积(10^3 hm²), C_1 ——

年全国各站点每年每月每日的降水量,粮食(水稻、小麦和玉米)的产量、单位面积产量、播种面积、受灾面积、成灾面积等数据均来自 1978—2005 年中国统计年鉴和中国农业年鉴及各省、市、自治区的统计年鉴,作物生育期数据则来自中国气象科学数据共享服务网的“中国农作物生长发育旬值数据集(2006 年)”。

1.2 研究方法

(1)以我国标准耕度制度一级分区为基础,以农作物生长发育旬值为依据,确定水稻、小麦和玉米的主要生育期^[1-3]及其时间(表 1)。

因灾减产 10%~30% 的受灾面积的平均减产系数,取 $C_1 = 0.2$; C_2 ——因灾减产 30%~50% 的成灾面积的平均减产系数,取 $C_2 = 0.5$; Y_N ——趋势单产,即正常年粮食单产(kg/hm²),其确定方法是采用正交多项式法^[5-6]; R ——减产比例; S ——粮食作物(水稻、小麦、玉米)播种面积(10^3 hm²)。

第二步:根据各省灾害数据,统计粮食作物各个生育期发生的干旱灾害等级及不同干旱等级的发生次数,计算不同干旱等级发生的频率。

第三步:根据各省每年粮食作物的减产比例和每年各个生育期的干旱等级,确定出在轻旱、中旱、重旱条件下粮食作物各个生育期的减产比例,即为生育期敏感指数。

(5)计算作物旱灾减产量。设定作物第一生育期为 i 生育期,第二生育期为 ii 生育期,依此类推,则

$$\text{每年的作物旱灾减产量} = \text{作物总产量} \times i \text{生育期灾害出现频率} \times i \text{生育期敏感指数} + \text{作物总产量} \times ii \text{生育期灾害出现频率} \times ii \text{生育期敏感指数} + \text{作物总产量} \times iii \text{生育期灾害出现频率} \times iii \text{生育期敏感指数} + \dots$$

根据上述研究方法可以得出我国各省(市、区)粮食作物(水稻、玉米和小麦)的各生育期敏感指数和旱灾减产量。

(6)旱灾粮食减产量风险评价。干旱灾害风险评价是在上述研究基础上采用旱灾减产风险量作为评价指标。本文将预测 2020 年旱灾造成的粮食减产风险量,其计算公式为

$$D=\overline{Y_D}\times f\times c$$

式中: D ——2020 年旱灾减产风险量(10^4 t); $\overline{Y_D}$ ——历年年均减产量(10^4 t); f ——旱灾发生频率; c ——2020 年粮食产量与基期年(2005 年)粮食产量的比值,2020 年粮食产量=2020 年粮食单产 \times 2020 年耕地面积 \times 复种指数。其中,2020 年粮食单产是根据历年的粮食单产采用正交多项式法预测得来的,2020 年各地区耕地面积来源于《全国土地利用总体规划纲要(2006—2020 年)》,由于各地区粮食作物复种指数变化不大,暂且用基期年(2005 年)的复种指数来代替未来年(2020 年)的复种指数。

2 结果与分析

2.1 作物生育期与旱灾耦合分析

2.1.1 水稻 东北区,干旱频发期多在水稻的移栽期和返青期;长江中下游区,干旱频发期多在返青期、孕穗期;江南区,干旱频发期多在水稻的乳熟期、成熟期,8—9 月份持续的高温干旱,对水稻的生长发育影响较大;华南区,早稻易在移栽期和返青期遭受旱灾,晚稻干旱频发期则多在抽穗、乳熟和成熟期;四川盆地,干旱频发期多在孕穗、乳熟和成熟期;云贵高原区,干旱频发期多在移栽、返青、乳熟和成熟期。

表 3 1978—2005 年粮食作物生育期发生旱灾的频率 %

作物	一级耕作区	苗期	移栽	返青	分蘖	孕穗	抽穗	乳熟	成熟
水稻	东北区	8.6	19.5	17.2	4.7	12.5	11.7	13.3	12.5
	长江中下游区	9.8	13.4	17.0	6.3	15.2	12.5	12.5	13.4
	江南区(早稻)	4.7	13.8	5.9	11.4	9.4	14.6	20.9	19.3
	江南区(晚稻)	9.8	12.5	13.8	7.3	12.5	8.4	16.8	19.0
	华南区(早稻)	9.9	18.1	17.5	11.1	12.9	5.3	7.0	18.1
	华南区(晚稻)	11.9	11.9	8.7	3.2	12.4	17.4	14.7	19.7
	四川盆地区	0.0	6.3	12.5	0.0	25.0	6.3	18.8	31.3
	云贵高原区	4.0	29.3	18.7	0.0	5.3	10.7	16.0	16.0
小麦	一级耕作区	苗期	分蘖	返青	拔节	抽穗	乳熟	成熟	
	黄淮海区	15.2	9.6	18.4	11.4	11.7	18.4	15.4	
	长江中下游区	17.7	12.5	17.7	13.5	6.3	14.6	17.7	
	青藏高原区及西北区	3.2	29.0	0.0	16.1	6.5	24.2	21.0	
玉米	一级耕作区	苗期	三叶	七叶	拔节	抽穗	乳熟	成熟	
	黄淮海区	18.6	18.0	11.5	7.5	11.5	13.4	19.6	
	内蒙古高原及长城沿线区	29.3	20.0	17.3	8.0	4.0	6.7	14.7	
	黄土高原区	17.3	18.0	9.0	10.5	7.5	9.8	27.8	

2.1.2 小麦 拔节至抽穗、乳熟至成熟是北方冬麦区耗水最多的阶段,这两个阶段的生育天数约占全生育期的 1/3,但是耗水量却占总耗水量的 65%左右。4—5 月正值北方冬麦区春旱季节,从历年统计结果来看,华北地区春旱最为显著;黄淮海区,干旱频发期多在苗期、返青、乳熟和成熟期;长江中下游区,干旱频发期除抽穗期外其他各生育期时段内比较严重;青藏高原区及西北区,干旱多发生在分蘖、乳熟和成熟期。

2.1.3 玉米 玉米的抗旱主要表现在苗期,适度的干旱蹲苗有利于后期抗旱和防倒折。一旦开始拔节,其抗旱能力就会削弱,需水量增加。抽雄前的干旱俗称“卡脖旱”,常造成大量籽粒不孕。黄淮海区,干旱频发期多在春玉米的苗期、三叶、乳熟和成熟期;内蒙古高原及长城沿线区,干旱频发期多在苗期、三叶和七叶期;黄土高原区,干旱频发期多在夏玉米的苗期、三叶和成熟期。

2.2 作物生育期敏感指数的计算

根据 1.2 的研究方法,计算不同干旱程度下我国

耕作一级区主要粮食作物各生育期的减产比例,即生育期敏感指数,如表 4 所示。

粮食作物生育期敏感指数的大小反映了旱灾对粮食产量的影响程度的大小。从表 4 可以看出,我国水稻(早稻、晚稻)种植区受旱影响较大是东北区的分蘖、孕穗和抽穗期,长江中下游区的孕穗、抽穗和郭熟期,江南区的孕穗、抽穗和乳熟期,华南区的返青、孕穗、抽穗和乳熟期,四川盆地的移栽、孕穗和抽穗期,云贵高原区的移栽和抽穗期。小麦(冬小麦、春小麦)的种植区受旱影响较大的是黄淮海区的乳熟和成熟期,长江中下游区的拔节和成熟期,青藏高原区的分蘖和乳熟期和西北区的拔节期等。玉米种植区受旱影响较大的是黄淮海区的三叶和七叶期,内蒙古高原区及长城沿线区和黄土高原区的拔节和乳熟期。

2.3 全国各地区旱灾对粮食产量的影响

根据 1.2 的研究方法可以计算出 1978—2005 年我国各地区每年主要粮食作物的旱灾减产量,进而可以计算得出旱灾造成的粮食年均减产量,如表 5 所示。

表 4 不同干旱程度下粮食作物各生育期敏感指数

水稻敏感指数		苗期	移栽	返青	分蘖	孕穗	抽穗	乳熟	成熟
东北区	轻旱	0.010	0.020	0.015	0.040	0.050	0.040	0.020	0.015
	中旱	0.015	0.030	0.045	0	0.080	0.075	0.040	0.030
	重旱	0.020	0.040	0.070	0	0	0	0.050	0.050
长江中下游区	轻旱	0.017	0.010	0.010	0.030	0.010	0.010	0.013	0.010
	中旱	0.030	0.024	0.023	0	0.043	0.040	0.050	0.032
	重旱	0	0.040	0.047	0	0.070	0	0	0.060
江南区	轻旱	0.005	0.005	0.004	0.010	0.015	0.014	0.015	0.006
	中旱	0.010	0.013	0.012	0.012	0.023	0.028	0.025	0.017
	重旱	0	0.027	0.015	0.016	0	0.050	0.044	0.036
华南区	轻旱	0.005	0.005	0.016	0.006	0.012	0.010	0.010	0.007
	中旱	0.015	0.013	0.024	0.014	0.025	0.018	0.020	0.012
	重旱	0.033	0.036	0.023	0.025	0.030	0	0.030	0.014
四川盆地	轻旱	0.038	0.029	0.021	0	0.032	0.020	0.016	0.011
	中旱	0	0.068	0.013	0	0	0.050	0.044	0.013
	重旱	0	0.100	0	0	0	0.109	0	0.023
云贵高原区	轻旱	0.038	0.029	0.021	0	0.032	0.020	0.016	0.011
	中旱	0	0.068	0.013	0	0	0.050	0.044	0.013
	重旱	0	0.100	0	0	0	0.109	0	0.023
晚稻敏感指数		苗期	移栽	返青	分蘖	孕穗	抽穗	乳熟	成熟
江南区	轻旱	0.010	0.017	0.012	0.010	0.006	0.013	0.011	0.006
	中旱	0.015	0.024	0.033	0.018	0.013	0.055	0.015	0.010
	重旱	0	0.038	0.060	0	0.025	0	0.032	0.033
华南区	轻旱	0.005	0.010	0.010	0.006	0.010	0.004	0.010	0.010
	中旱	0.015	0.016	0.025	0.050	0.027	0.020	0.025	0.025
	重旱	0.020	0.023	0.044	0	0.035	0.032	0.027	0.036
冬小麦敏感指数		苗期	分蘖	返青	拔节	抽穗	乳熟	成熟	
淮海区	轻旱	0.010	0.020	0.020	0.010	0.030	0.010	0.010	
	中旱	0.015	0.040	0.030	0.020	0.040	0.040	0.050	
	重旱	0.020	0.050	0.050	0.050	0.050	0.080	0.090	
长江中下游区	轻旱	0.010	0.010	0.015	0.022	0.010	0.022	0.010	
	中旱	0.020	0.012	0.020	0.040	0	0.020	0.030	
	重旱	0.030	0.017	0.030	0.060	0	0.050	0.070	
玉米敏感指数		苗期	三叶	七叶	拔节	抽穗	乳熟	成熟	
淮海区	轻旱	0.010	0.020	0.020	0.030	0.020	0.030	0.020	
	中旱	0.040	0.060	0.060	0.050	0.030	0.040	0.040	
	重旱	0.060	0.070	0.100	0	0.045	0.045	0.054	
内蒙古高原区及长城沿线区	轻旱	0.017	0.018	0.012	0.036	0.040	0.031	0.020	
	中旱	0.026	0.030	0.030	0	0	0.040	0.028	
	重旱	0.032	0.054	0.037	0	0	0.048	0.034	
黄土高原区	轻旱	0.015	0.027	0.027	0.066	0.030	0.044	0.018	
	中旱	0.028	0.083	0.037	0.100	0.100	0	0.034	
	重旱	0.039	0.111	0.064	0.117	0	0	0.061	
春小麦敏感指数		苗期	分蘖	拔节	抽穗	乳熟	成熟		
青藏高原区	轻旱	0	0.038	0.005	0	0.006	0.022		
	中旱	0	0.048	0	0	0.040	0		
	重旱	0	0.109	0	0	0.070	0		
西北区	轻旱	0.022	0.010	0.022	0.016	0.004	0.006		
	中旱	0	0.066	0.031	0	0.022	0.022		
	重旱	0	0	0	0	0.023	0.038		

注:敏感指数为 0 表示 1978—2005 年期间该生育期末遭受过旱灾。

表 5 1978—2005 年我国粮食作物的旱灾减产量 10 ⁴ t					
地区	小麦	玉米	水稻	地区	水稻
北京	1.5	1.5		辽宁	9.8
天津	1.4	1.9		吉林	4.3
河北	18.8	13.1		黑龙江	4.8
山西		7.0		湖北	18.5
内蒙古		4.5		湖南	31.9
上海	0.1		0.9	广东	18.0
江苏	6.2		15.5	广西	16.3
安徽	5.5		10.1	海南	1.8
山东	39.3	32.8		重庆	1.1
河南	39.2	17.3		四川	3.1
西藏	0.1			贵州	4.3
陕西		6.1		云南	4.9
甘肃		2.1		浙江	12.9
青海	0.2			福建	9.3
宁夏		0.9		江西	27.2
新疆	1.3				

(1)我国水稻主产区在东北区、长江中下游区、江南区、华南区、云贵高原区和四川盆地,而且东北区、长江中下游区、云南高原区和四川盆地为一季稻主产区、江南区、华南区为多季稻主产区计算出这 6 个地区的水稻旱灾减产量。经过计算及综合分析,水稻旱灾减产量较高的省份是湖南、江西、湖北、广东、广西、江苏、浙江、安徽 8 省,其减产均超过 10 万 t;这些地区水稻产量高,并在各生育期间,特别是关键生育期(孕穗、抽穗、乳熟)干旱灾害发生较为频繁,对于水稻的生长发育和产量有着较显著的影响。

(2)小麦主产区分布在黄淮海地区、长江中下游地区,其次是青藏高原及西北区,均为一年一季麦。根据小麦生育期的减产比例和趋势产量得出小麦的减产量。小麦减产量最高的是山东,其次为河南、河北,另外江苏、安徽等地减产量也较多。这些省份主要位于黄淮海地区和长江中下游地区东部,旱灾发生比较频繁,其中山东、河南、河北的小麦重旱发生次数为 13,16,12 次,其减产量依次为 39.3 万 t、39.2 万 t 和 18.8 万 t。这些地区的冬小麦大多在 4—5 月份抽穗开花,作物生长需要大量水分,是需水的关键时期。一旦发生灾害,将对小麦生长发育造成严重的影响,极大地降低产量。

(3)我国玉米主产区主要分布在黄淮海地区、内蒙古高原区及长城沿线区、黄土高原区,均为一年一季。玉米生育期受到的灾害主要是干旱,在生育期间内旱灾频繁发生。玉米旱灾减产量由高到低的地区是山东、河南、河北、山西、陕西、内蒙古、甘肃等地区。

2.4 旱灾减产量风险评价

根据我国各地区的熟制和水稻、小麦和玉米的旱灾减产量,汇总得出各地区的粮食作物总减产量,然

后在全国和区域空间上,从粮食作物的旱灾减产比例和区域旱灾相对减产比例 2 个角度分析干旱灾害对我国各省(市、区)粮食生产的影响。

2.4.1 依据旱灾比例进行风险评价 各地区旱灾绝对比例,是指我国各地区旱灾造成的粮食减产风险量占全国总减旱灾减产风险量的比值。本文借助 Arc-GIS 9.3 软件中的“分级方法—自然断点法”和相关文献资料^[7-8]初步确定我国旱灾风险等级,得出 2020 年我国旱灾风险等级图,如附图 7—8 所示。

表 6 旱灾风险等级				
旱灾等级	高风险区	中风险区	低风险区	极低风险区
旱灾减产比例/%	>6	3~6	1~3	≤1
区域旱灾减产比例/%	>2	1~2	0.5~1	≤0.5

从附图 7 可以看出,旱灾造成的粮食减产量的风险主要分布在我国的粮食主产区,旱灾高风险区分布在河北、山东、河南、湖南 4 省,其减产量占全国总减产的 48.5%;中风险区分布在江苏、安徽、湖北、江西、广西和广东 6 省,其减产量占全国总减产量的 28.0%;低风险区分布在黑龙江、吉林、辽宁等 10 省(区);低风险区分布在我国的青藏高原区、黄土高原区和西南地区等,具体分布在新疆、西藏、青海等 11 省(市、区)。

2.4.2 依据区域旱灾减产比例进行风险评价 各地区旱灾减产相对比例,是指不同地区自然灾害减产量占各省粮食供给的比重,反映了旱灾风险对本地区粮食生产的影响程度。

旱灾减产相对风险的高风险区分布在北京、天津,因灾减产量超过本地粮食供给能力的 2%;中风险区分布在黄淮海区、华南区等;风险程度较小的地区主要分布在辽宁、山西、陕西、上海、安徽、江苏、湖北 7 省;风险程度最低分布在东北区、西北区、黄土高原区和青藏高原区(附图 8)。

3 结 论

本文基于作物生育期灾害敏感指数对我国 1978—2005 年以来的干旱灾害历史数据资料进行分析和评价,得出以下结论:冬小麦的返青、乳熟和成熟期,春小麦的分蘖、乳熟和成熟期,玉米的三叶、七叶和成熟期以及水稻的返青、孕穗、乳熟和成熟期是防灾减灾的关键期。旱灾造成的粮食减产量主要发生在我国的粮食主产区,具体分布在山东、河南、河北、湖南、湖北、江西、江苏、安徽、浙江、广东等省。因此要加强干旱受灾期的田间管理,及时做好灌溉工作,尽可能减少灾害造成的粮食损失。

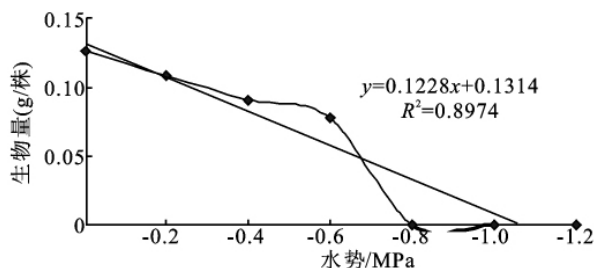


图 7 湿地松幼苗生物量

3 结论

(1)水分胁迫抑制湿地松种子萌发,且抑制程度随着 PEG-6000 溶液的浓度升高而增加,其耐旱临界值是 -0.68 MPa ,耐旱极限值是 -1.14 MPa 。

(2)水分胁迫对湿地松萌发初期影响较大,会推迟其萌发时间,分别为 $1\sim 8 \text{ d}$ 不等。

(3)湿地松幼苗高度和根长会随着水分胁迫的加重而下降,但是幼苗的根系在轻中度水分胁迫下生长较为稳定,从而提高水分的吸收和利用效率,表现出对干旱的适应。

(4)水分胁迫抑制湿地松幼苗的生物量积累,在 -0.8 MPa 时湿地松进入浅度休眠状态来适应极度干旱环境,线性回归方程预测在 -1.07 MPa 下湿地松的生物量降为 0。

因此湿地松种子萌发阶段具有一定的抗旱性,是一种适合作为沙化土地生态系统重建的先锋植物。

参考文献:

[1] 孙景宽,张文辉,张洁明,等. 种子萌发期 4 种植物对干旱胁迫的响应及其抗旱性评价研究[J]. 西北植物学报, 2006,26(9):1811-1818.

(上接第 187 页)

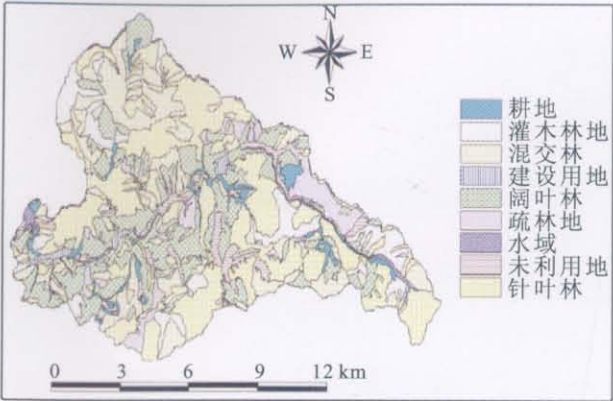
另外,需要说明的是在前人分析研究的基础上,本文首次尝试根据各省的降水量和作物生育期的敏感指数来计算粮食减产量,但由于没有考虑温度、光照等自然条件对粮食作物产量的影响,因此计算出的粮食减产量存在一定的偏差,希望在以后的研究中进行深入的分析。

参考文献:

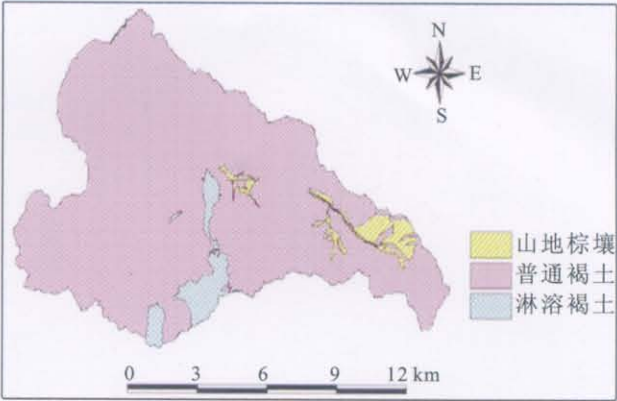
[1] 陈国平. 夏玉米的栽培[M]. 北京:农业出版社,1994.
[2] 张养才,何维勋,李世奎. 中国农业气象灾害概论[M]. 北京:气象出版社,1991.

[2] 张勇,薛林贵,高天鹏,等. 荒漠植物种子萌发研究进展[J]. 中国沙漠,2005,25(1):106-112.
[3] 张太平,任海,彭少麟,等. 湿地松的生态生物学特征[J]. 生态科学,1999,18(2):8-12.
[4] 何兴东. 亚热带沙地湿地松造林的初步研究:以江西省南昌市厚田和岗上地区为例[J]. 中国沙漠,1993,13(1):57-63.
[5] 曾小平,赵平,彭少麟,等. 三种松树的生理生态学特性研究[J]. 应用生态学报,1999,10(3):275-278.
[6] 张欢,束庆龙,孙倩,等. 安徽农业大学实验林场湿地松枯死原因的分析[J]. 安徽农业科学,2006,34(3):470-471.
[7] 谭芳林,林捷,张水松. 沿海沙地湿地松林地土壤养分含量及酶活性研究[J]. 林业科学,2003,39(1):169-173.
[8] 陈建文. 湿地松杉木混交林试验初探[J]. 江西农业大学学报,2001,23(5):167-169.
[9] 周国模,金崇华,章伟成. 马尾松、湿地松立体经营的试验研究[J]. 自然资源学报,1998,13(3):279-281.
[10] 花晓梅,姜春前,刘国龙. 我国南方松外生菌根资源调查[J]. 南京林业大学学报,1995,19(3):29-36.
[11] 贾慧君,郑槐明,李江南,等. 稳态营养与 Pt 菌根化在湿地松育苗中的应用[J]. 林业科学,2004,40(1):41-46.
[12] 黄麟,叶建仁. 保水剂对干旱胁迫下湿地松种子出苗的影响[J]. 江西农业大学学报,2007,29(3):404-408.
[13] Burlyn E M, Merrill R K. The Osmotic Potential of Polyethylene Glycol 6000[J]. Plant Physiol,1973,51:914-916.
[14] 马小卫,郭春会,罗梦. 核壳、盐和水分胁迫对长柄扁桃种子萌发的影响[J]. 西北林学院学报,2006,21(4):69-72.
[15] 宋凤斌,戴俊英. 玉米茎叶和根系的生长对干旱胁迫的反应和适应性[J]. 干旱区研究,2005,22(2):256-258.
[16] 卢连荣,郎南军,郑科. 植物抗旱性研究进展及发展趋势[J]. 2008,36(7):2652-2654.

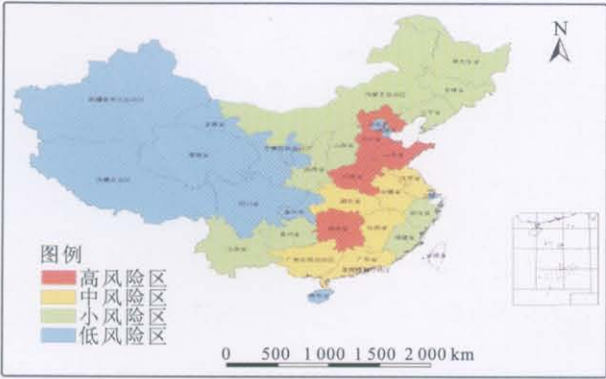
[3] 苏广达. 作物学[M]. 广东:高等教育出版社,2000.
[4] 中华人民共和国国家标准 GB/T20481-2006,气象干旱等级[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
[5] 李云辉,贺一梅,杨子生. 云南省金沙江流域因灾减产粮食量分析[J]. 山地学报,2002,20(S1):43-48.
[6] 贺一梅. 云南省 1952-2006 年因灾减产粮食量研究[J]. 云南财经学院学报:社会科学版,2007,22(6):110-113.
[7] 雷治平,刘引鸽,李录堂. 陕西农业干旱灾害分析评估[J]. 陕西气象,2006(1):27-30.
[8] 张文宗,赵春雷,康西官,等. 河北省冬小麦旱灾风险评估和区划方法研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):11-15.



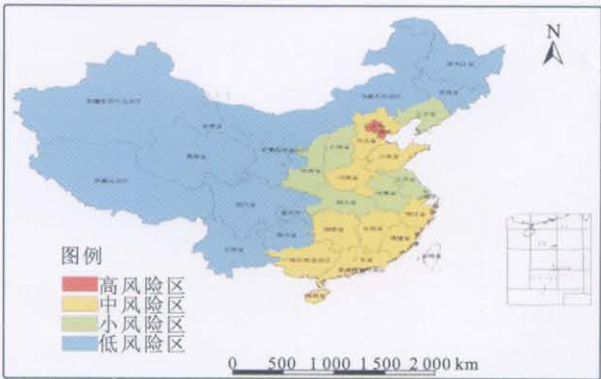
附图5 红门川流域2005年土地利用图



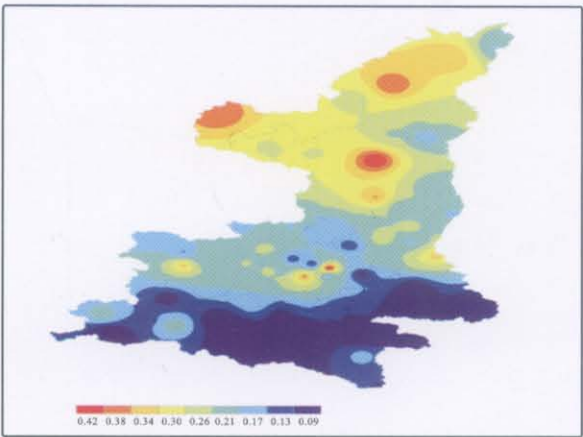
附图6 红门川流域土壤类型图



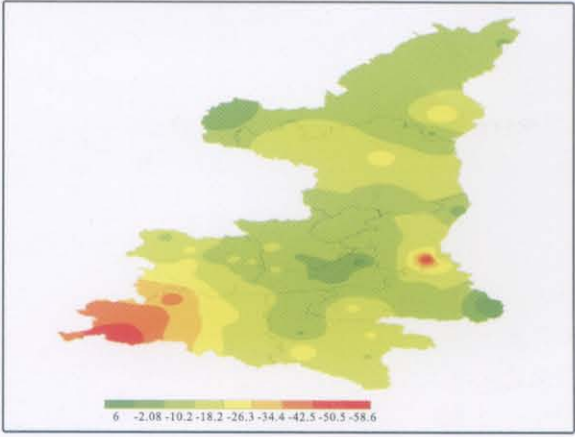
附图7 2020年我国旱灾风险等级图



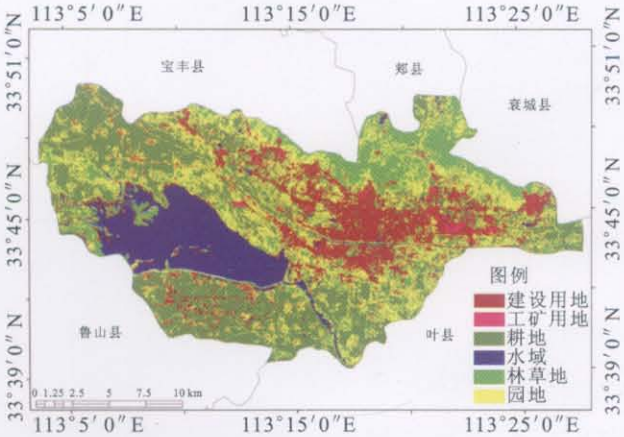
附图8 我国旱灾相对减产风险等级图



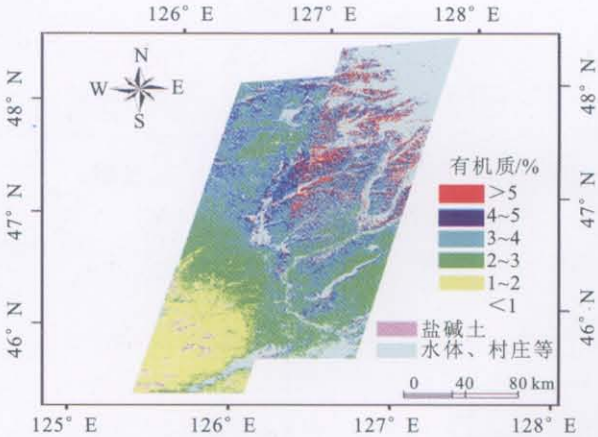
附图9 1961-2008年陕西省气温线性趋势空间分布



附图10 1960-2008年陕西省降水线性趋势空间分布



附图11 研究区景观分类图



附图12 土壤有机质含量空间分布图