

1961—2010年青藏高原—黄土高原过渡区 可能蒸散率的变化特征

王建兵¹,汪治桂¹,蒋友严²

(1.甘肃省甘南州气象局,甘肃 合作 747000;2.西北区域气候中心,甘肃 兰州 730020)

摘要:利用位于青藏高原—黄土高原过渡区内18个气象站1961—2010年的月平均气温、月降水量等地面气象观测资料,采用Holdridge可能蒸散率(PER)计算方法,对区域内近50a(1961—2010年)地表干燥度的变化趋势进行了分析。发现在区域内存在极湿润区、湿润区、亚湿润区和半干旱区四个不同的气候区,PER在空间分布上有明显的自南向北逐渐上升的特点。区域内极湿润区、湿润区、亚湿润区和半干旱区PER的年际变化趋势分别为 $0.01 \cdot 10a^{-1}$ 、 $0.04 \cdot 10a^{-1}$ 、 $0.06 \cdot 10a^{-1}$ 和 $-0.02 \cdot 10a^{-1}$,从20世纪80~90年代开始,在湿润区、亚湿润区大部分地方出现了明显的暖干化趋势,而在半干旱区有暖湿化的趋势。区域东部PER升高的主要原因是由于降水量的减少和气温上升,区域西部在降水量增加的情况下,PER仍出现上升的趋势,其主要原因是由于气温上升导致蒸散量增加,且蒸散量增加的幅度超过了降水量增加的幅度;而处于半干旱区的青海省循化县,由于可能蒸散量的上升趋势和降水量的增加趋势非常接近,故其变化最小,有暖湿化的趋势。暖干化已经对青藏高原—黄土高原过渡区内的生态环境、水资源和农牧业生产造成了严重影响。

关键词:可能蒸散率(PER);变化;暖干化;青藏高原—黄土高原过渡区

中图分类号:S161.4 **文献标志码:**A

The variance of the PER in the transition region between the Qinghai-Xizang Plateau and the Loess Plateau during 1961–2010

WANG Jian-bing¹, WANG Zhi-gui¹, JIANG You-yan²

(1. Gannan Meteorological Bureau of Gansu Province, Hezuo, Gansu 747000, China;

2. Northwest Regional Climate Center, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: Based on data of mean temperature and precipitation during 1961–2010 from 18 weather stations in the transition region between the Qinghai-Xizang plateau and the Loess plateau, the variance of the soil surface aridity index was analyzed and the PER (Potential Evapotranspiration Rate) was computed by Holdridge model. The results indicated that there were 4 humidity provinces (perhumid, humid, subhumid and semiarid) in this area. The spatial distribution of PER showed an increasing trend from the south to the north. The increasing tendency of PER in the perhumid zone, humid zone, subhumid zone and semiarid zone was $0.01 \cdot 10a^{-1}$, $0.04 \cdot 10a^{-1}$, $0.06 \cdot 10a^{-1}$ and $-0.02 \cdot 10a^{-1}$. There was an obvious warm-drying trend in the humid zone and subhumid zone starting from the 80–90's, 20th century and the semiarid zone showed a warm-wetting trend concurrently. The temperature increasing and the precipitation decreasing were main influential factors to the PER rising in the eastern area. Although the precipitation increased in the western part, the PER still showed an increasing trend in this area which resulted in the temperature increasing. The temperature increasing resulted in the rising rate of potential evapotranspiration greater than the increasing rate of precipitation and lead to the PER increasing in this region. The increasing trend of potential evapotranspiration and precipitation was very similar in the Xunhua County. The variance of PER in this place was smaller than which in other places and showed a warm-wetting tendency in this area. The ecological environment, water resources and agriculture and animal husbandry production in the transition zone between

the Qinhai-Xizang Plateau and the Loess Plateau had been seriously affected by the warm-drying trend.

Keywords: PER; variance; warm-drying trend; the transition region between the Qinhai-Xizang Plateau and the Loess Plateau

青藏高原到黄土高原的交汇过渡区,同时也是农牧过渡带,区域内各地海拔高度变化大,气候差异明显^[1-4]。由于全球气候变化,青藏高原—黄土高原过渡区内气候发生了明显变化,主要表现为气温上升,青藏高原东北部边坡地带气温在 1987 年出现暖突变^[5],生长季降水量减少^[6],在青海高原东部秋季降水量从 20 世纪 80 年代后出现了明显的减少趋势^[7],区域内干旱频发,造成草地年干燥指数变化呈显著上升趋势,使牧区草场产草数量和质量下降,劣等牧草、杂草和毒草的比例越来越高,草场生产力进一步下降^[8,9],洮河径流量减少^[10],对当地的农牧业生产和生态环境造成了明显的影响。

目前对青藏高原—黄土高原过渡区气候变化的研究,主要集中在降水和温度变化方面,对其地表干燥度的变化研究较少^[11-12]。由于地表干燥度是从大气水分平衡角度出发,真实的反映了实际气候的干湿状况,因此对其进行研究,对进一步研究青藏高原—黄土高原过渡区内的气候变化,同时对应对气候变化,开发利用气候资源,保护生态环境等也有十分重要的意义。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

研究范围为 100°—105.7°E, 33.5°—36.5°N (图 1),行政区域包括青海省海东藏族自治州、海南藏族自治州、黄南藏族自治州三个州的部分地方和甘肃省甘南藏族自治州、临夏回族自治州、定西市、兰州市 4 市(州)的大部分地方。

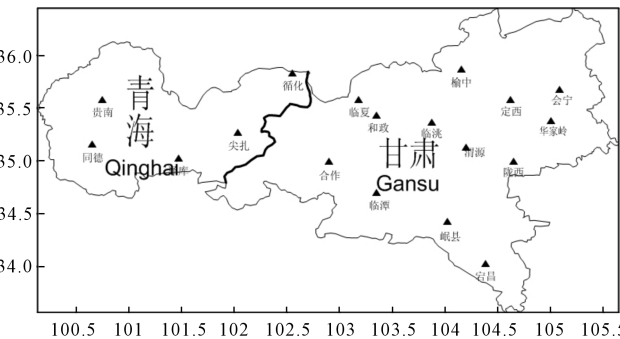


图 1 研究区位置及站点示意图(▲:站点位置)

Fig.1 The sketch map of the study area

(▲:the meteorological station)

1.2 资料

研究资料选取区域内 18 个气象站 1961—2010 年月平均气温、月降水量等地面气象观测资料进行分析,气象数据来自西北区域气候中心,资料序列完整。在 18 个气象站中青海有 5 个,甘肃有 13 个,站点海拔高度在 1 728.8 m (陇西,甘肃)—3 663.8 m (泽库,青海)之间。

1.3 研究方法

本研究采用 Holdridge 可能蒸散率 (PER) 计算方法^[13-16]。自 1990 年以来,提出的干燥度指数算法达 22 种,较常用的 Penman 公式法虽然计算合理,精确度高,有较好的物理学意义,但计算复杂,所需的气象要素较多。Holdridge 方法计算干燥度十分简便,在近年来研究全球变化对生态系统的影响评价中发挥了极大的作用,在气候与生态环境变化研究中得到了广泛应用^[11,17-20]。

Holdridge 方法计算干燥度的公式为:

$$\begin{aligned} PER &= PE/P \\ PE &= 58.93 \times ABT \\ ABT &= \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} t_i \end{aligned}$$

式中,PER 为可能蒸散率 (potential evapotranspiration rate);PE 为可能蒸散量 (potential evapotranspiration);P 为年降水量 (annual precipitation);ABT 为年生物温度 (annual biotemperature)。

ABT (annual biotemperature, 年生物温度) 是出现在植物营养生长范围内的平均温度,一般认为在 0~30℃ 之间,日均温低于 0℃ 与高于 30℃ 者均排除在外,超过 30℃ 的平均温度按 30℃ 计算,低于 0℃ 的按 0℃ 计算。

可能蒸散率 (Potential Evapotranspiration Rate, PER) 为可能蒸散量 (PE) 与年降水量 (P) 的比率,其值愈高,表明愈干燥,其所在地区的植被愈趋于干旱化,PER 值 0.125~0.25 的地区为超湿润区,0.25~0.50 为极湿润区,0.50~1.00 为湿润区,1.00~2.00 为亚湿润区,2.00~4.00 为半干旱区,4.00~8.00 为干旱区,8.00~16.00 为极干旱区,16.00~32.00 为超干旱区^[13,14]。

2 结果与分析

2.1 区域内 PER 的空间分布特征

区域内 PER 有明显的自南向北逐渐上升的特

变化分析发现,合作、定西的 PER 都是在 20 世纪 90 年代出现明显增大,1991—2010 年 PER 的平均值比 1961—1990 年分别上升了 0.23、0.07,定西上升幅度非常明显,有明显的暖干化趋势。

2.2 区域内 PER 的突变分析

为进一步对区域内 PER 的变化特征进行分析,利用 Mann-Kendall 法对各地的 PER 进行突变分析^[21],仍按不同气候区进行分析。

极湿润区中泽库的 PER 未发生突变,说明虽然在极湿润区部分地方有变干的趋势,但变化不显著。

湿润区 10 个站中只有渭源、贵南未检测到突变,其余各站均发生了突变,其中在 1985 年—1987

年有 3 站,1991 年—1997 年有 5 站,宕昌发生突变时间最早,出现在 1985 年,同德最迟,出现在 1997 年,合作出现在 1994 年(图 5a)。通过对湿润区 8 个检测到突变的站 PER 值突变前后的比较,发现湿润区 PER 突变后比突变前平均上升了 0.14,变干趋势非常明显。

亚湿润区有 6 个站,其中有 3 个站(定西、陇西、会宁)检测到突变,定西(图 5b)和陇西出现在 1991 年,会宁出现在 1994 年,突变前后 PER 的差值平均为 0.6,远高于湿润区的平均值,说明在亚湿润区部分地方有非常明显的变干趋势。

属于半干旱区的循化未检测到突变。

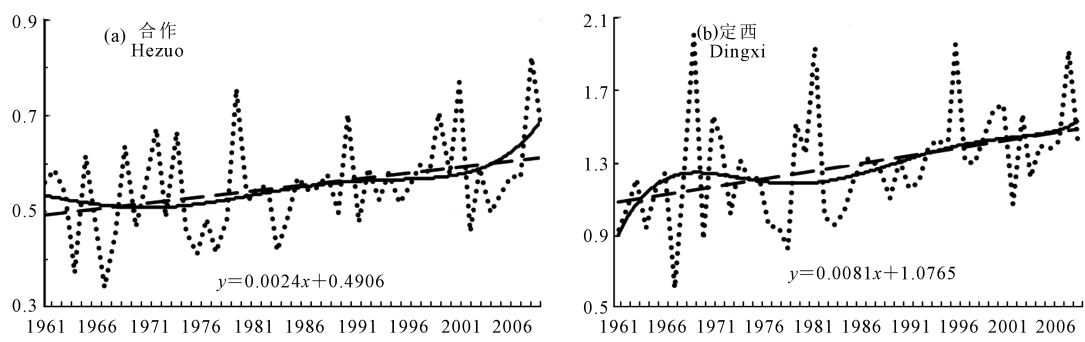


图 4 合作(a)、定西(b)PER 的年际变化趋势(单位:/a)
Fig.4 The annual variety trend of PER in the Hezuo(a),Dingxi(b) (unit: /a)

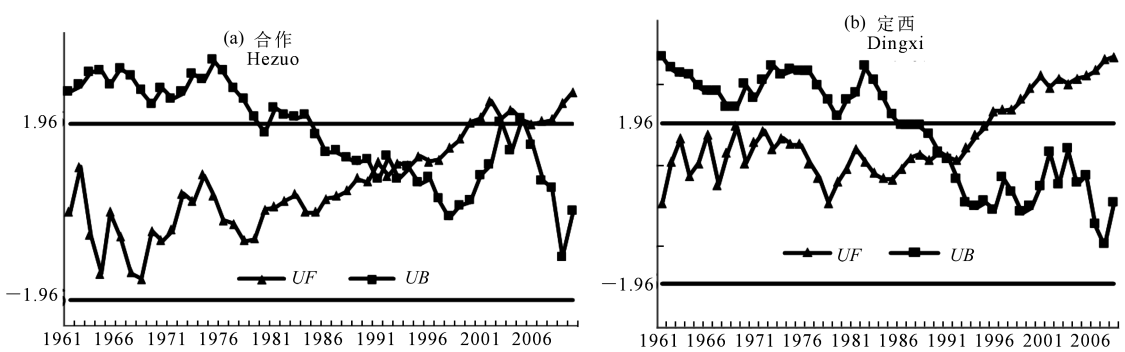


图 5 合作(a)、定西(b)PER 的 M-K 检验
Fig.5 The Mann-Kendall test of annual PER about Hezuo(a),Dingxi(b)

3 讨论

3.1 PER 的变化原因分析

根据 Holdridge 可能蒸散率(PER)的计算方法,PER 的变化主要由降水和生物温度决定,因此主要对区域内降水、气温及生物温度的变化进行分析。

区域内气温及生物温度均呈明显的上升趋势,气温上升趋势为 $0.2 \sim 0.73^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$,其中青海同德上升趋势最明显,达 $0.73^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ (图 6a);生物温度上升趋势为 $1.31 \sim 4.75^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$,其中甘肃会宁上升趋势最明显,达 $4.75^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。区域内气温及生物温度的变化趋势相似,均为北部小于南部,

同时东部和西部大,甘肃和青海交界的区域内小的特征。

区域内降水量的变化趋势呈明显的西升东降的特点(图 6b),位于东部甘肃境内的会宁、华家岭、陇西、岷县和宕昌下降最明显,下降趋势为 $-17.4 \sim -29.7 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$,而位于西部青海境内的循化、贵南和泽库呈上升趋势,上升趋势为 $5.5 \sim 11.0 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$,降水量的年际变化趋势呈现明显的东部和西部大,甘肃和青海交界区小的特征。

根据区域内降水量、气温及生物温度的变化,东部 PER 升高主要是由于降水量的减少和气温上升;区域西部在降水量增加的情况下,PER 仍出现

上升的趋势,其主要原因是由于气温上升导致蒸散量增加,且蒸散量增加的幅度超过了降水量增加的幅度;在贵南、循化由于可能蒸散量的上升趋势和降水量的增加趋势非常接近,故其变化最小。

PER、温度和降水量的变化表明,在区域内处于

半干旱区的青海省循化县有弱的暖湿化趋势,而在东部,则出现了明显了暖干化趋势,暖干化出现的时间主要在 20 世纪 80 年代末期到 90 年代,其余地方也出现了暖干化趋势,但比东部弱。

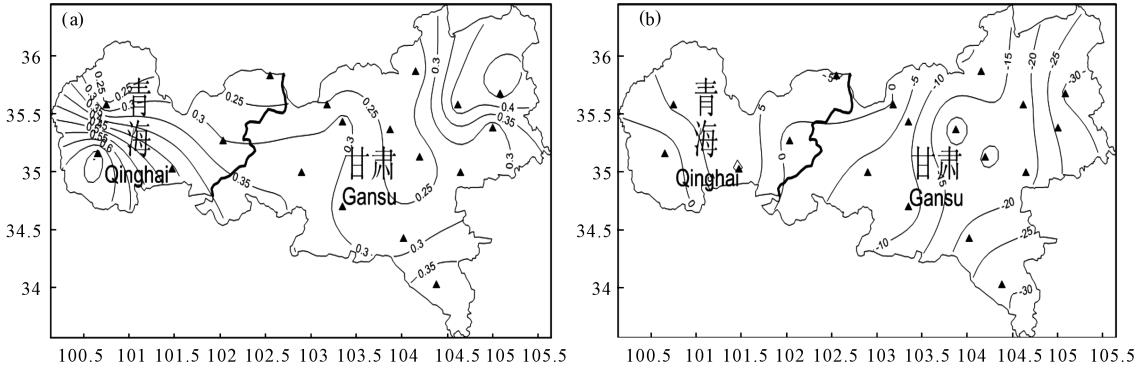


图 6 青藏高原—黄土高原过渡区内气温 (a, 单位: $^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$) 和降水 (b, 单位: $\text{mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$) 的年际变化趋势分布
Fig.6 The annual variety trend distribution about temperature (a, unit: $^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$) and precipitation (b, unit: $\text{mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$) in the transition region between the Qinhai-Xizang Plateau and the Loess Plateau

3.2 PER 变化对当地生态环境的影响

在区域内除了处于半干旱区的青海省循化县有弱的暖湿化趋势外,大部分地区出现了明显的暖干化趋势。研究表明^[22],青海省东部地方地区自 20 世纪 70 年代以来,气温持续升高,降水量没有显著增加,河川径流略有减少,导致该地区干旱频繁发生;由于气候变暖^[23],导致青海高原中、东部地区多年冻土退化及消失,伴随着冻土退化,高寒环境也显著退化,地下水位下降,植被覆盖度降低,高寒沼泽湿地和河湖萎缩,土地荒漠化和沙漠化造成了地表覆被条件改变;暖干化对甘肃的影响也十分明显,20 世纪 90 年代以来,洮河流域出现了明显的暖干化趋势,洮河流域的降水与径流总体呈下降趋势,1990 年代径流比 1980 年代减少达 35%^[24-25]。由于暖干化的影响,甘南草原的生产性能和生态功能大幅下降,草地退化、沙漠化发展速度明显加快,甘南高原已经出现了水资源明显减少的趋势^[26-27]。青海高原和甘南高原牧草的发育期发生了明显变化^[28-29],甘南草原生态系统的稳定性在减弱^[11]。气候变暖,气温持续升高,蒸发量增大,是造成干旱受灾面积扩大、粮食大幅度减产的重要因素,影响影响粮食生产安全^[30-31]。现有的研究表明,暖干化已经对青藏高原—黄土高原过渡区内的生态环境、水资源和农牧业生产造成了严重影响,但针对该区域地表干燥度变化的研究还比较少,因此对区域内的暖干化趋势及其影响还需要更进一步进行研究,才能更好地为应对气候变化和保护当地的生态环境提供科学依据。

4 结 论

在青藏高原—黄土高原过渡区内,由于地形、地理位置不同而造成了明显的气候差异。在区域内存在极湿润区、湿润区、亚湿润区和半干旱区四个不同的气候区,区域内 PER 的空间分布上有明显的自南向北逐渐上升的特征,PER 空间变化最剧烈的地方出现在甘肃省和青海省交界的区域内。

区域内极湿润区、湿润区、亚湿润区和半干旱区 PER 的年际变化趋势分别为 0.01/10a、0.04/10a、0.06/10a 和 -0.02/10a,在湿润区、亚湿润区大部分地方有明显的暖干化趋势,而在半干旱区出现了暖湿化的趋势。突变分析表明,从 20 世纪 80-90 年代开始,在湿润区、亚湿润区大部分地方 PER 出现了突变,湿润区、亚湿润区 PER 突变后比突变前分别上升了 0.14、0.6,在亚湿润区有非常明显的暖干化趋势。暖干化已经对青藏高原—黄土高原过渡区内的生态环境、水资源和农牧业生产造成了严重影响。

区域东部 PER 升高的主要原因是由于降水量的减少和气温上升,区域西部在降水量增加的情况下,PER 仍出现上升的趋势,其主要原因是由于气温上升导致蒸散量增加,且蒸散量增加的幅度超过了降水量增加的幅度;而处于半干旱区的青海省循化县,由于可能蒸散量的上升趋势和降水量的增加趋势非常接近,故其变化最小,有暖湿化的趋势。

参 考 文 献:

[1] 李学曾.关于黄土高原地区境界线的商榷[J].西北大学学报, 1982,(4):38-44.

[2] 张懿铨,李炳元,郑度.论青藏高原范围与面积[J].地理研究, 2002,21(1):1-8.

[3] 陈全功,谭忠厚,九次力.“南北分界”与“农牧交错”一席谈[J].草业科学,2010,27(6):6-12.

[4] 李栋梁,吕兰芝.中国农牧交错带的气候特征与演变[J].中国沙漠,2002,22(5):483-488.

[5] 王建兵,汪治桂.青藏高原东北部边坡地带气温变化特征研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):176-180.

[6] 梁玉莲,韩明臣,白龙,等. 中国近 30 年农业气候资源时空变化特征[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(4):259-267.

[7] 王建兵,王振国,汪治桂.青海高原东部边坡地带降水变化特征及突变分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(5):18-22.

[8] 王建兵,李晓媛,王振国.青藏高原东北部农牧交错区气候变化及其对草场植被的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):216-219.

[9] 张秀云,姚玉璧,邓振镛,等.青藏高原东北边缘牧区气候变化及其对畜牧业的影响[J].草业科学,2007,24(6):66-73.

[10] 李常斌,王帅兵,杨林山,等.1951-2010 年洮河流域水文气象要素变化的时空特征[J].冰川冻土,2013,35(5):1259-1266.

[11] 王建兵.近 40 年甘南草原生命地带偏移趋势及干湿变化[J].应用气象学报,2012,23(5):604-608.

[12] 王建兵,汪治桂,王素萍.1961~2010 年甘肃合作地区草地潜在蒸散量及地表湿润度变化特征[J].干旱区资源与环境,2013,27(11):159-163.

[13] Holdridge L R. Determination of world plant formations from simple climatic data[J].Science, 1947,105(2727):367-368.

[14] Holdridge L R. Life zone ecology[M]. San Jose. Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.

[15] 张新时.研究全球变化的植被-气候分类系统[J].第四纪研究,1993,5(2):157-169.

[16] 张新时,杨奠安,倪文革.植被的 PE(可能蒸散)指标与植被气候分类(三):几种主要方法与 PEP 程序介绍[J].植物生态学与地植物学学报,1993,17(2):97-109.

[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.

[18] 范泽孟,岳天祥,田永中. 中国 Holdridge 生命地带平均中心的时空分布及其偏移趋势[J].生态学报,2004,24(7):1380-1387.

[19] 巩祥夫,刘寿东,钱拴.基于 Holdridge 分类系统的内蒙古草原类型气候区划指标[J].中国农业气象,2010,31(3):384-387.

[20] 李铁冰,杨改河,王得祥. 江河源区四十多年来干湿变化分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(3):73-77.

[21] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].北京:气象出版社.1993:42-113.

[22] 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.

[23] 罗栋梁,金会军,林琳,等. 青海高原中、东部多年冻土及寒区环境退化[J].冰川冻土,2012,34(3):538-546.

[24] 王建兵.近 40 年洮河流域干燥度变化趋势分析[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):246-250.

[25] 张济世,康尔泗,蓝永超,等.50a 来洮河流域降水径流变化趋势分析[J].冰川冻土,2003,25(1):77-82.

[26] 姚玉璧,王润元,邓振镛,等.黄河上游主要产流区气候变化及其对水资源的影响-以甘南高原为例[J].中国沙漠,2007,27(5):903-909.

[27] 王建兵,王振国,吕虹.黄河重要水源补给区草地退化的气候背景分析-以玛曲县为例[J].草业科学,2008,25(4):23-27.

[28] 郭连云,赵年武,田辉春.气候变暖对三江源区高寒草地牧草生育期的影响[J].草业科学,2011,28(4):618-625.

[29] 王建兵.近 20 年青藏高原东北部边坡地带垂穗披碱草物候变化-以甘肃合作为例[J].草业科学,2011,28(10):1851-1854.

[30] 刘德祥,白虎志,宁惠芳,等.气候变暖对甘肃干旱气象灾害的影响[J].冰川冻土,2006,28(5):707-712.

[31] 张强,张存杰,白虎志,等.西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响[J].干旱气象,2010,28(1):1-7.