

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2020.12.009

西藏 60 多年来青稞生长季日照时长变化趋势^①

谭大明^{1,2}, 季永月³, 谭海运^{1,2}, 刘国一^{1,2}, 高雪^{1,2}

1. 省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室, 拉萨 850000;
2. 西藏自治区农牧科学院农业资源与环境研究所, 拉萨 850000;
3. 中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714

摘要: 为探究 60 多年来西藏青稞主产区青稞生长季日照时长的变化规律, 利用西藏青稞主产 5 个市(拉萨、日喀则、山南、昌都、林芝)主要 28 个气象站 1956—2018 年的日照时数及其他气象要素资料, 运用滑动平均法、Mann-Kendall 检验法和 Pearson 相关分析方法分析了西藏青稞主产市在青稞春、冬生长季中日照时数的年际空间变化特征. 得出 60 多年来, 林芝、山南、日喀则日照时数皆呈下降趋势, 且后两者存在下降突变点; 拉萨虽有起伏, 但整体走向保持稳定; 昌都则呈明显平稳上升趋势. 春青稞生长季日照时数与降水量、平均水汽压、平均相对湿度呈显著负相关, 而与日照百分率呈明显正相关; 冬青稞生长季日照时数与各气象因子的相关性质不变, 但关系减弱.

关键词: 西藏; 日照时长; 青稞; 生长季

中图分类号: S519 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5471(2020)12-0048-10

日照时长是指太阳直接辐射强度大于等于 120 W/m^2 的日累计时间^[1], 是全球气候变化研究中重要的气象表征因子之一. 日照的本质是地表太阳辐射的可见光能量的体现, 日照时长直接影响作物的生长, 西藏生态环境脆弱, 农业生产适应能力差, 因此对青稞生长影响巨大. 许多学者对全球及区域日照时长的时空格局及演变过程进行了较详细的研究^[2-5]. 于海敬等^[6]研究发现西藏 1971—2015 年年均日照时长总体呈下降趋势, 以 20 世纪 80 年代变化最为明显, 且呈现出明显的区域差异. 毛飞等^[7]研究了那曲地区 1961—2000 年日照时长, 表明近 40 年那曲地区无论是全年还是四季的日照时长都呈减少趋势. 华维等^[8]利用主成分分析、小波分析等方法对青藏高原地区 1973—2007 年日照时长分析发现, 近 35 年青藏高原西部、西藏西南部和青海西南部年日照时数呈增加趋势, 其余地区以减少趋势为主. 这些研究有助于了解青藏高原气候的变化趋势, 然而大部分工作仅限定在 21 世纪最初 10 年之内, 对近 10 年的日照时长研究较少. 青稞是西藏人民的主食, 与全年的日照时长相比, 生长季的日照时长与青稞的生长更为密切. 本文采用西藏青稞 5 个主产市(拉萨、日喀则、山南、昌都、林芝)气象站点的观测数据, 研究西藏自治区 60 多年来青稞生长季日照时长的变化规律, 其结果对研究日照时长对青稞生长发育及产量的提高具有重要的指导意义.

1 材料与方法

1.1 研究区域

西藏自治区位于青藏高原西南部($26^{\circ}50' - 36^{\circ}53' \text{N}$, $78^{\circ}25' - 99^{\circ}06' \text{E}$), 土地面积 122.84 万 km^2 , 其中青稞种植面积达 13.958 万 hm^2 ^[9]. 全区气温低、昼夜温差大、积温少, 年均气温为 $-2.4 \sim 12.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 自东南向西北递减; 年降水量在 $66.3 \sim 894.5\text{ mm}$ 之间, 降水量少且季节性差异明显, 同样呈自东南向西北递减

① 收稿日期: 2020-03-13

基金项目: 中央引导地方资金项目(YDZX20195400004489); 西藏自治区 2019—2020 年科技富民强县稳边专项(XZ201901NA05); 西藏自治区重点研发与转化计划(XZ-2019-NK-NS-005).

作者简介: 谭大明(1973—), 男, 副研究员, 主要从事农业资源的研究.

通信作者: 谭海运, 副研究员.

分布，因此气候呈现西北严寒干燥、东南温暖湿润的特点。

1.2 数据收集与处理

本文收集了西藏自治区 5 个青稞主产市内主要 28 个国家基本气象站的基本气象数据，站点分布如图 1，详细概况见表 1。所有气象数据来自中国气象科学数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)。

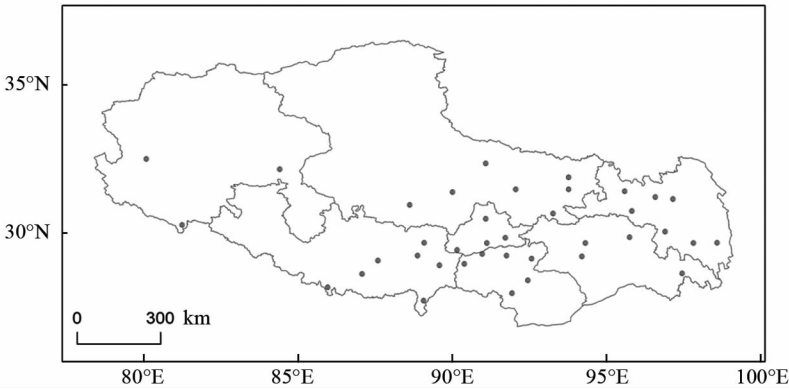


图 1 西藏自治区 5 个青稞主产市气象站点分布

表 1 青稞主产市内各气象站点位置

气象站点		冬青稞、春青稞生长季节	气象数据 起始年份 /年	海拔 /m	经度(E)	纬度(N)
拉萨	当雄		1962	4 200.00	91.10	30.48
	尼木	春生长季:当年 4—8 月	1973	3 809.40	90.17	29.43
	拉萨	冬生长季:当年 10 月一次年 8 月	1955	3 648.90	91.13	29.67
	墨竹工卡		1991	3 804.30	91.73	29.85
日喀则	南木林		1991	4 000.00	89.10	29.68
	拉孜		1977	4 000.00	87.60	29.08
	日喀则		1955	3 836.00	88.88	29.25
	聂拉木	春生长季:当年 5—9 月	1966	3 810.00	85.97	28.18
	定日	无冬生长季	1959	4 300.00	87.08	28.63
	江孜		1956	4 040.00	89.60	28.92
	亚东		1956	4 300.00	89.08	27.73
山南	浪卡子		1991	4 431.70	90.40	28.97
	贡嘎		1991	3 555.30	90.98	29.30
	泽当	春生长季:当年 3—7 月	1956	3 551.70	91.77	29.25
	错那	冬生长季:当年 10 月一次年 7 月	1967	4 280.30	91.95	27.98
	隆子		1959	3 860.00	92.47	28.42
	加查		1991	3 260.00	92.58	29.15
昌都	丁青		1954	3 873.10	95.60	31.42
	昌都		1954	3 306.00	97.17	31.15
	类乌齐		1991	3 810.00	96.60	31.22
	洛隆	春生长季:当年 2—6 月	1992	3 640.00	95.83	30.75
	八宿	冬生长季:当年 9 月一次年 6 月	1991	3 260.00	96.92	30.05
	左贡		1978	3 780.00	97.83	29.67
	芒康		1991	3 870.00	98.60	29.68
林芝	林芝		1954	2 991.80	94.33	29.67
	米林	春生长季:当年 3—7 月	1991	2 950.00	94.22	29.22
	波密	冬生长季:当年 9 月一次年 6 月	1955	2 736.00	95.77	29.87
	察隅		1969	2 327.60	97.47	28.65

1.3 分析方法

本研究采用 Microsoft Excel 2013 处理所有实验数据,运用滑动平均法、Mann-Kendall 检验法和 Pearson 相关分析等方法分析了西藏青稞主产市在青稞春、冬生长季中日照时数的年际时空变化特征.

2 结果与分析

2.1 拉萨、山南、昌都、林芝、日喀则市春、冬青稞生长季日照时数年际变化趋势

分析拉萨市 4 个气象站 1956—2018 年生长季年均日照时数代表该市青稞生长季的日照水平(图 2),可看出拉萨市 60 多年春、冬青稞生长季日照时数变化较为平缓,都或高或低地在均值附近摆动.但春、冬生长季日照时数均在 2009 年后呈明显的下降趋势,下降速率每 10 年分别为 65.87 h,41.49 h.由 5 年滑动平均曲线可看出,拉萨的春、冬生长季日照时数走向相似,均在 1960—1973 年实现 1 次“减—增”相抵,1973—1990 年有微弱起伏,从 1990—2018 年则完成了 2 次周期为 14 年的“增—减”运动.

利用 Mann-Kendall 检验对拉萨青稞在春、冬生长季日照时数进行趋势分析和突变检验.春生长季的日照时数变化如图 2c 中 UF_k 曲线所示,可看出整体呈先降后升趋势.20 世纪 50 年代中期到 60 年代初下降趋势显著,70 年代到 21 世纪初则上升显著, UF_k 和 UB_k 曲线相交于 1971—1972 年间,但并未和 3 条 UB_k 曲线皆相交,因此该交点并非是真的上升突变点.进一步看拉萨冬生长季日照时数的 MK 检验,同样呈先降后升趋势且没有突变点,但下降并不显著,而上升趋势在 2007 年后的显著性较春生长季强.

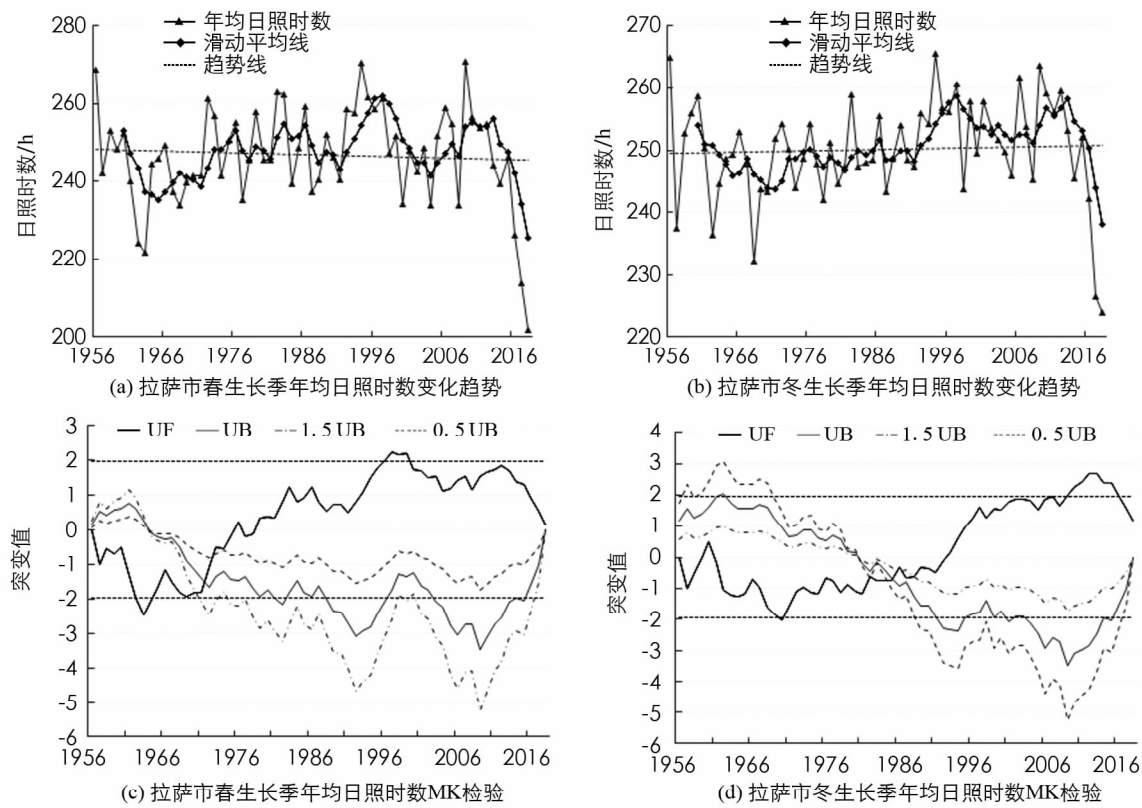


图 2 拉萨市青稞春、冬生长季年均日照时数变化趋势及 MK 检验

用山南市内 6 个站点(浪卡子、贡嘎、泽当、错那、隆子、加查气象站)1956—2018 年春、冬生长季年均日照时数代表该市青稞生长季的日照水平(图 3),发现春生长季中日照时数每 10 年以 3.68 h 波动下降.具体而言,其在 1956—1963 年呈线性下降,而后在 1963—1972 年,1972—1991 年,1991—2004 年,2004—2018 年这 4 个时间段形成了 4 次有层次递减的“升—降”运动.冬生长季日照时数走向与春生长季相似,但起伏变小.

从 MK 检验中可以更明显地看出, 春、冬生长季日照时数分别在 1967 年、2002 年 UF 曲线超过 0.05 显著性临界线, 表明下降趋势显著. 进一步分析下降突变点发现, 春生长季中 UF_k 和 UB_k , $0.5 UB_k$, $1.5 UB_k$ 曲线在春生长季中并未相交, 而在冬生长季中相交于 1988—1989 年之间, 表明山南市冬生长季日照时数在此之间有一下降突变点. 对比春、冬日照时数(图 3a, 3b)走向也可发现春生长季中在 1983—1992 年间的下降趋势中存在 1 个 1988—1990 年微弱上升的转折, 而在冬生长季中从 1983—1992 年仅为单一下降趋势, 下降速率每 10 年为 13.05 h.

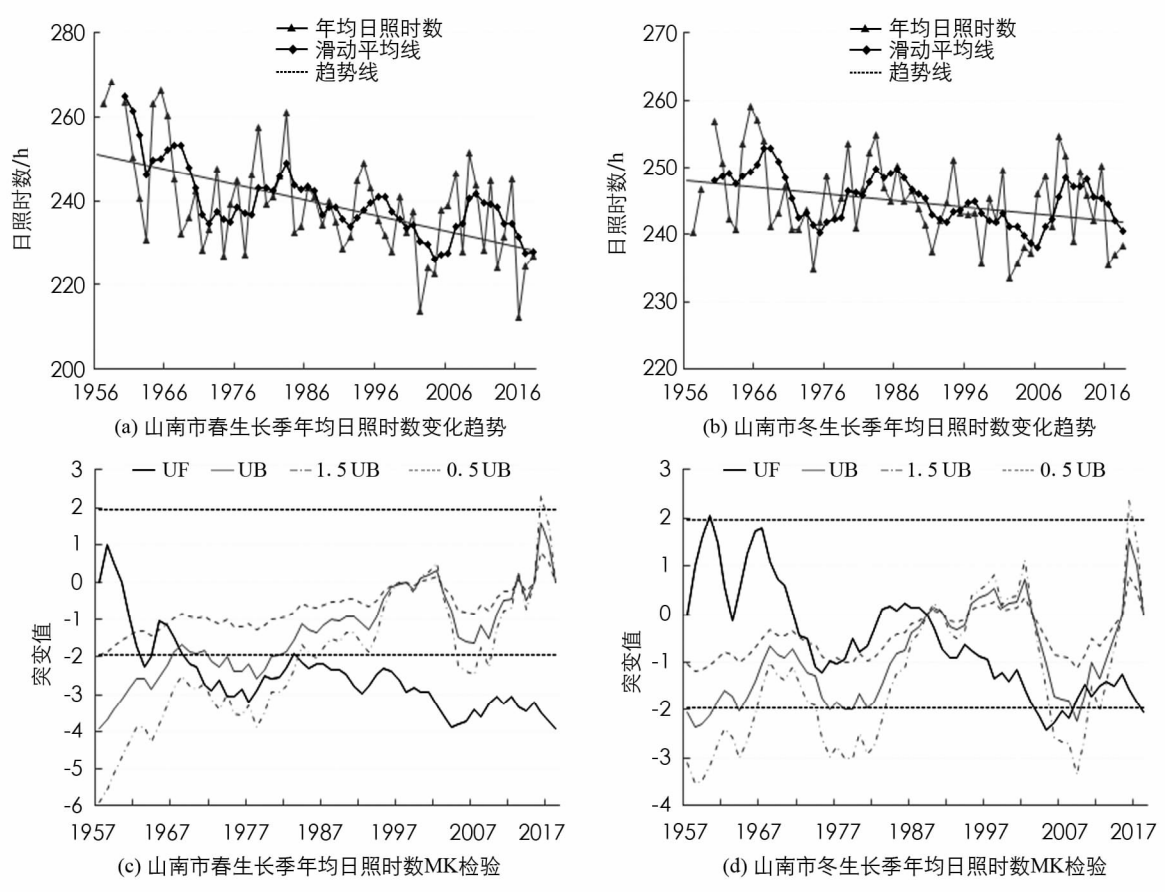


图 3 山南市青稞春、冬生长季年均日照时数变化趋势及 MK 检验

用昌都市内 7 个站点(丁青、昌都、类乌齐、洛隆、八宿、左贡、芒康气象站)1956—2018 年青稞春、冬生长季年均日照时数代表该市在青稞生长季的日照水平(图 4), 发现不同于其他主产市的波动下降, 昌都市春、冬生长季日照时数呈明显的上升趋势, 对应的气候倾向率每 10 年分别为 4.81 h, 3.022 h. 根据 MK 检验可进一步得到春、冬生长季日照时数的 UF 统计量分别在 1975 年、1971 年超过显著性临界线且没有突变点, 表明上升显著且平稳.

用林芝市内 4 个站点(林芝、米林、波密、察隅气象站)1961—2018 年春、冬生长季中年均日照时数代表该市青稞生长季的日照水平(图 5), 可看出相比于其他 4 个主产区而言, 林芝市的日照水平相对较低, 春、冬皆在 20 世纪 60 年代中期后呈现单一显著的下降趋势, 且没有突变点的出现, 表明下降趋势明显且稳定. 春、冬青稞生长季中日照时数最高值分别出现在 1973 年、1966 年, 为 160.6 h, 162.4 h, 最低值分别出现在 2004 年、1995 年, 为 104.7 h, 128.0 h. 冬生长季日照时数下降速度比春生长季慢, 波动也更剧烈, 同年冬生长季年均日照时数比春生长季高, 因此对于西藏地区地势较低的林芝市而言, 冬青稞种植比春青稞更有优势.

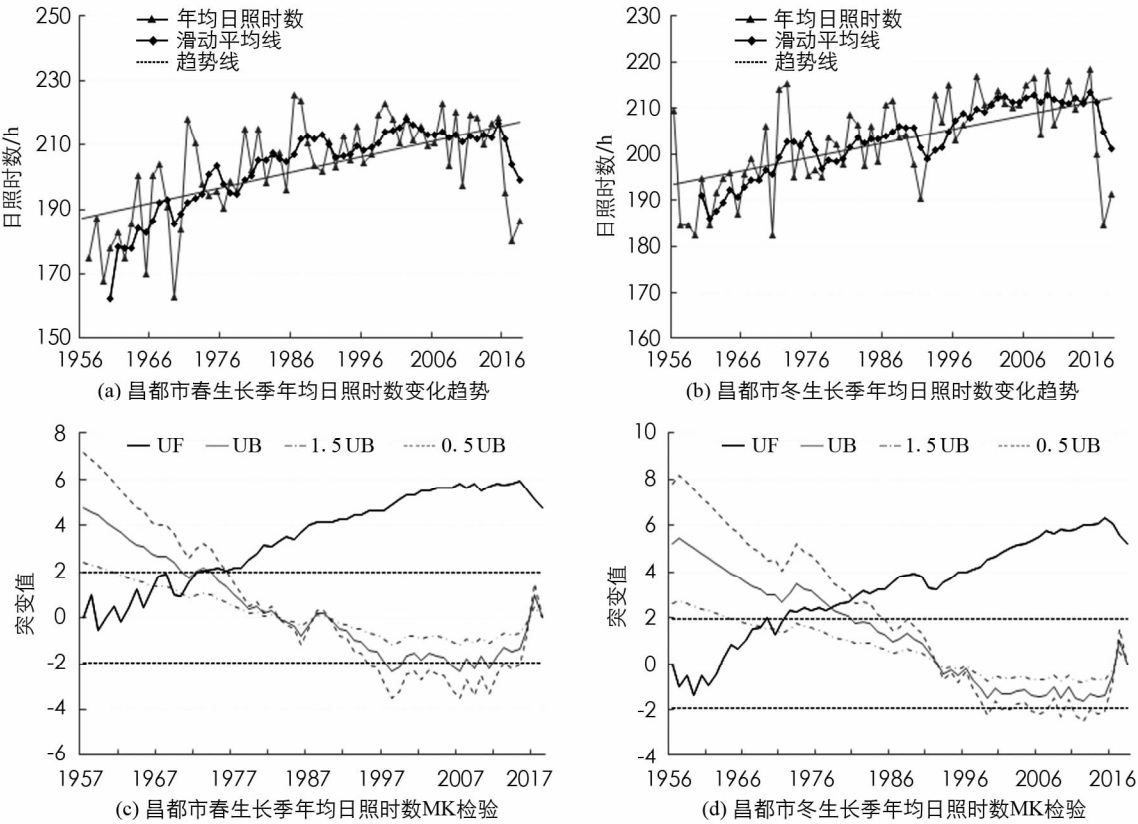


图 4 昌都市青稞春、冬生长季年均日照时数变化趋势及 MK 检验

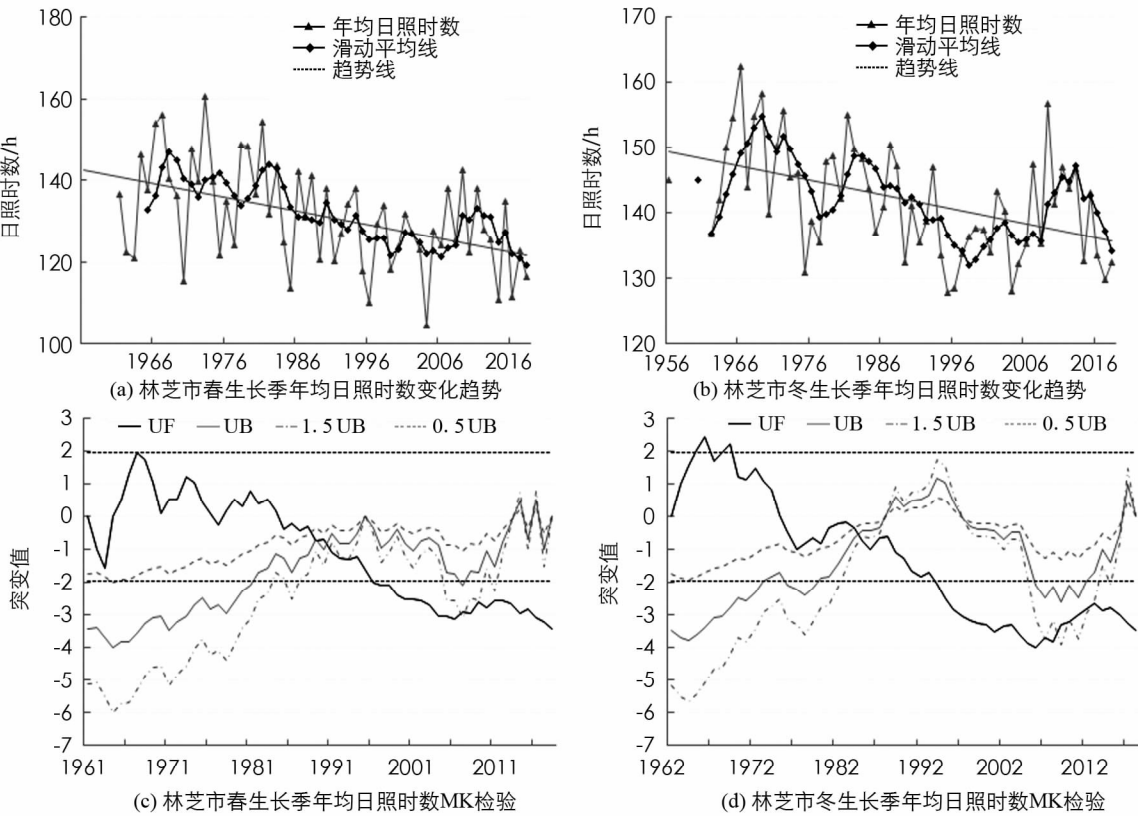


图 5 林芝市青稞春、冬生长季年均日照时数变化趋势及 MK 检验

用日喀则市内 7 个站点(南木林、拉孜、日喀则、聂拉木、定日、江孜、亚东气象站)1956—2018 年生长季年均日照时数代表该市青稞生长季的日照水平(图 6), 根据春青稞生长季中日照时数的气候倾向率, 发现 60 多年来日喀则市日照时数呈较为剧烈的波动下降. 结合 5 年滑动平均线与 MK 检验结果看, 1956—1962 年下降明显, 1960—2013 年从 239.5 h 到 240.1 h, 这 50 多年来虽有几次较大起伏, 并在 2000—2001 年之间有一显著的下降突变点, 但都能较快恢复到 240 h 左右, 而从 2013—2018 年则呈线性下降.

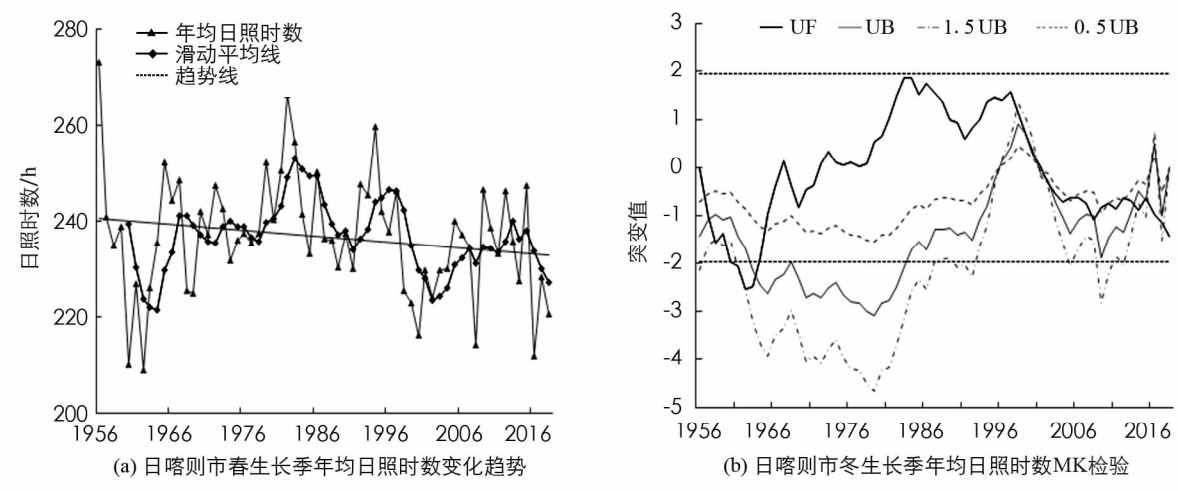


图 6 日喀则市青稞春生长季年均日照时数年际变化趋势及 MK 检验

近几十年来, 在城市化、城市扩张和全球变暖的大背景下, 对于日照时数变化趋势的研究也大量开展. 相关研究表明全球大多数地区日照时长呈下降趋势^[10]. 全国范围内 1954—2005 年日照总体呈下降趋势^[11], 且具有明显的季节和局地差异. 季节差异上, 我国夏季和冬季降幅大于春季和秋季^[12]. 局地差异上, 华南地区日照时数在 1954—2012 年下降明显^[13]; 云贵高原北部下降, 而西南部呈上升趋势^[14]; 西北地区 1960—2009 年大部分地区表现为显著的减少趋势, 平均每 10 年减少 13.6 h^[15]; 东北地区年日照时数也呈显著减少趋势, 平均每 10 年减少 40.5 h, 除秋季日照时数变化不显著外, 其他季节日照时数均显著减少^[16]. 本文的结果也表明西藏 5 个主产区中除昌都外皆呈减少趋势, 并且春生长季的降幅最明显, 但春、冬生长季下降幅度远小于青藏高原西南部^[17]和整个西南地区^[18]的速率.

2.2 各站点气候倾向率空间分布特征

西藏青稞 5 个主产市的日照时数在春、冬生长季的年际变化也表现出了不同的空间差异(图 7). 整体上, 冬生长季日照时数的气候倾向率比春生长季高(日喀则春生长季平均气候倾向率每 10 年为 -3.76 h, 其他 4 市春生长季平均气候倾向率每 10 年为 -3.65 h, 冬生长季为 -1.95 h), 仅拉萨、山南、昌都的部分站点春或冬生长季日照时数为上升趋势, 其他都为下降趋势:

- 1) 西藏西部的日喀则市在春生长季日照时数皆呈下降趋势, 尤其是聂拉木、拉孜、南木林这 3 站的春生长季日照时数下降剧烈, 对应气候倾向率每 10 年分别为 -6.32 h, -10.16 h, -6.39 h, 说明过去每 10 年中春生长季日照日数会分别下降 31.6 h, 50.78 h, 31.94 h.
- 2) 中部拉萨、山南、林芝 3 市中尼木、加查两站春、冬生长季日照时数上升明显, 浪卡子、隆子、拉萨、错那、察隅等仅冬生长季日照时数略微增加. 相反地, 墨竹工卡、贡嘎春、冬生长季日照时数均下降显著, 浪卡子、米林等在春生长季中下降剧烈, 其他站点的变化相较之下并不明显.
- 3) 昌都市的 6 站中, 除洛隆、八宿的冬生长季气候倾向率为负外, 其余皆为正, 且昌都北部的丁青、昌都两站春、冬生长季日照时数上升迅速. 对于春生长季气候倾向率, 除洛隆、八宿、芒康春生长季日照时数下降明显外, 其他变化不大.

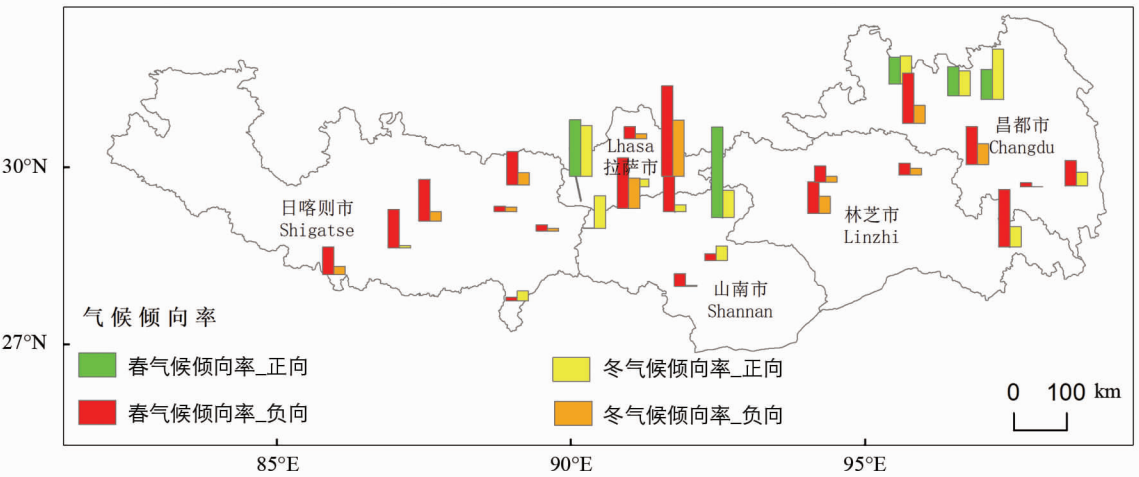


图 7 各站点在青稞春、冬生长季中年均日照时数气候倾向率分布

2.3 春、冬青稞生长季日照时数与气象要素的关系

从 5 市中分别选取拉萨、日喀则、泽当、昌都、林芝气象站点进行日照时数与其他 7 个主要气象要素的相关性分析可得到：

春生长季日照时数与日照百分率呈明显的正相关，日照百分率是农业生产中所需气象要素的重要因子，百分率的计算是用天文日照百分率法计算的，即该地区实际的日照时数除以无云层遮挡，理想条件下的实日照时数，也就是天文可照时数。日照百分率相对日照时数更能反映该地区天气状况对日照时数的影响。数据分析结果表明，除昌都站点外，其他 4 站春生长季日照时数与降水量、平均水汽压、平均相对湿度均呈显著负相关(表 2)。其中春生长季日照时数与降水量的负相关最好的是日喀则站点(相关系数达到 -0.768)，与平均水汽压、平均相对湿度负相关性最强的为拉萨站点(相关系数分别为 -0.705 ， -0.624)。日喀则、泽当、林芝站点春生长季日照时数与本站平均气压呈负相关，而在拉萨、昌都并不显著。平均风速与日照时数呈正相关的有日喀则、泽当，平均气温与日照时数呈正相关的为拉萨、日喀则、昌都、林芝，但较其他气象因子而言，平均气温与日照时数的相关性并不强。

整体上冬生长季日照时数与各气象因子的相关性较春生长季弱(表 2)。冬生长季日照时数与降水量、平均相对湿度有显著负相关的有拉萨、泽当站点，降水量负相关性最强的从春生长季的日喀则站点的一 0.768 降到拉萨站点的一 0.456 ，相关系数降低了 40.6%，平均相对湿度负相关性最强的拉萨站点从春生长季的一 0.624 降到一 0.512 ，相关系数降低了 17.9%。除昌都站外其他 3 站与平均水汽压均呈显著负相关，而与本站平均气压有负相关的为昌都和林芝站。与平均风速有正相关的仅为泽当站，且相关性减弱。与平均气温的正相关性在冬生长季不再突出，只有昌都站的平均气温与冬生长季日照时数有一定的正相关性。

表 2 春、冬生长季中年均日照时数与其他 7 个气象要素的相关系数

项 目	春生长季					冬生长季			
	拉萨	日喀则	泽当	昌都	林芝	拉萨	泽当	昌都	林芝
降水量	-0.486^{**}	-0.768^{**}	-0.446^{**}	-0.190	-0.334^{*}	-0.456^{**}	-0.438^{**}	-0.085	-0.210
平均气压	-0.194	-0.265^{*}	-0.335^{**}	0.196	-0.287^{*}	-0.069	-0.095	-0.530^{**}	-0.410^{**}
平均风速	0.248	0.410^{**}	0.484^{**}	0.123	0.126	0.074	0.336^{**}	0.104	-0.029
平均气温	0.351^{**}	0.366^{**}	0.123	0.384^{**}	-0.257^{*}	0.185	-0.081	0.266^{*}	-0.295^{*}
平均水汽压	-0.705^{**}	-0.623^{**}	-0.632^{**}	0.082	-0.426^{**}	-0.646^{**}	-0.408^{**}	-0.162	-0.387^{**}
平均相对湿度	-0.624^{**}	-0.597^{**}	-0.598^{**}	-0.006	-0.164	-0.512^{**}	-0.305^{*}	-0.230	-0.212
日照百分率	0.998^{**}	0.998^{**}	0.994^{**}	0.996^{**}	0.998^{**}	0.994^{**}	0.974^{**}	0.987^{**}	0.987^{**}

注：* 表示 $p<0.05$ ，** 表示 $p<0.01$ ，差异有统计学意义。

3 讨 论

青稞是西藏自治区最大的优势和特色作物,是西藏自治区基本口粮作物和主要粮食作物,播种面积占全区农作物种植面积的 70% 以上^[19],并且其属于喜光作物,对日照时长较为敏感,研究表明充足的日照才能满足青稞生长期光合作用的需要,充足的日照和温度的协调配合能促进青稞的稳产,是实现青稞高产的优势条件之一^[20]. 西藏自治区的高原气候有利于青稞的生产,但同时青稞对气候变化背景下青藏高原气候演变也较为敏感^[21]. 因此,研究西藏自治区年际日照时长的演变不仅有助于理解青藏高原气候演变过程及其对全球变化的响应,也对青藏高原青稞的适应机制具有重要的意义.

西藏海拔较高,空气稀薄,太阳能资源丰富,光照时间长,在作物生长季月平均日照时数达 250 h,显著高于同纬度地区. 光照充分有利于提高作物的光合作用,将光能资源转化为生物能资源,同时也有利于改善作物的品质,增加总糖、还原糖和淀粉含量.

青稞籽粒的形成主要依靠开花后的光合产物,此时光照、温度、水分等气象因子对光合特性影响很大,研究表明,在长日照地区如西藏的日喀则,能显著提高青稞的光合能力,增加有机物质的合成,使青稞的“源”得以增加. 而在西藏的林芝日照时数相对弱的地区,青稞的灌浆强度较弱,植株对有机物的同化减缓,表现为籽粒千粒质量较低,秕粒现象增加. 青稞的灌浆期主要集中在 7 月份,这段时间西藏降水较多,云层的增多及增厚显著减弱了日照时数,生产中日照时数的减少,可以通过调整青稞的播种时间,改变青稞生育期进行弥补. 研究表明春青稞提早播种可以使生育期延长,而延迟播种则使生育期推后. 在拉萨的春青稞 4 月 10 日播种,生育期为 123 d,而 4 月 30 日播种生育期则是 113 d,所以提前播种 20 d 可以使生育期延长 10 d^[22],因为早播时环境温度较低,青稞生长缓慢,生育期则变长,从而可以弥补因日照时数减少、光合时间不足对青稞造成的影响. 提前播种,可以在雨季正式来临之前使青稞完成灌浆,这样可以在青稞的日照敏感期避开低日照时间,减缓日照时数较低对青稞的影响.

西藏除昌都外年际间日照时数呈现下降趋势,西部日喀则地区近 10 年来作物生长季日照时数减少 30 h 以上,藏东南部日照时数减少的趋势更为明显,减少量达 104.7 h 以上,这主要是降水增加因云层遮挡导致日照时数减少,目前日照时数的减少量尚不足以对青稞产量及品质产生较大的影响,相反,导致日照时数减少的驱动因素即降水增加在西藏干旱地区更能提高作物产量,但是日照时数减少的这种趋势需要注意. 在气候变化的大环境下,青藏高原是气候变化的敏感区,作物的生长容易受到气候变化的影响,需要研究相应的对策措施,以应对气候变化.

从日照时数的下降季节来看,冬生长季日照时数下降速度比春生长季慢,同年冬生长季年均日照时数比春生长季高. 这主要是冬季水汽活动较弱或很少,这样在作物的布局上,适合冬青稞种植的河谷区域,应尽量种植冬青稞,充分利用冬生长季日照时数下降不大的有利条件. 在实际生产中冬青稞在产量上要比春青稞有优势,平均每 666.7 m² 产量高 100 kg 以上.

相关性分析表明春生长季日照时数与降水量、平均水汽压、平均相对湿度均呈显著负相关,从全国尺度看,日照时数与气温日较差之间相关性较弱^[23],也有研究表明除青藏高原外,我国气温日较差的变化与日照时数的变化密切相关^[24-25],这与本文得到的西藏自治区大部分地区气温对日照时数相关性较弱相似. 局部研究上,东北地区日照时数与风速呈正相关关系,而与气温、降水量、相对湿度等呈负相关关系^[16];西南地区日照时数影响因素同样发现风速与日照时数呈显著正相关,而与湿度呈负相关^[17]. 青海省与祁连山地区日照时数则与平均水汽压、总云量、低云量呈显著负相关^[26-27]. 本文中通过 Pearson 相关分析也得到春生长季日照时数与降水量、平均相对湿度、平均水汽压呈负相关,而与风速呈正相关. 这说明不同地区日照时数与主要气象因子的相关性是相同的,但相关性的强弱会有所差别. 另外,人类对自然资源不合理开发利用造成的空气污染对日照时数也会产生一定影响,近年来青藏高原人类活动明显加剧,公路修建、旅游业开发以及荒地开垦所产生的扬尘对日照时数均有影响,但是这些人类活动对日照时数的影响范围、影响程度均需要进一步的研究.

4 结 论

1) 各市年际变化趋势上,除昌都市春、冬生长季日照时数呈上升趋势外,其他市均呈明显下降趋势,

其中林芝市在生长季中年均日照时数较其他各市低,且下降也更为剧烈.局部时间段上,5 市春、冬生长季中年均日照时数在 2013—2018 年皆呈线性下降趋势.

2) 突变检验中,仅日喀则的春生长季、山南的冬生长季日照时数走向中存在下降突变点,说明在突变点前后这一时间段存在一个剧烈的单一下降趋势.拉萨、昌都、林芝其波动较小、变化平缓且有规律.

3) 各站点气候倾向率分布上,冬生长季日照时数的气候倾向率比春生长季高,仅拉萨、山南、昌都的部分站点春或冬生长季日照时数为上升趋势,其他多为下降趋势.其中,昌都、尼木、加查、丁青这 4 个站点的春、冬气候倾向率均为正值,说明以上站点在生长季中日照时数随时间具有一定的线性增长趋势,也会进一步促进青稞生长.

4) 从日照时数与气象要素的相关性上,春生长季日照时数与降水量、平均水汽压、平均相对湿度呈显著负相关,而与日照百分率呈明显的正相关,而冬生长季日照时数与各气象因子的相关性质不变,但关系减弱.

参考文献:

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 81.
- [2] HE Y Y, WANG K C, ZHOU C L, et al. A Revisit of Global Dimming and Brightening Based on the Sunshine Duration [J]. *Geophysical Research Letters*, 2018, 45(9): 4281-4289.
- [3] JHAJHARIA D, PANDEY P K, TAPANG T, et al. Trends in Sunshine Duration in Humid Climate of Northeast India: A Case Study [M]//*Water Science and Technology Library*. Cham: Springer International Publishing, 2018: 181-191.
- [4] JIANG Lei, ZHANG Jiping, FANG Yan. Time-Scaling Properties of Sunshine Duration Based on Detrended Fluctuation Analysis over China [J]. *Atmosphere*, 2019, 10(2): 83.
- [5] REN J, LEI X H, ZHANG Y H, et al. Sunshine Duration Variability in Haihe River Basin, China, during 1966—2015 [J]. *Water*, 2017, 9(10): 770.
- [6] 于海敬, 陈庭甫, 张庆国, 等. 基于空间插值技术的西藏日照时数时空变化特征及其影响因素 [J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2019, 45(1): 75-84.
- [7] 毛 飞, 卢志光, 郑凌云, 等. 近 40 年那曲地区日照时数和风速变化特征 [J]. *气象*, 2006, 32(9): 77-83.
- [8] 华 维, 董一平, 范广洲. 青藏高原年日照时数变化的时空特征 [J]. *山地学报*, 2010, 28(1): 21-30.
- [9] 西藏自治区统计局, 国家统计局西藏调查总队. 西藏统计年鉴 2018 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [10] RAICHIJK C. Observed Trends in Sunshine Duration Over South American [J]. *International Journal of Climatology*, 2012, 32(5): 669-680.
- [11] XIA X G. Spatiotemporal Changes in Sunshine Duration and Cloud Amount as Well as Their Relationship in China During 1954—2005 [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2010, 115(D7): 19-25.
- [12] KAISER D P, QIAN Y. Decreasing Trends in Sunshine Duration over China for 1954—1998: Indication of Increased Haze Pollution [J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(21): 2042.
- [13] LIAO W H, WANG X M, FAN Q, et al. Long-term Atmospheric Visibility, Sunshine Duration and Precipitation Trends in South China [J]. *Atmospheric Environment*, 2015, 107: 204-216.
- [14] ZHENG X B, KANG W M, ZHAO T L, et al. Long-term Trends in Sunshine Duration over Yunnan-Guizhou Plateau in Southwest China for 1961-2005 [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(15): 386-390.
- [15] 黄小燕, 张明军, 王圣杰, 等. 西北地区近 50 年日照时数和风速变化特征 [J]. *自然资源学报*, 2011, 26(5): 825-835.
- [16] 周晓宇, 张新宜, 崔 妍, 等. 1961—2009 年东北地区日照时数变化特征 [J]. *气象与环境学报*, 2013, 29(5): 112-120.
- [17] 杨小梅, 安文玲, 张 薇, 等. 中国西南地区日照时数变化及影响因素 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2012, 48(5): 52-60.
- [18] 华 维, 范广洲, 陈权亮, 等. 青藏高原年日照时数的年代际变化趋势 [J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(12): 1149-1155.
- [19] 顿珠罗布. 青稞产业价值链的攀升及产业升级研究——以西藏为例 [J]. *青海农林科技*, 2018(3): 75-79.
- [20] 刘依兰, 袁 雷. 影响西藏日喀则地区青稞产量的气候因子研究 [J]. *农业与技术*, 2013, 33(10): 190.
- [21] 万运帆, 李玉娥, 高清竹, 等. 西藏气候变化趋势及其对青稞产量的影响 [J]. *农业资源与环境学报*, 2018, 35(4):

374-380.

[22] 刘国一. 气候变化对西藏农业生产的影响 [J]. 西藏农业科技, 2019, 41(1): 49-54.

[23] XIA X. Variability and Trend of Diurnal Temperature Range in China and Their Relationship to Total Cloud Cover and Sunshine Duration [J]. Annales Geophysicae, 2013, 31(5): 795-804.

[24] SHEN X J, LIU B H, LI G D, et al. Spatiotemporal Change of Diurnal Temperature Range and Its Relationship with Sunshine Duration and Precipitation in China [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2014, 119(23): 13163-13179.

[25] 张玉芳, 吴冰洁, 陈超. 四川省小麦生长季农业气候资源的时空分布特征 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(4): 25-37.

[26] 刘义花, 汪青春, 王振宇, 等. 1971—2007 年青海省日照时数的时空分布特征 [J]. 资源科学, 2011, 33(5): 1010-1016.

[27] 付建新, 曹广超, 李玲琴, 等. 1960—2014 年祁连山日照时数时空变化特征 [J]. 山地学报, 2018, 36(5): 709-721.

On Variation Profile of Sunshine Duration in Growing Season of Tibetan Barley in Recent 60 Years

TAN Da-ming^{1,2}, JI Yong-yue³,
TAN Hai-yun^{1,2}, LIU Guo-yi^{1,2}, GAO Xue^{1,2}

1. State Key Laboratory of Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement, Lhasa, 850000, China;
2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Science, Lhasa 850000, China;
3. Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing, 400714 China

Abstract: The purpose of this paper is to explore the changing regularity of in the growing season of Tibetan barley in recent 60 years. Based on the data of sunshine hours and other meteorological elements of 28 meteorological stations in five major highland barley producing cities (Lhasa, shigaze, Shannan, Changdu and Linzhi) from 1956 to 2018, the inter annual spatial variation characteristics of sunshine hours in spring and winter growth season of highland barley in Tibet were analyzed by means of moving average, Mann Kendall test and Pearson correlation analysis. The results show that the sunshine hours of Linzhi, Shannan and Shigatse all showed a downward trend, and the latter two had a downward mutation point; Lhasa had ups and downs, while the overall trend remained stable; and Changdu had a clear and stable upward trend in the duration of the past 60 years. There was a significant negative correlation between sunshine hours and precipitation, average water vapor pressure, average relative humidity, but a significant positive correlation with the percentage of sunshine. The correlation between sunshine hours and meteorological factors remained unchanged, but the relationship was weakened.

Key words: Tibet; sunshine hours; highland barley; growing season

责任编辑 周仁惠