

文章编号: 1000-0534(2002)06-0615-07

祁连山海北高寒草甸地区紫外辐射特征 及其对植物生理作用的探讨

李英年¹, 王文英², 赵亮¹, 赵新全¹, 曹广民¹, 师生波¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 青海省气象台, 青海 西宁 810001)

摘要: 利用祁连山海北高寒草甸地区 2000 年植物生长期内的太阳辐射观测资料, 分析了该地区太阳紫外辐射(UV)在植物生长期内的日、季节变化特征, 以及在太阳总辐射(E_g)中所占的比例(α)。结果表明: 海北站地区 UV 较强, 瞬时极大值可达 $77 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 日总量最大达 $1.8 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上; 实际天气状况下月总量最大可达 $41.620 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ (5 月), 植物生长期内的 4 月到 10 月总量达 $218.651 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。UV 有明显的日、季节变化规律。日间 UV 所表现的单峰式曲线变化过程, 与总辐射变化有关。在晴天状况下, α 的变化下午高于上午, 日平均约为 0.048; 阴天状况下在 13:00~14:00 较高, 早晚低, 且随云层厚薄而发生显著的变化。同时表明, 阴天状况下的 α 值(0.053)高于晴天。就生长期实际情况来看, α 值在植物生长的前期较高, 植物生长后期较低, 植物生长期内平均约为 0.052。受强 UV 的影响, 高寒草甸几种主要植物, 其植物根、茎、叶的可溶性糖含量、淀粉含量、非结构性碳水化合物均较高, 且表现出日出后迅速增加, 植物根茎粗壮等, 植物的生理适应性及其植物体的结构发生改变, 致使高寒草甸植物具有明显的抗寒性功能机制和形态结构。

关键词: 植物生长期; 祁连山海北地区; 高寒草甸; 紫外辐射; 植物生理作用

中图分类号: P422.6⁺2 **文献标识码:** A

1 引言

近年来, 受人类活动作用的加剧, 大气组分发生了一些变化, 其中大气平流层臭氧浓度锐减, 地球表面接受到的紫外辐射(UV)强度明显增加^[1, 2]。UV 的增加, 不仅对人类的健康有一定的直接影响, 严重威胁到人类生存的环境, 而且对植物生理及发育过程也产生极为明显的影响。

UV 在太阳总辐射(E_g)中仅占有很小的比例, 但由于其强烈的生物生理学效应及化学效应, 在地球生态系统中的作用被人们所重视。气象学家、植物生态学家、农学家对 UV 的变化特征及对生物学效应的研究工作从未中断^[1~13]。在研究 UV 的同时, 对于 UV 的变化趋势及其生物效应也给予了高度重视^[14, 15]。

在高寒草甸地区的草地生态系统中, 植物生长发育独特, 其形态表现出植株低矮、粗壮、植物耐

寒, 叶片较厚、抗倒伏, 花色鲜艳并多呈蓝色等特征。这些特征的形成, 无疑是 UV 起着调节和控制作用, 进而也说明 UV 的变化对植物生长的生理作用极其重要。本文通过对海北高寒草甸地区 UV 的分布变化状况的研究, 探讨 UV 对高寒草甸植物可能产生的生理过程和作用, 为草地生态系统植物生理生化过程, 及其物质循环和能量流动的研究提供科学依据。

2 观测地点及资料

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)进行。海北站地处青藏高原东北隅, 祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河河谷地区(101°19' E, 37°37' N), 海拔高度为 3200 m。植被以寒冷中生、多年生地下芽草本植物矮嵩草为建群种的典型的高寒草甸。地势平坦, 植被分布均匀。土壤为高山草甸土, 土层浅薄, 土壤发育年青, 土

收稿日期: 2001-01-21; 改回日期: 2001-05-23

基金项目: 国家基础研究规划项目(1998040800); 中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-1-07); 国家自然科学基金项目(30170154); 中国生态网络研究长期监测和中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站基金共同资助

作者简介: 李英年(1962—), 男, 青海乐都人, 高级工程师, 主要从事生物气象研究。E-mail: li0970@163.com

壤含水量约为 38%~45%^[16]。

UV 的观测选择在该站气象站内进行,观测高度离植被冠层上方 1.5 m 处。同层次还进行 E_g 等其它项目的测定。其中 UV 的波段为 300~400 nm。本文以 2000 年度植物生长期 4~10 月观测资料进行分析。观测采用北京时(下同)。数据系每一小时正点前后 5 min 自动采集并输出其 10 min 平均值及其小时(h)累计值。仪器由机械工业部长春气象仪器研究所提供,上年度 10 月由中国科学院大气物理研究所统一安排进行技术标定。

3 结果与分析

3.1 UV 的日变化特征

选取植物生长期 4~10 月(植物生长期实际上约在 4 月下旬到 10 月上中旬)间每月典型晴天状况下的 4 月 21 日(植物返青初期),5 月 19 日(植物进入强度生长初期),6 月 19 日(近夏至日,植物强度生长),7 月 14 日(植物普遍花期),8 月 22 日(植物种子成熟初期),9 月 15 日(植物进入枯黄初期),10 月 17 日(植物完全枯黄)为研究个例。以上 7 天的天气状况基本为晴天,日平均云量分别为 1.3、2.7、1.0、0.3、3.0、1.7 和 4.0 成,且云系多分布于站区四周高山附近,对太阳遮蔽较少。图 1 给出了植物生长期上述 7 个晴天状况代表日 UV 及 E_g 的日变化观测结果。由图 1 可见,晴天状况下祁连山海北地区,在植物生长期内的不同主要阶段,UV 与 E_g 变化一样均表现有明显的日变化过程。其日变化在早晚低,午后 13:00~14:00 左右瞬时值达最高,表现一明显的单峰式曲线日变化过

程,只是在不同季节所表现的数值有所不同。

太阳高度角相对较低的 4 月 21 日和 10 月 17 日,UV 不论是瞬时值还是日总量均显得较低,日瞬时最大分别为 $77 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $40 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,出现在 13:00~14:00,两日对应的日总量分别为 $1.306 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $0.710 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$;在太阳高度较高,天气凉爽的 6 月 19 日和 7 月 14 日,UV 日瞬时值最大分别为 $72 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,分别出现在 13:00 和 14:00,日总量分别达 $1.851 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $1.808 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

为了比较晴天状况与阴天或多云天状况下的变化情况,我们选择了全天为阴天的 6 月 23 日和 7 月 27 日,以及多云天的 6 月 20 日和 7 月 6 日,来分析阴天或多云天状况下有关海北站地区的 UV 日变化情况(图 2)。由图可以发现,阴天状况下,UV 的变化也是随 E_g 的变化而变化。但阴天时, E_g 主要为散射辐射,UV 的日变化由天空散射辐射来决定。

6 月 23 日和 7 月 27 日,天空整天为 As op 云,日平均云量为 10 成,6 月 23 日 19:00~19:25 间有微量降水(0.0 mm),7 月 27 日 08:00~09:08、17:46~20:00 及夜间有较多的降水(夜间为 20.3 mm,白天为 3.3 mm)。由图 2 可见,该两日 UV 变化平稳,瞬时最高值分别出现在 12:00 或 13:00,分别为 $22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $21 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,但其日变化紧随 E_g 的变化而变化,基本上还是呈现单峰式的变化,其峰值只是随云层的厚薄所产生散射辐射强度不同而异。由图还看到,在云层较薄时(6 月 23 日),UV 的瞬时最大相对较高,而云层较厚的 7 月 27 日,UV

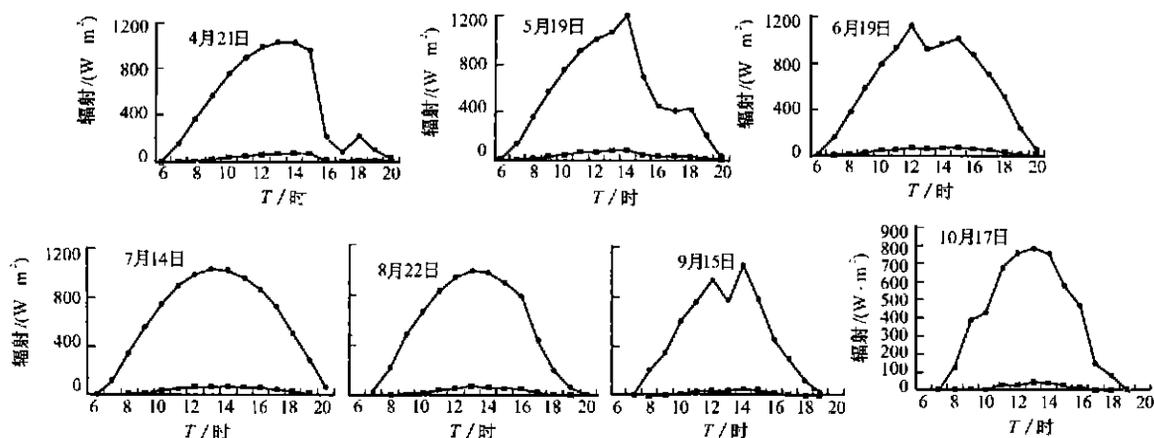


图 1 植物生长期海北站地区晴天状况下 E_g 及 UV 的日变化(单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

- - - : E_g , - - - : UV

Fig. 1 The diurnal change of E_g and UV under sunny condition in Haibei station area during plant growing period. (Unit: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

的瞬时最大则相对较低。

3.2 实际天气状况下 UV 在植物生长期的季节变化
在植物生长期由实际天气状况测定 UV 的

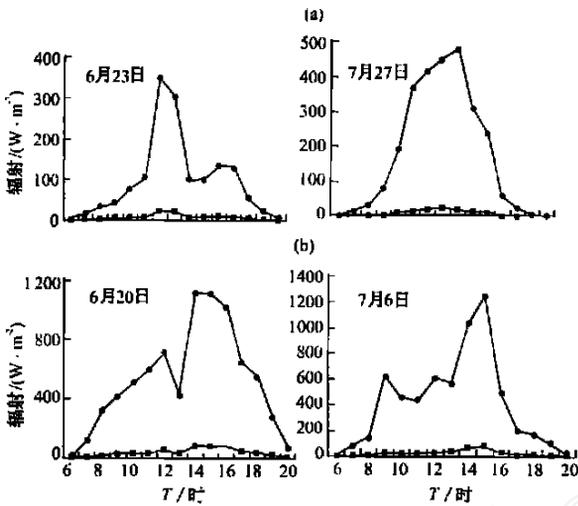


图 2 植物生长期海北站地区阴天 (a) 和多云天 (b) 状况下 E_g 及 UV 的日变化 (单位: $W \cdot m^{-2}$)

Fig. 2 The diurnal change of E_g and UV under overcast (a) and cloudy (b) condition in Haibei station area during plant growing period. (Unit: $W \cdot m^{-2}$)

季节变化表明 (表 1), 海北高寒草甸地区 UV 在植物生长初期的 5 月, 由于降水仍然较低, 空气干燥, UV 的月总量最高, 为 $41.620 MJ \cdot m^{-2}$ 。2000 年 7 月上中旬干旱少雨, 加之该月离夏至日相对接近, 太阳高度角较大, 7 月的 UV 为 $39.876 MJ \cdot m^{-2}$, 是植物生长期 UV 出现的次高月。9~10 月由于太阳高度角降低, 且在 2000 年的该期降水相应丰富, 致使 UV 在植物生长期为最低时期, 两月平均为 $18.446 MJ \cdot m^{-2}$ 。植物生长期基本表现出随季节进程在 5~7 月高, 植物生长期的初期和末期较低的变化趋势, 但由于受降水、云系、天气尘埃等影响, 波动性较强, 变化显得稍为复杂。

在植物生长期内的 4~10 月间, 海北站地区 UV 总量为 $218.65 MJ \cdot m^{-2}$, 日平均约为 $1.0212 MJ \cdot m^{-2}$ 。这比我国东部地区的同期要高^[4, 8], 但与青藏高原中部地区基本一致^[3, 7]。

3.3 UV 日变化在 E_g 中所占的比例

选择上述 7 个典型天气状况的 UV 及 E_g 测定结果, 进行 UV 对 E_g 所占比例 () 计算列于表 2。由表 2 看到, 晴天状况下海北高寒草甸地区 的日

表 1 植物生长期海北站地区实际天气状况下 $E_g (MJ \cdot m^{-2})$ 、UV ($MJ \cdot m^{-2}$) 及 UV/ E_g 的月变化

Table 1 The monthly change of $E_g (MJ \cdot m^{-2})$, UV ($MJ \cdot m^{-2}$) and UV/ E_g under real weather condition in Haibei station area during plant growing period

	月份							合计或平均
	4	5	6	7	8	9	10	
E_g	598.343	708.725	613.246	747.783	654.527	456.974	447.491	4227.089
UV	35.409	41.620	34.904	39.876	29.950	19.605	17.287	218.651
UV/ E_g	0.0592	0.0587	0.0567	0.0533	0.0458	0.0429	0.0386	0.0517

表 2 植物生长期海北站地区晴天状况下不同季节 的日变化

Table 2 The diurnal change of under sunny condition in Haibei station area in different seasons during plant growing period

日期 (月/日)	北 京 时												日平均	
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		19
04-21			0.032	0.053	0.058	0.066	0.079	0.065	0.054	0.070	0.065	0.042	0.018	0.055
05-19		0.014	0.041	0.053	0.061	0.062	0.069	0.065	0.064	0.063	0.059	0.050	0.015	0.051
06-19	0.025	0.035	0.038	0.053	0.060	0.064	0.065	0.072	0.069	0.069	0.067	0.058	0.026	0.052
07-14		0.019	0.022	0.049	0.057	0.062	0.064	0.066	0.065	0.064	0.057	0.050	0.011	0.049
08-22			0.027	0.033	0.053	0.058	0.073	0.063	0.065	0.062	0.053	0.036		0.052
09-15				0.026	0.042	0.049	0.050	0.053	0.058	0.047	0.034	0.016		0.042
10-17				0.023	0.046	0.041	0.051	0.053	0.049	0.036				0.040
平均		0.022	0.032	0.039	0.054	0.058	0.064	0.062	0.060	0.059	0.056	0.042	0.017	0.048

变化同 E_g 及 UV 的日变化规律一样, 在 E_g 达最大时, 值为最高。值所表现的特征主要有: (1) 一日间中午最高在 0.050 以上, 最大达 0.079 (4月21日 13:00); (2) 在离夏至日较近的 6月19日, 由于太阳高度角高, E_g 较大, 值较高, 如 14:00 值达 0.072, 日间 值在 0.050 以上的时间在全天维持时间要占 9 h 以上; (3) 在气候相对干燥的春夏交替阶段, 值较雨水充沛的夏秋阶段高, 如从一日间实有次数统计结果来看, 4~6月平均为 0.052, 比 7~10月(平均为 0.046)高 0.006; (4) 对 7个代表日按相同时间进行实有次数统计结果表明, 一日内, 值似乎表现出上午较低, 而下午较高。为了比较, 不妨以 13:00 为界(由于海北站所处地区, 其地方时间与北京时间相差 1 h 13 min 左右, 故 13:00 基本可代表海北站当地正午时间)分别统计上午与下午 值的平均变化状况。计算发现, 7个代表日 08:00~12:00 间 5 h 平均为 0.041, 14:00~19:00 为 0.049, 上午比下午低 0.008, 而且在下午维持时间较长, 这可能与下午空气干燥, 辐射易到达地表有关, 同时也与近地表空气湿度的垂直分布有关。在海北站地区约在 20:00 到次日 11:00 左右可出现“逆温”现象^[17], 对现有的资料分析也表明, 这里在白天也可多出现“逆温”现象。另外, 统计了 7个代表日的日平均情况, 7天间 11:00~15:00 之间平均为 0.059, 表现出海北站该时间值具有很高的量值。而从 7天全天平均来看, 值为 0.048。这些值高于戴加洗等^[18]于 1976 年在唐古拉地区的同期测定值(约 0.032)^[18], 也明显高于当时在相同时期在拉萨(约 0.027)、西宁(约 0.022)及上海(约 0.025)等地的测定值^[18]; 进入 80~90 年代以来, 季国良等^[3]、江灏等^[7]对那曲、拉萨和五道梁等地区进行了测定, 发现 1982 年 8月到 1983 年 7月那曲为 0.041, 拉萨为 0.040^[3], 而我们观测到的 4~10月间平均值也和上述值相

同。1993 年 9 月至 1994 年 8 月五道梁地区值为 0.043, 其中 4~10 月约为 0.044^[7]。可见海北站地区的 值分布有较高的量值, 与北京地区的测定结果^[5], 以及河西地区的测定结果^[6, 19]相比, 也显得很高。这可能不仅与地区所处的地理环境条件有关, 而且与随年代的推移, 受人类活动影响加剧, 对流层臭氧遭受破坏严重有关。已有的研究证实^[20, 21], 青藏高原上空是臭氧分布的一低值区, 即“臭氧低谷”现象, 这恰恰印证人类活动加剧对臭氧分布减少的可能, 从而减少对 UV 的吸收, 致使 UV 到达地表量在近几年有增加的趋势。

同样, 以全天为阴天的 6月23日和 7月27日, 以及多云天的 6月20日和 7月6日来分析阴天和多云天状况下 值的变化情况(表 3)。阴天状况下(6月23日和 7月27日日平均为 0.053)的值明显高于多云状况下(6月20日和 7月6日日平均为 0.044)的值, 同时高于实际天气状况的 4~10月的平均值(0.052)。这说明在云系的存在下, UV 的量值可能减少(这点可从图 1 和图 2 的比较中得到证实), 但 UV 占 E_g 的比例 值可不随云量的多少而发生改变, 甚至有增大的可能。

3.4 实际天气状况下 UV 在 E_g 中所占比值()的季节变化及与环境条件的关系

统计 2000 年植物生长期实际天气状况下各月 UV 与 E_g 的值发现(表 1), 值的季节变化较为明显, 一般在植物生长期内的前期较高, 如 4~6 月平均达 0.058, 而后期较低, 如 8~10 月平均为 0.042, 比 4~6 月低 0.016。说明 值的变化与气候的干燥程度有很大的关系, 而与太阳高度角关系不甚明显。这与一日间 值的单峰式分布不一样, 一日间 值的分布状况看起来与太阳高度角有关, 太阳高度角为最大时, 其 值为最高, 而实际天气状况下 值的季节变化过程并非出现与太阳高度角高低相关的现象。究其原因除与气候的干燥等

表 3 植物生长期海北地区阴天和多云天状况下不同季节 的日变化

Table 3 The diurnal change of under overcast and cloudy condition in Haibei station area in different seasons during plant growing period

天气状况	日期 (月-日)	北京时													日平均
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
阴天	06-23	0.071	0.065	0.071	0.067	0.069	0.063	0.067	0.071	0.070	0.060	0.055	0.060	0.050	0.065
	07-27			0.025	0.052	0.041	0.043	0.047	0.040	0.039	0.038				0.041
多云天	06-20	0.009	0.022	0.046	0.048	0.052	0.035	0.054	0.066	0.068	0.071	0.064	0.057	0.026	0.048
	07-06	0.025	0.027	0.026	0.041	0.046	0.041	0.053	0.060	0.061	0.049	0.041	0.035	0.021	0.040

因素有关外,更具体的原因有待进一步研究证实。

一般来讲,在纬度、经度不变的情况下,值将随海拔高度而增加, Madronich 等^[2]曾对不同地区 UV 随海拔高度变化的研究表明,在智利边远山区,高度增加 1 km, UV 将增加 4%~10%,而在瑞士的阿尔卑斯山地区,高度增加 1 km, UV 增加 9%~23%。戴加洗等^[18]在 1976—1977 年进行青藏高原考察后研究证实,我国青藏高原值明显高于东部地区。同样,在其它条件不变的情况下,随纬度增加,由于太阳高度角将降低,值依日变化的情况将证实也出现降低的可能。在我国西部地区,由于工业化程度相对东部地区较弱,大气污染较轻,又远离海洋,空气干燥,水汽含量低,大气透明度大,空气清洁。近年研究又证实青藏高原上空出现“臭氧低谷”区域^[20,21],对太阳短波辐射的吸收将减小,从而会导致较多的辐射易到达地表,致使 UV 占 E_g 的比例相应增加。所以值有可能相应加大。

在植物生长期内的 4~10 月,海北站地区实际天气状况下 UV 与 E_g 的值平均约为 0.052。这比低海拔地区的黑河流域^[6,19]、高海拔地区的五道梁地区 and 那曲地区^[3,7],以及同海拔高度的拉萨^[3]等地的同时期均较高。从表面上看,这与过去的研究认为值表现出随海拔高度的加大而有所增加有点不一致,但实际上并非出现较大的矛盾,原因是:(1) 随海拔高度的增加,空气水汽含量、气溶胶等减少,空气清洁,大气透明度大,致使 E_g 加大,与之相应的 UV 也较大,即 UV 的大小是因 E_g 的强度大小而异,从而可造成值的增加;(2) 随人类活动的加剧,致使大气平流层臭氧浓度按一定速度减少^[20],而文中的比较是用 2000 年度的测定值与过去的(最近的是 1994 年测定值)测定结果进行比较,因而由于时间的滞后性有相矛盾的可能;(3) 从不同地区的比较后还可以认为,值的变化不仅仅是与海拔高度的关系,它与地理环境、地理位置、气候状况等也有很大的联系,是上述不同因素的综合关系。

3.5 UV 对高寒草甸植物生理作用的探讨

在青藏高原分布有大面积的高寒草甸植被,是重要的天然放牧草场。不仅如此,高寒草甸主要分布区还是我国黄河、长江的发源地。由于高寒草甸植物生长密集,植被覆盖度明显高于温性及荒漠草原,其植物根系盘根错节,具有较强的持水和滞水能力,合理利用和保护这些草地,可以起到涵养水

源,有效地控制水土流失,防止土地荒漠化,为我国东部地区工农业发展提供保证是重要的一个环节。那么,对该地区的研究工作,要从各方面进行,特别是加强各学科间的交叉性研究是极其重要的,为此对植物生理学与气象学之间的相互渗透的共同研究也是实有必要。

UV 波段较短的部分能抑制植物生长,能杀伤病菌孢子,对大多数植物具有伤害性,波段更短的 UV 可直接杀死植物。波长较长的 UV 可对植物生长产生刺激作用,表现在能促进种子发芽,果实成熟,并能提高蛋白质含量。在青藏高原明显的特征是,受 UV 的强烈影响,高寒草甸植物茎部短,叶面积小,根部发达,叶绿素含量高,色彩鲜艳多丽,干物质积累迅速。这些也就构成了高寒牧草品质优良,营养丰富,具有高蛋白、高脂肪、高无氮浸出物,以及热值含量高和纤维素含量低等四高一低的特点,形成了青藏高原草地畜牧业发展的物质基础。

通过对海北站几种主要高寒草甸植物调查分析表明,其植物根、茎、叶的可溶性糖含量及其淀粉含量均表现出日出后开始增加,到 18:00 左右达到最高,以后开始逐渐下降(图略),这与该地区 UV 较强有很大的相关性。由于海北站地区 E_g 强烈,昼夜温差大,在最暖的 7 月仍可能出现日最低气温 -3.0 及其以下的低温环境,早晨常出现结冰和霜冻等冬季所能有的天气现象,使植物在低温环境下较多地出现短时的“湿冻”现象过程。但受强 UV 的影响,植物根茎发育粗壮,早晨日出后,在强 E_g 的照射下,温度很快得以上升,处于结冰状态的高寒草甸植物的霜冻和结冰很快融化,恢复其正常状态,而不致于使植物受到伤害,相反夜间的低温使植物体呼吸作用减弱,白昼较高的温度使植物得以生长发育迅速,有利于干物质的积累,相应使植物体内的非结构性碳水化合物增加迅速。碳水化合物积累过程的变化,不仅与 E_g 、气温等变化过程一致,而且也与相对应的 UV 变化过程有相同的趋势。在海拔较低的地区,如果有同样 E_g 的强度或气温变化过程时,早晨较低的温度(-0 以下)影响,植物将会出现冻死或冻坏。这说明在较高的 UV 影响下,高寒草甸植物其生理适应性形成了较高的含糖量及其强壮的植物体结构,因而也明显地提高了高寒草甸植物的抗寒性功能机制和形态结构。因此表明 UV 的增加也有对植物生长发育有利的一面。

4 小结

通过以上分析表明,祁连山海北站地区 UV 有如下特征:

(1) 祁连山海北高寒草甸地区,UV 具有较高的量值,瞬时极大值可达 $77 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,日总量最大达 $1.8 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上;实际天气状况下月累计量最大可达 $41.620 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ (5月);植物生长期内的4月到9月总累计量达到 $218.651 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。UV 有明显的日、季节变化规律。日变化所表现的单峰式曲线变化过程,与太阳高度角变化所引起的总辐射变化相关。

(2) 一日间 值的变化在晴天状况下表现为下午高,上午低,日平均约为 0.048;阴天状况下则表现出 13:00~14:00 较高,早晚低,且随云层厚薄而发生显著的变化过程;同时,阴天状况下的值(0.053)高于晴天状况。就生长期季节实际情况来看, 值在植物生长前期较高,植物生长后期较低,植物生长期平均约为 0.052。

(3) 从不同地区的比较后还可以认为, 值的变化不仅仅只是海拔高度的关系,它与地理位置、地理环境、当地气候状况等也有很大的联系,是上述因素的综合关系。

(4) 受 UV 的强烈影响,高寒草甸植物茎部短,根系发达,叶面积小,叶绿素含量高,色彩鲜艳多丽,干物质积累迅速。这些也构成了高寒牧草品质优良,营养丰富,具有高蛋白、高脂肪、高无氮浸出物,以及热值含量高和纤维素含量低等四高一低的特点,故形成青藏高原草地畜牧业发展的物质基础。

(5) 受强 UV 的影响,高寒草甸几种主要植物根、茎、叶发育粗壮,植物体可溶性糖含量及淀粉含量、非结构性碳水化合物均较高。植物的生理适应性及其植物体的结构发生改变,致使高寒草甸植物具有明显的抗寒性功能和形态结构。

参考文献

- [1] Frederick J E, H K Snoli, E K Haywood. Solar ultraviolet radiation at the earth surface[J]. Photochem Photobiol, 1989, 50
- [2] Madronich S, R L Mckenzie, M M Caldwell et al. Change in ultraviolet radiation reaching the earth surface[J]. Ambio, 1995, 24(3): 143 - 152
- [3] 季国良, 陈有虞. 青藏高原的紫外辐射[J]. 高原气象, 1985, 4(4 增刊): 112 - 121
- [4] 周允华. 中国地区的太阳紫外辐射[J]. 地理学报, 1986, 41(2): 132 - 143
- [5] 白建辉, 王庚辰. 北京地区太阳辐射的基本特征[J]. 太阳能学报, 1993, 14(3): 245 - 250
- [6] 江灏, 季国良, 吕兰芝. HEIFE 绿洲区的太阳紫外辐射[J]. 高原气象, 1994, 13(3): 346 - 352
- [7] 江灏, 季国良. 五道梁地区的太阳紫外辐射[J]. 高原气象, 1996, 15(2): 141 - 146
- [8] 颜景义, 郑有飞, 杨志敏等. 地表太阳紫外辐射强度变化对小麦影响及其对策[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(3): 416 - 420
- [9] 陈万隆. 农作物对紫外辐射(UV)的反射与吸收[J]. 中国农业气象, 1995, 16(2): 9 - 12
- [10] 郑有飞, 杨志敏, 颜景义等. 作物对太阳紫外辐射增加的生物效应及其评估[J]. 应用生态学报, 1996, 7(1): 107 - 109
- [11] 傅玮东. 新疆红外与紫外辐射的时空分布规律[J]. 干旱区地理, 2000, 23(2): 116 - 122
- [12] Callidwell M M. Solar UV irradiation and the growth and development of higher plants[M]. In: A C Geisced. ed. Phytophysiology. New York: Academic press, 1971. 6: 131 - 137
- [13] Hiroshi Suge, Tadashi Sato and Tadashi Kumagai UV-B injury in rice plants: A genetic study[J]. Jpn J Genet, 1991, 66: 347 - 361
- [14] Sctto J, G Cotton, Urbach et al. Biologically effective ultraviolet radiation: Surface measurements in the United States, 1974 to 1985[J]. Science, 1988, 239: 762 - 764
- [15] Henriksen T, A Dahlback, S H Larsen et al. Ultraviolet-radiation and skin cancer, effect of an ozone layer depletion[J]. Photochem Photobiol, 1990, 51(5): 579 - 582
- [16] 李英年, 王启基, 周兴民等. 高寒草甸植物群落的环境特征分析[J]. 干旱区研究, 1998, 15(1): 54 - 58
- [17] 李英年, 师生波, 曹广民等. 祁连山海北高寒草甸地区微气候特征的观测研究[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 512 - 519
- [18] 戴加洗, 李鹏杰, 苏宏德. 唐古拉山地区辐射状况和冷热源的探讨[C]. 青藏高原气象论文集. 北京: 科学出版社, 1977. 176 - 193
- [19] 马晓燕, 季国良. 河西地区绿洲和沙漠的紫外辐射[J]. 太阳能学报, 1994, 15(4): 330 - 334
- [20] 周秀骥, 罗超, 李维奇等. 中国地区臭氧总量变化与青藏高原异常低值中心[M]. 见: 周秀骥主编. 中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响(1). 北京: 科学出版社, 1996. 232 - 238
- [21] 郭松, 周秀骥. 青藏高原大气臭氧垂直廓线的观测研究[J]. 科学通报, 1994, 39(1): 17 - 26

The Characteristics of Ultraviolet Radiation and Its Physiology Effect on the Plants in the Area of Haibei Alpine Meadow of Qilian Mountain

LI Ying-nian¹, WANG Wenyong², ZHAO Liang¹,
ZHAO Xin-quan¹, CAO Guang-min¹, SHI Sheng-bo¹

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China;

2. Meteorological observatory of Qinghai Province, Xining 810001, China)

Abstract : The diurnal and seasonal varying characteristics of solar ultraviolet radiation and the ratio () of UV to total radiation during the plant growing season were analysed by observed radiation data in the area of Haibei alpine meadow of Qilian mountain in 2000. Ultraviolet radiation was higher in this area. The instant maximum ultraviolet radiation was $77 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, the total maximum ultraviolet radiation in a day was more than $1.8 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, the accumulated ultraviolet radiation in a month was $41.620 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ (May) under the real weather condition; the total accumulated ultraviolet radiation was $218.651 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ during the plant growing season (from April to October). The ultraviolet radiation had obvious diurnal and seasonal changing pattern in this area. The diurnal variation of ultraviolet radiation showed as a single peak curve which was related with the total radiation change caused by the change of sun's altitude. The change of in a sunny day was higher in the morning, lower in the afternoon, average value was 0.048; whereas the change of in a cloudy day was higher from 13:00 to 14:00, lower in the morning and night, and changed obviously with the change of cloudy amount. The in a overcast day was higher than that in a sunny day. was higher in the prior plant growing period, lower in later plant growing period and the average was about 0.052. Owing to the strong UV effect, the soluble sugar, starch and non-structural carbon-hydrate component quantity of root, stem and leaf of several main plants were higher and showed as the rapidly increase after the sun rise; plant root, stem and other organs were thicker and stronger. The plant physiology adaption and its structure chinging made the alpine meadow plants had obvious functional mechanism and morphological structure against cold conditions in alpine meadow under the influence of stronger ultraviolet radiation.

Key words : Plant growing period; Haibei area in Qilian mountain; Alpine meadow; Ultraviolet radiation; Plant physiology