

文章编号: 1008-2786-(2019)2-230-10

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000417

青海高原干旱时空分异特征及发生风险研究

李红梅^{1,3} 周秉荣^{2,3*}, 申红艳^{1,3}, 肖宏斌^{2,3}

(1. 青海省气候中心, 西宁 810001; 2. 青海省气象科学研究所, 西宁 810001; 3. 青海省防灾减灾重点实验室, 西宁 810001)

摘 要: 青海省干旱灾害具有发生频繁、影响范围大、持续时间长的特点,严重影响本省农牧业生产,对其发生、分布及出现风险进行研究,成果对降低农业生产风险、水利工程布局建设有很好的参考作用。本文通过修正 Penman 公式中辐射计算模型,定义青海省干燥度干旱指标,将干旱划分为重旱、中旱、轻旱、无旱四级,对青海省 1960—2010 年的干旱年际变化趋势及空间分布特征进行分析。构造月干旱发生风险指数,以 5 月份为例对青海省月干旱发生风险进行了评估。主要结论如下:(1)1961—2010 年,青海省年干旱程度以重旱与中旱为主,50 年来重旱次数呈现极显著减少趋势;无旱次数呈显著的增加趋势;轻旱与中旱次数无明显变化趋势。冬季干旱以重旱为主;春季重旱减弱,轻旱增加;夏季重旱显著减少,无旱次数显著增加;秋季重旱趋稳。(2)柴达木盆地为重旱高发区;青海省东南部久治、河南、班玛等地为无旱或轻旱主要影响区;祁连山区、东部农业区及青南称多、玉树等地受轻、中旱影响较大。(3)5 月份,重旱在三江源的东南部、祁连山区、环青海湖区、东部农业区出现可能性低;中旱高风险区位于柴达木的大柴旦、德令哈、乌兰、都兰及小唐古拉山、治多区域;轻旱高风险区域包括天峻、祁连、环湖区域大部分、东部农业区大部分地区及三江源的杂多、玉树、兴海等地。

关键词: 干旱;青海;时空分异;风险

中图分类号: P49

文献标志码: A

干旱是世界上绝大部分国家和地区最常见的自然灾害,是指由水分的收支不平衡而形成的缺水现象。全球有 45% 以上的土地受干旱灾害威胁^[1],干旱灾害每年给世界造成的经济损失逾数千亿美元。历史上,干旱灾害曾给人类造成了巨大危害。我国气象灾害中的 50% 为干旱灾害,干旱灾害在所有气象灾害中的影响面最广,最为严重^[2]。旱灾对农业的影响最突出,我国每年因旱粮食损失量高达 30 亿 kg, 占有自然灾害损失总量的 60%。干旱灾害不仅造成农业生产的大幅度减产,影响粮食安全,与此同时,人类的生存环境、生态环境和经济发展环境受

干旱的影响也较为严重,我国贫困县的分布和旱灾的分布基本相同^[3]。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告指出^[4],近百年来地球正经历以全球变暖为特征的显著变化,随着全球温室效应的加剧,我国旱灾发生频率有逐渐增加的趋势^[5],并且干旱灾害及其风险形成过程也表现出一些新的特征^[6-8]。许多地区发生的特大干旱不仅持续时间长而且影响范围广,导致经济损失更为严重,人类的生存环境和生态环境进一步恶化。青海省地处内陆腹地、青藏高原东北部,大部分地区处于干旱、半干旱带,干旱灾害具有发生频繁、影响范围较

收稿日期 (Received date): 2014-03-23; **改回日期** (Accepted date): 2019-05-16

基金项目 (Foundation item): 青海省科技成果转化项目:青海省重大气象灾害智能格点化防控技术提升与示范(2018-SF-142)。[Scientific and Technological Achievements Transformation Project of Qinghai Province(2018-SF-142)]

作者简介 (Biography): 李红梅(1976-),女,山东曹县人,高级工程师,主要研究方向:青藏高原气候变化与气象灾害。[LI Hongmei(1976-, female, born in Caoxian, Shandong province, senior engineer, research on climate change & meteorology disaster in Tibetan Plateau) E-mail: 88104686@qq.com]

*** 通讯作者** (Corresponding author): 周秉荣(1974-),男,青海湟中人,正高级工程师,主要研究方向:高原气象灾害与生态。[ZHOU Bingrong, born in Huangzhong, Qinghai province, professor, research on meteorology disaster & ecology in Tibetan Plateau] E-mail: zbr0515@foxmail.com

大、持续时间长的特点,其对农牧业的影响较大^[9]。据史料记载,青海地区从公元1世纪至1949年,共发生过53次大旱,中小旱灾不计其数。公元1926—1928年西宁及海东地区大旱,灾后哀鸿遍野,民不聊生^[10]。随着经济社会的发展,干旱对农牧业生产以外的其他社会经济方面造成的影响日益凸现,干旱缺水造成的灾害损失也越来越严重。

1959—2003年青海省的干旱以轻度干旱为主,秋季干旱化倾向最为严重^[11];青海省东部农业区春季和春夏连季是季节性干旱的主要发生季节;青海省非干旱区(柴达木盆地除外)、东部农业区夏季发生干旱的年几率为31.3%、37.5%,东部农业区发生干旱的几率较大,中轻度干旱发生几率大于特大、重度干旱^[13]。以上是部分青海省干旱的研究结果,可以看出,由于考虑的时间尺度、空间范围以及干旱指标的不同,研究结果迥然不同,对青海省干旱的时空分异特征很难产生清晰的认识。应用长时间序列的气象数据,选用统一的指标体系,对青海全省范围干旱进行系统分析,将有助于客观认识该区域干旱的发生、发展规律及空间分布特征。同时,对于青海省而言,东部农业区的春小麦,南部的牧草是干旱灾害的主要承灾体^[14-15],基于月尺度上的干旱风险分析,尤其是春小麦、牧草生长发育关键期5月份的干

旱发生风险研究,对于青海省东部农区的农业生产和青海南部的牧业生产是有重要的科学指导意义。

本文通过修正Penman公式中辐射计算模型,定义青海省干燥度干旱指标,将干旱划分为重旱、中旱、轻旱和无旱四级,以月为时间单位,对青海省1960—2010年的干旱年际变化趋势和空间分布特征进行分析,并构造月干旱发生风险指数,对青海省干旱发生的风险进行了分析,其结果可为农作物种植结构调整、生产管理及水利工程规划提供参考。

1 资料和方法

1.1 资料

气象资料来源于青海省气象信息中心。包括青海省50个气象台站1961—2010年月平均气温(℃)、月平均最高气温(℃)、月平均最低气温(℃)、月降水(mm)、月平均相对湿度(%)、月日照百分率(%)、月平均风速(m/s)等要素资料,气象台站海拔、经纬度资料。高程(1:25万)资料来源于青海省气象科学研究所。其中,50个站点中,含茫崖等16个基准站,德令哈等19个基本站,天峻等15个一般站,建站年代大部分在上世纪五、六十年代。站点的分布参见图1。

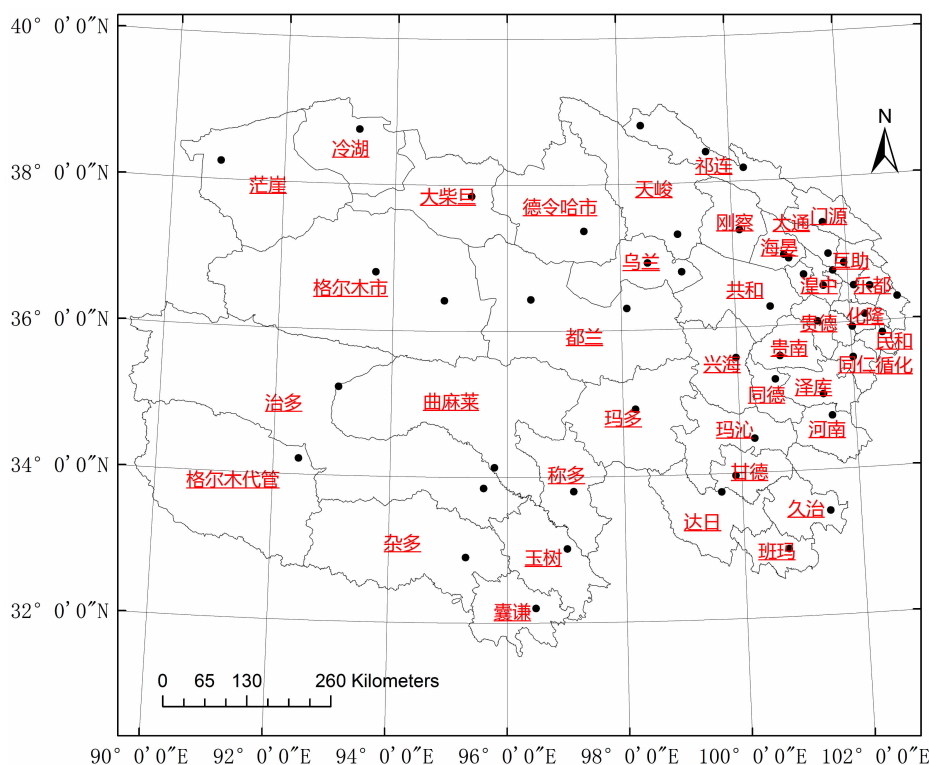


图1 研究区台站分布图

Fig. 1 Station distribution map of the study area

1.2 方法

本文利用干燥度指数 (Aridity Index) 来表征干旱程度,其定义为潜在蒸散与降水的比值。

$$AI = ET_0/P \quad (1)$$

ET_0 为参考作物蒸散 (mm), P 为月降水 (mm)。潜在蒸散是指在一定气象条件下水分供应不受限制时,陆面可能达到的最大蒸发量^[16]。利用潜在蒸散确定的干燥度指数与其他干燥度指数相比,包含了气温、辐射和风速等因素对水分的影响,物理意义明确,能更好地表达水分的耗散程度^[17-18]。应用《青海省气象灾害地方标准》土壤水分干旱指标,进行回归分析,结合干燥度在气候类型划分中的标准,确定青海气象干旱干燥度指标。

表 1 青海省干燥度干旱指标

Tab. 1 Drought index of aridity in Qinghai province

干旱类型	干燥度指标
无旱	< 1.70
轻旱	1.70 ~ 3.00
中旱	3.00 ~ 8.00
重旱	> 8.00

ET_0 计算采用了 FAO 推荐的 Penman-Monteith 模型,计算公式如下,该式为计算标准日潜在蒸散量公式,若需要月潜在蒸散量,则乘以月天数。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma(\frac{900}{t + 273})u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

式中, R_n 为净辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), G 为土壤热通量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), γ 为干湿常数 ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), Δ 为饱和水汽压曲线斜率 ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), t 为平均温度 ($^\circ\text{C}$), U_2 为 2 m 高处的风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), e_a 为实际水汽压 (kPa), e_s 为平均饱和水汽压 (kPa)^[19]。

青藏高原地形特殊,利用 Penman-Monteith 模型中的辐射计算公式,发现其计算误差较大,对其进行改进。

$$R_{ns} = (1 - \alpha)(a + b \frac{n}{N})R_a t_b \quad (3)$$

该模型中对到达地面的总辐射 R_a 进行了 t_b 透射率的订正,利用青海实测辐射数据进行拟合得到各月 a 、 b 系数,提高了辐射的估算精度^[20]。

$$t_b = 0.56(e^{0.56M_h} + e^{-0.095M_h}) \quad (4)$$

$$M_h = M_0 \cdot P_h/P_0 \quad (5)$$

$$M_0 = [1229 + (614\sin H)^2]^{0.5} - 614\sin H \quad (6)$$

$$P_h/P_0 = ((288 - 0.0065h)/288)^{5.256} \quad (7)$$

式(4) ~ (7)中 M_h 表示海拔高度为 h 的大气量; M_0 表示海平面上的大气量; P_h/P_0 表示大气压修正系数, h 表示海拔高度 (m)。

季节的划分,采用气象季节定义,将一年划分春夏秋冬四季,即 1、2 月和上年 12 月为冬季;3—5 月为春季;6—8 月为夏季;9—11 月为秋季^[21-22]。

2 结果与分析

2.1 干旱发生趋势

从上世纪 60 年代到本世纪 2010 年,按照干燥度干旱指标,青海省全省 (50 个站) 出现重旱、中旱、轻旱和无旱,分别是 13 661、5899、4275、6165 月站次,分别占总月站次的 45.5%、19.7%、14.3% 和 20.5%,中旱以上达到 65.2%,表明青海省干旱程度以重、中旱为主。50 年来重旱次数呈现极显著减少趋势,气候倾向率为 10.7 月站次/10 a。同时,无旱次数表现为显著的增加趋势,气候倾向率是 5.9 月站次/10 a。轻旱和中旱无明显变化趋势 (图 2)。冬季,青海省各级干旱出现次数无明显趋势性变化,1989 年出现 197 月站次的重旱低值,本年度为近 50 年冬季干旱出现月站次数最低年份,同时该年度为无旱月站次最高年份,其值为 199 月站次。冬季干旱总体特征表现为重旱出现次数远远高于其他级别干旱,出现月站次占有所有级别干旱总月站次百分比为 79.5%,无旱百分比仅为 0.4%。冬季青海省全省水分基本是入不敷出,干旱特征是以重旱为主。春季,重旱表现出极显著减少趋势 ($\alpha < 0.01$),气候倾向率为 4.01 月站次/10 a,轻旱则表现出显著的增加趋势 ($\alpha < 0.05$),气候倾向率为 2.04 月站次/10 a,表明春季重旱在减弱,但轻旱呈增加趋势。夏季,无旱次数占总次数的 49.5%,以无旱为主,同时无旱次数呈显著增加趋势,气候倾向率 3.70 月站次/10a ($\alpha < 0.05$),而夏季重旱以 4.00 月站次/10 a 为气候倾向率呈显著减少趋势 ($\alpha < 0.01$),气候倾向率为 3.70 月站次/10 a,总体来看青海省夏季干旱在减弱。秋季,重、中、轻和无干旱出现百分比分别为 43.1%、19.1%、14.9% 和 22.8%,除重旱外,其余三种级别干旱出现几率较为接近。重旱在上世纪出现次数较为离散,进入本世纪后,逐渐稳定在 60 月站次附近,秋季重旱呈现次数趋稳的态势 (图 3)。

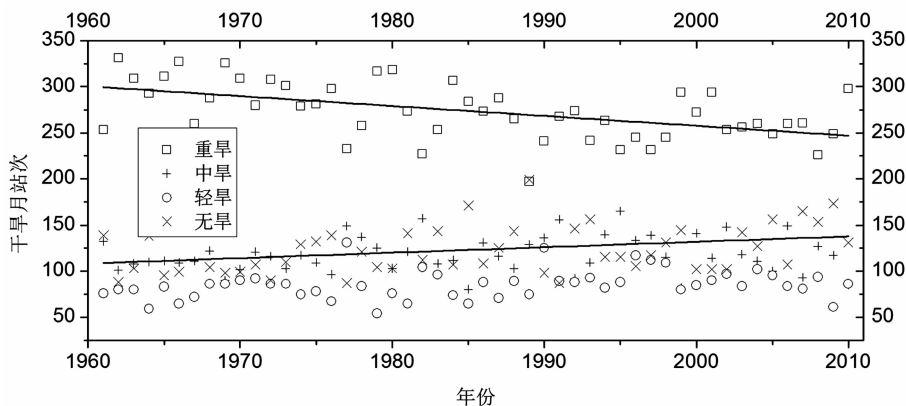


图2 1961—2010年青海省各级干旱年次数

Fig. 2 Year times of drought of all grades during 1961—2010 in Qinghai

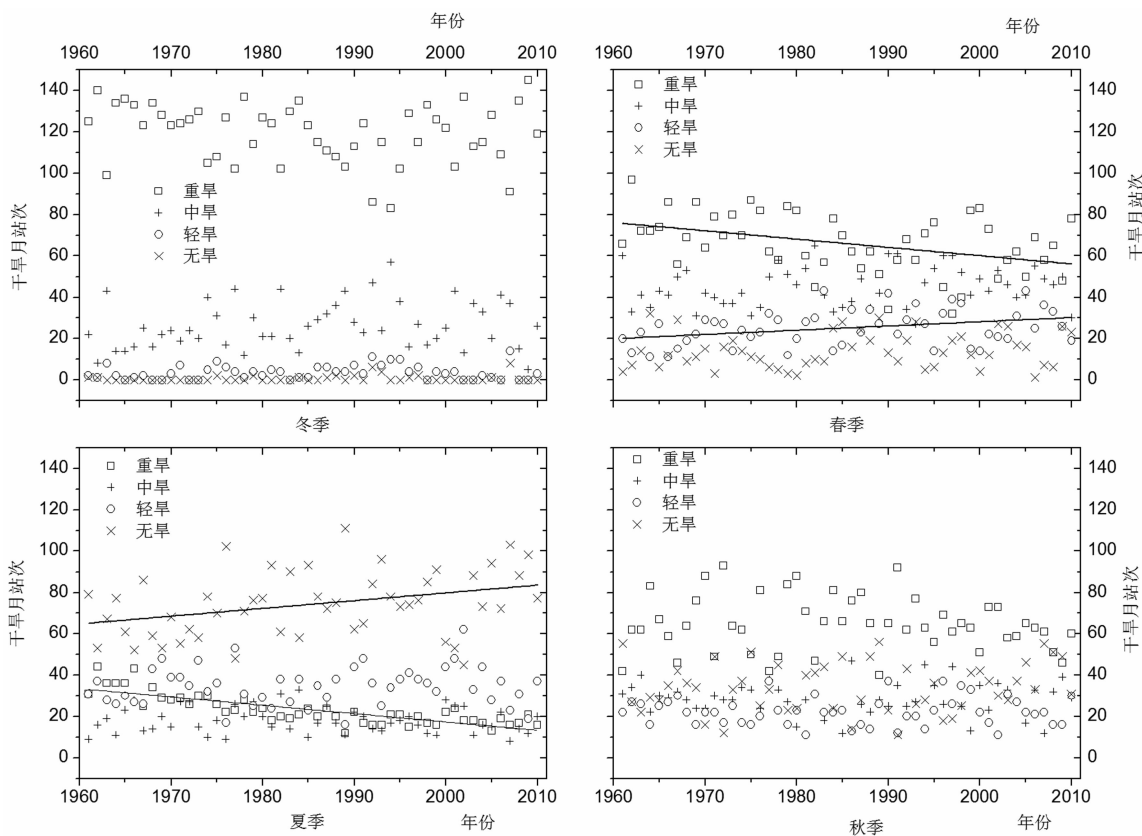


图3 1961—2010年青海省各级干旱四季发生次数(单位:月次)

Fig. 3 Season times of drought of all grades during 1961—2010 in Qinghai (Unit: month)

2.2 干旱空间分布特征

图4所示为青海省各级干旱空间分布情况。柴达木盆地是重旱高发区,从1961—2010年50年600个月中,该区域重旱发生月数在535月次以上。重旱月次数较少的区域位于青南地区的班玛、达日、久治、称多、河南及祁连山区的门源,东部农业区的大通、湟中等区域,50年重旱发生月次数低于154月

次(图4(a))。都兰为中旱风险高中心,玛多、德令哈为中旱较高风险区,50年中发生次数在150月次以上。柴达木盆地则为中旱发生低值区,低于26月次(图4(b))。轻旱的分布中心主要在青海省东部农业区、环青海湖区、祁连山区以及青海南部的玛多、称多、达日和玉树等区域,发生月次数在75~134月次之间,柴达木盆地同样为低值区(图4

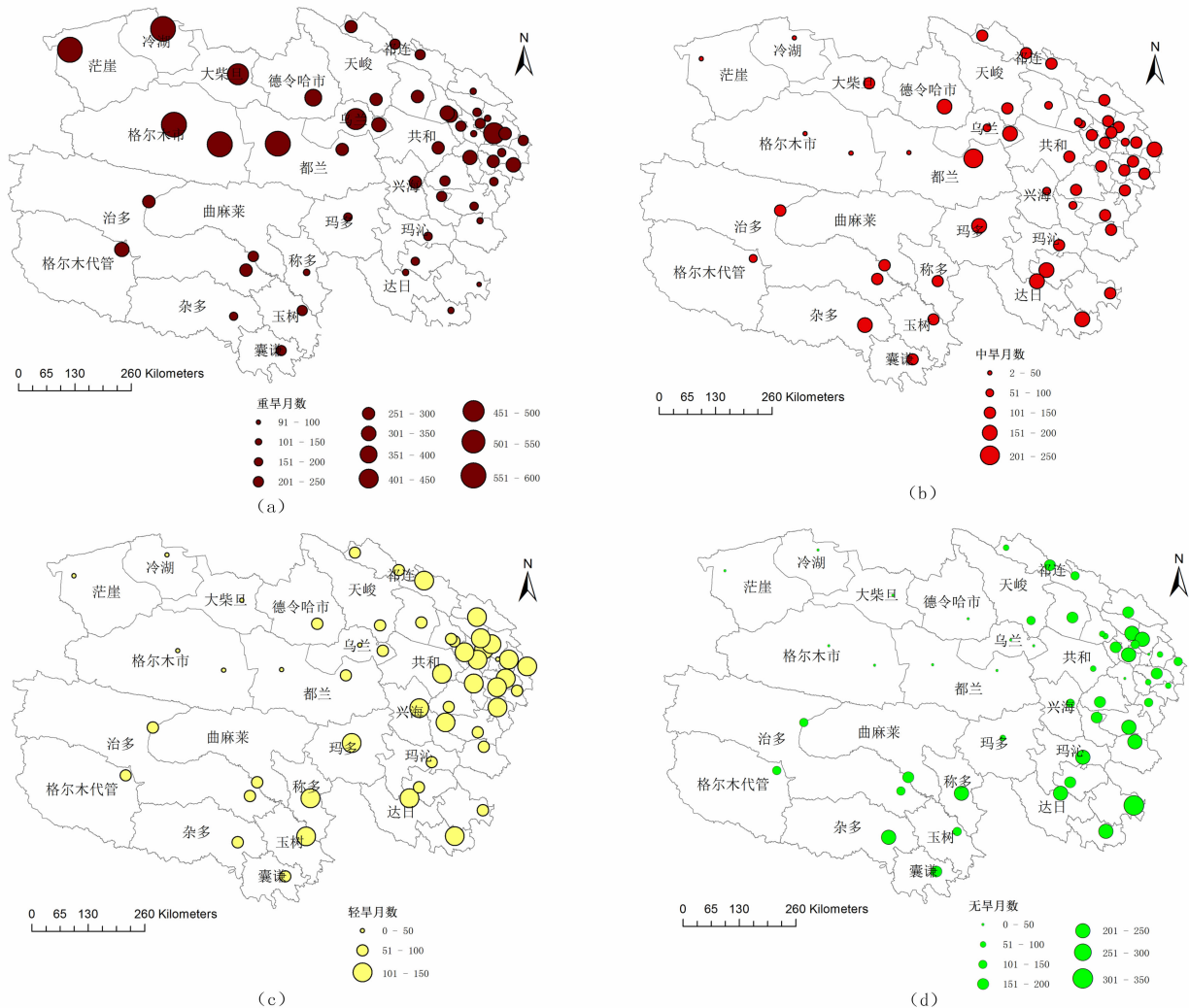


图4 1961—2010年青海省各级干旱月次数空间分布(单位:月次)

重旱(a),中旱(b),轻旱(c),无旱(d)

Fig. 4 Times distribution of droughts during 1961—2010 in Qinghai(Unit: month)
severe drought(a); medium drought(b); light drought(c); no drought(d)

(c))。无旱高值区是青海南部的河南、久治,在269~301月次之间,次高值区有东部农业区的大通、互助、湟中及三江源东南部区域及祁连山区(图4(d))。从以上分析可以看出,由于青海复杂的地形,造就了区域各级干旱分布的不一致性,柴达木盆地接近亚洲大陆腹地中心,南部为青藏高原,北部山体阻隔,年降水远远小于蒸散,属于全年度重旱区。青海省东南部地区由于青藏高原南部水汽的影响,降水较多,基本能满足蒸散的需求,表现为无旱或轻旱区。全省其余地区受重旱影响较小,但降水又达不到潜在蒸散,因此这些区域,受重旱的影响较小,而受轻旱和中旱的影响较大。

将青海省划分为柴达木盆地、祁连山区、环青海

湖区、东部农业区、三江源区^[23],分析各个区在四季中干旱呈现的特征(表2)。冬季,五区均表现出重旱比重最高的特征,环青海湖区重旱甚至要高于柴达木盆地,其百分比达到90.8%;而三江源地区的中旱、轻旱和无旱百分比均在首位,且冬季较其他区域水分条件较好,干旱程度低于其他地区,可能出现水分过多的现象。春季,柴达木盆地以重旱为主外,中旱和轻旱百分比最高的是祁连山区,无旱百分比最高为东部农业区和三江源区。较冬季而言,轻旱和无旱比重上升,尤其是东部农业区和三江源区。夏季,柴达木重、中旱百分比仍处首位,祁连山区、环湖区、东部农业区轻旱百分比较为接近,三江源无旱百分比最高。秋季,柴达木盆地仍以重旱为主,其余

表 2 青海省各生态功能区各季节干旱百分比
Tab.2 Seasonal drought distribution of ecology regions in Qinghai

	冬季				春季			
	重旱/%	中旱/%	轻旱/%	无旱/%	重旱/%	中旱/%	轻旱/%	无旱/%
柴达木盆地	88.10	10.50	1.10	0.20	84.80	11.50	2.90	0.60
祁连山区	83.00	15.70	1.20	0.20	28.70	39.70	22.00	9.70
环青海湖区	90.80	8.80	0.30	0.00	48.50	31.30	14.70	5.50
东部农业区	83.80	14.10	1.90	0.20	33.70	33.90	19.80	12.60
三江源区	69.00	25.90	4.00	0.90	31.50	34.70	21.20	12.70

	夏季				秋季			
	重旱/%	中旱/%	轻旱/%	无旱/%	重旱/%	中旱/%	轻旱/%	无旱/%
柴达木盆地	63.10	23.50	9.80	3.40	84.70	11.60	3.20	0.50
祁连山区	0.00	5.50	30.20	64.30	35.20	27.50	16.30	21.00
环青海湖区	7.30	8.80	32.70	51.20	44.80	20.70	16.80	17.70
青海东部农业区	5.20	15.90	31.30	47.60	32.20	20.60	20.50	26.70
三江源区	2.40	5.30	20.70	71.60	30.10	20.00	16.60	33.30

四区中旱、轻旱和无旱三级干旱分布较为均匀。总体而言,青海省五个区四季干旱特征表现为:柴达木盆地四季重旱;祁连山区冬季重旱、春季中旱、夏季无旱和轻旱为主;环青海湖区夏季轻旱、无旱,其余三季以中、重旱为主;东部农业区冬季重旱,春季轻、中、重三级干旱分布均匀,夏季以无旱、轻旱为主,秋季特征不明显;三江源区冬季重、中旱,春、秋季特征不明显,夏季以无旱、轻旱为主。

2.3 干旱发生风险分析

干旱发生风险研究有别于干旱风险区划,通常干旱风险区划需要考虑致灾因子的危险性、承灾体的暴露性和脆弱性多个要素,主要是根据作物减产或者历史干旱灾情统计资料确定干旱发生的强度或者频率,以及干旱对某种作物的影响程度即承灾体的脆弱性。干旱风险研究是对不同等级干旱某段时间内出现的几率、发生的可能程度进行分析,给出定量的结论。具体应用于某种作物干旱风险区划应用时,可根据本作物的具体发育期、干旱对作物的影响以及该类作物对干旱的承受能力等要素进行综合分析。构建青海省月干旱发生风险指数模型:

$$DI_{ij} = \frac{f_{ij}}{CV_{AI}} = \frac{f_{ij} \cdot S_{AI}}{\bar{X}_{AI}} \quad (8)$$

其中, CV 是干燥度指数的变异系数,定义为干燥度指数标准偏差(S)和均值(\bar{X})的比值,表示该级干旱出现的不稳定性。 f 为干旱出现频数。 i 为月份, j 表示重、中、轻和无四级干旱。 CV 指数越高表示出

现某级干旱的风险越大,可能性越高,反之亦然。因篇幅问题,本研究以青海省 5 月份干旱风险指数分布为例分析青海省该月各级干旱出现的风险,之所以选择该月,是因为 5 月份青海省大部分牧区牧草开始返青,农业区农作物正处于生长初期,是农牧业生产的关键月份之一。俗称的“掐脖子旱”即指发生在本月的干旱,对青海省农牧业生产影响较大。

图 5 是青海省 5 月份干旱发生指数空间分布,可以看出重旱在柴达木盆地冷湖、茫崖及都兰地区在 5 月份出现的可能性最高,而在三江源的东南部、祁连山区、环青海湖区、东部农业区出现可能性低(图 5(a))。中旱高风险区位于柴达木的大柴旦、德令哈、乌兰、都兰及三江源的小唐古拉山(格尔木代管)、治多区域,而柴达木盆地的冷湖和格尔木、三江源东南部及大通、门源为风险低值区(图 5(b))。轻旱高风险区域较大,包括天峻、祁连、环湖区域大部分、东部农业区大部分地区及三江源的杂多、玉树、兴海等地,低风险区在柴达木盆地、三江源久治,但这两部分地区风险的意义有所不同,柴达木盆地因重、中旱的高风险性而降低了轻旱的风险,久治是由于降水丰富,降低了轻旱出现的风险(图 5(c))。无旱出现风险最低的是三江源东南的久治、河南、班玛、泽库及青海东部区的大通、互助、湟中、门源等地,即无旱的概率较低,而东部由于 5 月份降水的增多,大大降低了干旱出现的风险,提高了无旱风险指数(图 5(d))。总体分析,5 月份,重旱出现

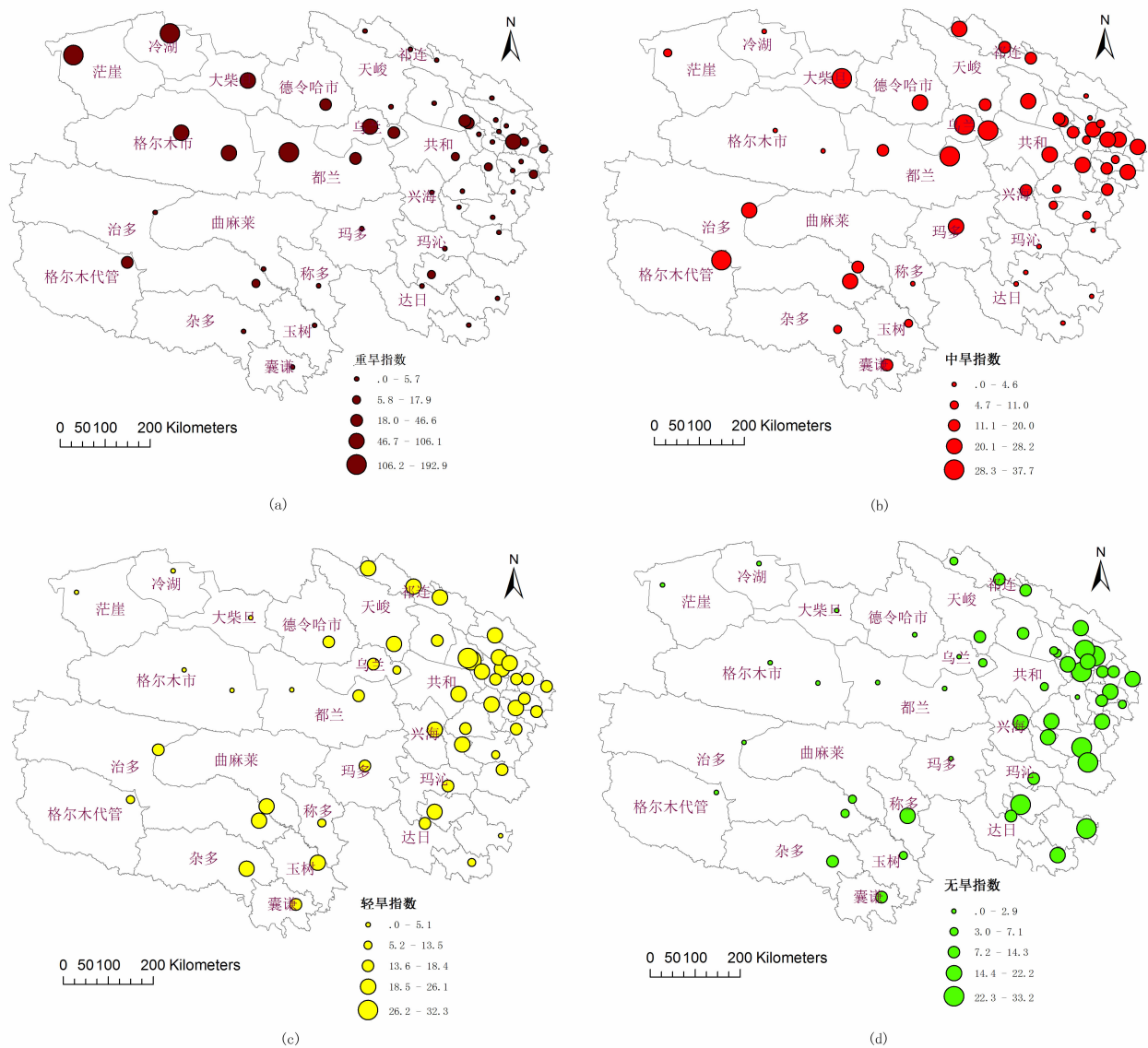


图5 青海省5月干旱发生风险空间分布

重旱(a),中旱(b),轻旱(c),无旱(d)

Fig.5 Risk distribution of May drought in Qinghai

severe drought(a); medium drought(b); light drought(c); no drought(d)

的高风险区是柴达木盆地,轻旱高风险区则多分布在青海省东部农牧业区,同时,轻旱是当月对农牧业生产影响最大的干旱级别。

3 结论与讨论

本研究修订了 Penman 公式中辐射计算模型,应用干燥度指数对青海省干旱进行了分级,定义了青海省各级干旱发生风险指数,分析了青海省干旱分布的时空分异特征,以5月份各级干旱在青海省出现的风险指数空间分布为例,分析了青海省在该

月份各级干旱出现的风险性,主要结论如下:

(1)从上世纪60年代到本世纪2010年,青海省年干旱程度以重、中旱为主。50年来重旱次数呈现极显著减少趋势,气候倾向率为10.7月站次/10a。无旱次数表现为显著的增加趋势,气候倾向率是5.9月站次/10a,轻旱和中旱无明显变化趋势。青海省冬季干旱特征是以重旱为主,春季重度干旱在减弱,但轻旱呈增加趋势,夏季重旱呈显著减少趋势,无旱次数显著增加,夏季干旱在减弱,秋季重旱出现次数趋稳的态势。

(2)青海省干旱分布的空间格局,柴达木盆地是重旱高发区,青海东南的大部分地区,以及门源、大通和湟中等区域为重旱低发区;中旱以都兰、玛多、德令哈为较高发生区,轻旱的分布中心主要在青海省东部农业区、环青海湖区、祁连山区以及青海南部区域。柴达木盆地四季重旱;祁连山区以春季中旱、夏季无旱和轻旱为主;环青海湖区夏季轻旱、无旱,其余三季以中、重旱为主;东部农业区冬季重旱,夏季以无旱、轻旱为主;三江源区冬季重、中旱,夏季以无旱、轻旱为主。

(3)5月份,重旱在柴达木盆地冷湖、茫崖及都兰地区出现的可能性最高,三江源的东南部、祁连山区、环青海湖区、东部农业区出现可能性低;柴达木盆地的冷湖和格尔木、三江源东南部及大通、门源出现中旱风险低,高风险区位于柴达木的大柴旦、德令哈、乌兰、都兰及三江源的小唐古拉山、治多区域;轻旱高风险区域包括天峻、祁连、环湖区域大部分、东部农业区大部分地区及三江源的杂多、玉树、兴海等地,低风险区在柴达木盆地和三江源久治;无旱出现风险最高的是三江源东南的久治、河南、班玛、泽库及青海东部区的大通、互助、湟中、门源等地。

以气象干旱为研究对象,本研究借鉴了气候类型的干湿划分标准与青海省地方标准,应用干燥度确定了各级干旱指标阈值,与采用实际灾情确定的旱情结果在干旱程度上有所差别。两种方法各有利弊,应用实际灾情确定的干旱指标,灾情结果易接受,但确定过程主观因素过多,而干燥度指标,确定过程较为客观,但干旱结果偏重。确定干旱等级、风险指数空间分布时,用站点值代替一定范围内的干旱情况^[24],未考虑地形、土壤类型等因素的影响,对空间干旱的刻画存在误差,较好的解决办法是对气象要素空间插值方法进行研究,以减少插值时的误差^[25],或者直接应用格点数据^[26],将在下一步工作中深入研究。另外,土壤湿度是表征农业干旱的客观指标,但由于缺乏长时间大范围尺度的观测数据,用土壤湿度进行旱情分析也具有局限性^[27]。因此,如何综合应用分析农业干旱、实际灾情、干燥度等干旱指标,使干旱指标的确定,既能客观化,又能反应实际灾情,尚需进一步进行研究。

参考文献(References)

- [1] 李克让,尹思明,沙万英. 中国现代干旱灾害的时空特征[J]. 地理研究,1996,15(3):6-15. [LI Kerang, YIN Siming, SHA Wanying. Characters of time-space of recent drought in China [J]. Geographical Research, 1996, 15(3): 6-15]
- [2] 于琪洋. 对我国干旱及旱灾问题的思考[J]. 中国水利,2003(7):67-69. [YU Qiyang. Reflections on drought and drought in China [J]. China Water Resources, 2003(7): 67-69]
- [3] 姚玉璧,张存杰,邓振镛,等. 气象、农业干旱指标综述[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(1):185-189. [YAO Yubi, ZHANG Cunjie, DENG Zhenyong, et al. Overview of meteorological and agricultural drought indices [J]. 2007,25(1): 185-189]
- [4] IPCC Climate Change. The Physical Science Basis [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007
- [5] 孙鸿烈. 我国水土流失问题及防治对策[J]. 中国水利,2011(6):16-18. [SUN Honglie. Soil and water loss in China and its counter measures [J]. China Water Resources, 2011(6): 16-18]
- [6] FEYEN L, RUTGER D. Impact of global warming on stream flow drought in Europe [J]. Journal of Geophysical Research, 2009, 114(17): 1-17.
- [7] WILHITE D. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions [M]. London & New York: Routledge, 2000: 3-18.
- [8] BOHLE H, DOWNING T, WATTS M, et al. Climate change and social vulnerability [J]. Global Environmental Change, 1994, 4(1): 37-48.
- [9] 秦大河,丁一汇,王绍武,等. 中国西部生态环境变化与对策建议[J]. 地球科学进展,2002,17(3):314-319. [QIN Dahe, DING Yihui, WANG Shaowu, et al. Ecological and environmental change in west China and its response strategy [J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(3): 314-319]
- [10] 杨芳,刘露. 青海东部干旱发生规律及其变化趋势[J]. 干旱区研究,2012,29(2):284-288. [YANG Fang, LIU Lu. Study on occurrence pattern and trend of drought in east Qinghai province [J]. Arid Zone Research, 2012, 29(2): 284-288]
- [11] 史津梅,唐红玉,许维俊,等. 1959—2003年青海省干湿变化分析[J]. 气候变化研究进展,2007,3(6):356-361. [SHI Jinmei, TANG Hongyu, XU Weijun, et al. Dryness/Wetness change in Qinghai province during 1959-2003 [J]. Advances in Climate Change Research, 2007, 3(6): 356-361]
- [12] 赵璐. 青海省东部农业区农业气象干旱时空变化研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010:3-5. [ZHAO Lu. Study on temporal and spatial variation of agricultural meteorology arid in eastern agricultural areas of Qinghai [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010: 3-5]
- [13] 戴升,李林,刘彩红,等. 青海省夏季干旱特征及其预测模型研究[J]. 冰川冻土,2012,34(6):1433-1440. [DAI Sheng, LI

- Lin, LIU Caihong, et al. Characteristics and prediction model of summer drought in Qinghai province [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(6): 1433 – 1440]
- [14] 刘义花, 李林, 苏建军, 等. 青海省春小麦干旱灾害风险评估与区划[J]. *冰川冻土*, 2012, **34**(6): 1416 – 1423. [LIU Yihua, LI Lin, SU Jianjun, et al. Risk assessment and division of drought disaster on spring wheat in Qinghai province [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(6): 1416 – 1423]
- [15] 刘义花, 李林, 颜亮东, 等. 基于灾损评估的青海省牧草干旱风险区划研究[J]. *冰川冻土*, 2013, **35**(3): 681 – 686. [LIU Yihua, LI Lin, YAN Liangdong, et al. Risk division of pasture drought in Qinghai province based on loss assessment[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, **35**(3): 681 – 686]
- [16] 尹云鹤, 吴绍洪, 郑度, 等. 近 30 年我国干湿状况变化的区域差异[J]. *科学通报*, 2005, **50**(15): 1636 – 1642. [YIN Yunhe, WU Shaohong, ZHENG Du, et al. Regional differences in the changes of dry and wet conditions in China in the past 30 years [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, **50**(15): 1636 – 1642]
- [17] 孟猛, 倪健, 张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. *植物生态学报*, 2004, **28**(6): 853 – 861. [MENG Meng, NI Jian, ZHANG Zhiguo. Aridity index and its applications in geoecological study [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, **28**(6): 853 – 861]
- [18] 高歌, 陈德亮, 任国玉, 等. 1956—2000 年中国潜在蒸散量变化趋势[J]. *地理研究*, 2006, **25**(3): 378 – 387. [GAO Ge, CHEN Deliang, REN Guoyu, et al. Trend of potential evapotranspiration over China during 1956 to 2000 [J]. *Geographical Research*, 2006, **25**(3): 378 – 387]
- [19] 刘钰, 蔡林根. 参照蒸发量的新定义及计算方法对比[J]. *水利学报*, 1997, **6**(4): 27 – 33. [LIU Yu, CAI Ling. Update definition and computation of reference evapotranspiration comparison with former method [J]. *Journal of Water Resources*, 1997, **6**(4): 27 – 33]
- [20] 周秉荣, 李凤霞, 颜亮东, 等. 青海省太阳总辐射估算模型研究[J]. *中国农业气象*, 2011, **32**(4): 495 – 499. [ZHOU Bingrong, LI Fengxia, YAN Liangdong, et al. Research on model of solar radiation estimation in Qing province [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2011, **32**(4): 495 – 499]
- [21] 侯国成, 王秀萍. 大连气候变暖及其对农业的影响[J]. *生态学杂志*, 2009, **28**(5): 933 – 937. [HOU Guocheng, WANG Xiuping. Climate warming and its effects on agricultural production in Dalian [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, **28**(5): 933 – 937]
- [22] 薛峰, 林一骅, 曾庆存. 论大气环流的季节划分与季节突变[J]. *大气科学*, 2002, **26**(3): 307 – 313. [XUE Feng, LIN Yihua, ZENG Qincun. On the seasonal division of atmospheric general circulation and its abrupt change [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2002, **26**(3): 307 – 313]
- [23] 鄢一龙, 唐娜, 王亚华. 如何推进省级主体功能区建设—以青海省为例[J]. *生产力研究*, 2009, **21**(48): 121 – 135. [YAN Yilong, TANG Na, WANG Yahua. How to advance the construction of provincial main function zones: a case study of Qinghai province [J]. *Productivity Studies*, 2009, **21**(48): 121 – 135]
- [24] ZHAI Panmao, ZHANG Xuebin, WAN Hui, et al. Trends in Total Precipitation and Frequency of Daily Precipitation Extremes over China [J]. *Journal of Climate*, 2005, **18**: 1096 – 1108.
- [25] XU Ying, GAO Xuejie, SHEN Yan, et al. A daily temperature dataset over China and its application in validating a RCM simulation [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2009, **26**(4): 763 – 772
- [26] 吴佳, 高学杰. 一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比[J]. *地球物理学报*, 2013, **56**(4): 1102 – 1111. [WU Jia, GAO Xuejie. A gridded daily observation dataset over China region and comparison with the other datasets. *Chinese Journal of Geophysics*. (in Chinese), 2013, **56**(4): 1102 – 1111]
- [27] 孙力, 安刚, 高枫亭, 等. 中国东北地区地表水资源与气候变化关系的研究[J]. *地理科学*, 2004, **24**(1): 42 – 49. [SUN Li, AN Gang, GAO Zongting, et al. Relationship between climate variation and surface water resources in northeast China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, **24**(1): 42 – 49]

Research on Temporal and Spatial Differentiation and Occurrence Risks of Drought in Qinghai, China

LI Hongmei^{1,3}, ZHOU Bingrong^{2,3*}, SHEN Hongyan^{1,3} XIAO Hongbing^{2,3}

(1. Qinghai Climate Centre, Xining 810001, China;

2. Qinghai Institute of Meteorology Science, Xining 810001, China;

3. Key Laboratory for Preventing and Mitigating Disaster of Qinghai Province, Xining 810001, China)

Abstract: The drought disaster of Qinghai province has the characteristics of frequent occurrence, wide impact range and long duration, seriously affecting agricultural and animal husbandry production in native place. The results of occurrence, distribution and risk of drought had a very good reference to reduce the risk of agricultural production and water projects plan. In this paper, the dryness index was defined by a radiation calculation model of the modified Penman formula, and the drought was divided into four levels: severe drought, moderate drought, light drought and no drought. On the basis of this, the interannual variation trend and spatial distribution characteristics of drought of Qinghai province were analyzed from 1960 to 2010. Taking May as an example, the risk of monthly drought risk index was analyzed of Qinghai province in this paper. The main conclusions were as follows: The annual drought degrees of Qinghai province were mainly severe and moderate, and the drought degree showed a weakening trend from 1961 to 2010. In the past 50 years, the numbers of severe drought had decreased significantly. The frequencies of no drought increased significantly. There was no obvious change trend between light drought and moderate drought. Winter drought was characterized by severe drought. In spring, the severe drought decreased and the light drought increased. In summer, the numbers of severe drought decreased and no drought increased significantly. The heavy drought tended to stable in autumn. Severe drought occurred in Qaidam basin area. The areas of Jiuzhi, Henan and Banma in the southeast of Qinghai province were affected the no drought or light drought. Qilian mountain area, the Eastern agricultural region and Chenduo, Yushu in the Southeast of Qinghai province and other areas were affected by light, medium drought. In may, the occur possibility of severe drought was low in the southeast of Three-river Region, Qilian mountain area, Qinghai lake area and the Eastern agricultural area. The middle drought risk areas were located in the Dachaidan, Delingha, Wulan and Dulan of Qaidam basin area and Tanggula mountain and Zhiduo. Light drought mainly occurred the county of Tianjun, Qilian, most parts of Qinghai lake area and the Eastern agricultural area and the area of Zadou, Yushu and Xinghai over the Three-river Region.

Key words: drought; Qinghai province; differences of temporal and spatial; risk