

高山线叶嵩草草地的第一性生产和光能转化率

胡自治 孙吉雄 张映生 徐长林

(甘肃农业大学草原系, 武威, 黄羊镇)

张自和

(甘肃草原生态研究所)

摘 要

甘肃天祝金强河地区线叶嵩草草地上、地下和全群落的净第一性生产力分别为340.09、780.36和742.50克/米²·年干物质,或307.79、671.15和641.53克/米²·年去灰分物质。地上部分各种净营养物质生产力为粗蛋白50.29、粗脂肪8.49、无氮浸出物159.28、粗纤维89.40和粗灰分32.12克/米²·年(其中钙3.65、磷0.51)。地上、地下和全群落的最大热量现存量分别出现在8月21日、6月20日和10月23日,其值分别为6927.16、93417.93和101541.16千焦/米²。地上、地下和全群落以能量表示的净第一性生产力分别为6319.39、17426.11和14856.59千焦/米²·年。地上、地下和全群落对太阳总辐射的转化率分别为0.110、0.303和0.258%。地上部分对可见光生理辐射的转化率为0.224%,对≥0℃—≤0℃生长期的有效生理辐射的转化率为0.404%。在生长期的不同时期,地上部分对总辐射的转化率有很大的变化,7月20—8月21日期间最大,可达0.464%。

一、引 言

高山线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*)草地是高山草地的主要类型之一。适于西藏羊和牦牛放牧利用。

关于线叶嵩草草地的路线性群落结构和产量研究的资料国内已有不少,但定位性的研究国内尚未见报道。本文研究目的是在定位研究的基础上,了解线叶嵩草草地群落的结构、地上、地下生物量的季节动态及其净第一性生产力和光能转化率等,给草地的合理利用、培育和评价提供基础性的资料。

二、材料和方法

试验地 试验草地样区位于天祝县金强河上游永丰滩甘肃农业大学高山草原试验站附近的二级阶地上。海拔2930米,坡度1—2°。年平均气温0.3℃,7月平均11.9℃,1月平均-18.4℃,>0℃积温1522℃;年降水量414.5毫米,年蒸发量1427.3毫米。无绝对无霜期,但草地植物的生长期仍有130—140天。土壤为冲积母质上发育的高山草甸土,土层厚1—2

本文于1986年12月18日收到。

米, 粉砂壤为主, 0—10厘米的有机质含量达14%或更多。

草地样区有长久的放牧利用史, 用作春秋放牧地。1980年春季放牧后建立固定样地 750 米²、用刺铁丝围栏和网围栏双层保护, 休闲, 使草地植被恢复。

取样和观测 1980年9月18日取样一次, 1981年6—11月每月20日左右取样一次。地上部分取样面积0.25米², 重复3次, 齐地面刈割。地下部分用直径10厘米的特制土钻, 在地上部分取样后的样方中取样, 重复3次; 取样深度0—50厘米, 分5层取样, 每个原状土柱高10厘米。群落的外貌及分析特征除在取样时观测外, 还有补充观测。

样品处理 地上部分区分为现存量、立枯物和凋落物。由于植被低矮, 多莲座植物, 一些立枯物难以和凋落物区别, 因此在统计中将二者合并处理。将上述三部分装布袋风干, 称风干重; 再经105℃ 4—6小时烘干至恒重, 得绝干重。然后将样品用植物样品粉碎机粉碎。装有色玻璃瓶中备热值和营养成分分析用。

采到的地下部分原状土柱装入双层纱布袋浸泡于流动水中, 洗去细小泥沙后, 再移到较大的容器中, 反复冲洗、过滤, 去掉大的砂石, 目测拣出明显的活根、死根和非根物质, 然后用比重法区分剩余的细小活根和死根。将漂浮于水面和沉淀于器底的黑褐色半分解物质认作死根, 浮游于水中层部分的物质认作活根。此法经与TTC(红四氮)染色法分根比较, 两种方法无显著差异(李光棣, 1986)。根样迅速风干后, 再经105℃ 4—6小时烘干至恒重, 称绝干重, 粉碎、装瓶, 备分析用。

其他的测定和观测 营养成分用常规化学分析方法测定, 热值用Parr自动绝热式测热仪测定, 太阳辐射用L-3型累积式辐射仪观测。

三、结果与讨论

1. 群落的一般特征

群落种的饱和度为20—25种/米², 最高可达30余种。7—8月地上部分茂盛时总盖度90—95%, 甚或100%。草层结构只有两层, 第一层以线叶嵩草、禾草和杂类草为主, 高20—30厘米; 第二层以花苜蓿(*Trigonella ruthnica*)及莲座状杂类草为主, 高5—10厘米。苔藓层不发达, 在多雨季节分盖度可达10%。草地的优势种是中亚高山成分、典型冷中生的线叶嵩草, 高15—25厘米, 分盖度30—50%, 多度cop.2或cop.3, 频度100%。亚优势种为异针茅(*Stipa aliena*)和球花嵩草(*Artemisia smithii*)等。小洼地上常散生有金露梅(*Dasiphora fruticosa*)。

草层在5月初返青, 最先返青的是线叶嵩草、嵩草(*Kobresia bellardii*)、矮生嵩草(*K. humilis*)、草地早熟禾(*Poa pratense*)、钝叶银莲花(*Anemone geum*)、多茎委陵菜(*Potentilla multicaulis*)等。三种嵩草在5月下旬、早熟禾在6月上旬即抽穗, 7月中、下旬种子成熟。异针茅、紫花针茅(*Stipa purpurca*)、豆科草类及菊科草类发育节律较晚, 7月中、下旬才进入开花盛期, 8月中、下旬种子成熟。7月中旬之前, 嵩草、早熟禾等抽穗, 开花结实, 占明显优势; 7月中旬之后, 其他禾草、杂类草开花结实、生长高大, 线叶嵩草的优势度降低。

线叶嵩草群落地下部分的垂直分异十分明显, 随深度增加生物量急剧减少。生长期平

均, 总根的61.85%分布在0—10厘米的土层中, 40—50厘米深度的分布仅为4.55%。6—10月平均, 地下生物量与土壤深度的关系可用指数回归方程 $Y = ax^b$ 很好地表达(图1)。式中 Y 为根干物质克/米², x 为1厘米厚的土层深度厘米。

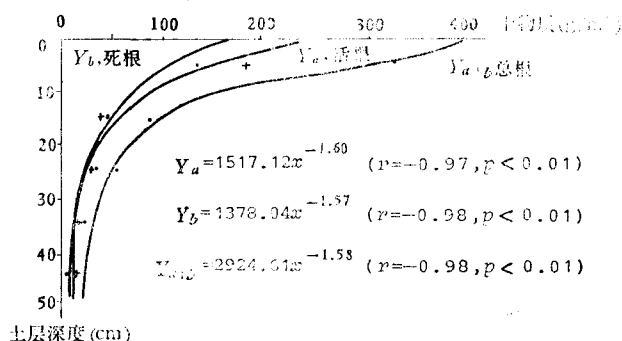


图1 线叶嵩草草根生物量与土壤深度的关系

Fig.1 Relationships between roots biomass and depths of soil in *Kobresia capillifolia* grassland

2. 生物量的季节动态

草地生物量的月动态值如表1。

表1 线叶嵩草草地生物量季节动态(克/米², 干物质)

Table 1 Seasonal dynamics of biomass in *Kobresia capillifolia* grassland (g/m², DM)

日/月年	18/IV, 1980	20/VI, 1981	20/VII	21/VIII	22/IX	23/X	20/X
生物量							
现存量	128.53	104.23*	145.51	246.06	126.58	0	0
立枯物+凋落物	112.45	32.93	62.27*	126.96*	172.17	274.98	232.08
地上小计	240.98	137.16	207.78	373.02	298.75	274.98	232.08
活根	2255.06	2906.79*	2868.49*	2359.29	2681.51	2930.18	—
死根	2100.16	2577.01	2513.56*	2358.22	2050.09	2567.69	—
地下小计	4355.82	5483.80	5382.05*	4717.51	4731.60	5497.87	—
群落总计	4596.80	5620.96	5589.83	5090.53	5030.35	5772.85	—

* 标准差 > 10%

如以5月1日开始返青时为起点, 作为生长时间函数的地上生物量, 可用多项式回归方程模拟(图2), 式中 Y 为生物量克/米²干物质, x 为生长天数, 5月1日为0。

地下生物量6—10月平均为5162.55克/米²干物质, 高于R.H. Whittake和G. E. Likens (1975) 综合的高山和冻原生物量正常范围高限的3千克/米²干物质, 相当于温带草原的5千克/米²。在时间变化上, 总根量6—10月呈U形曲线(图3)。如以5月1日返青时为起点, 总根、活根

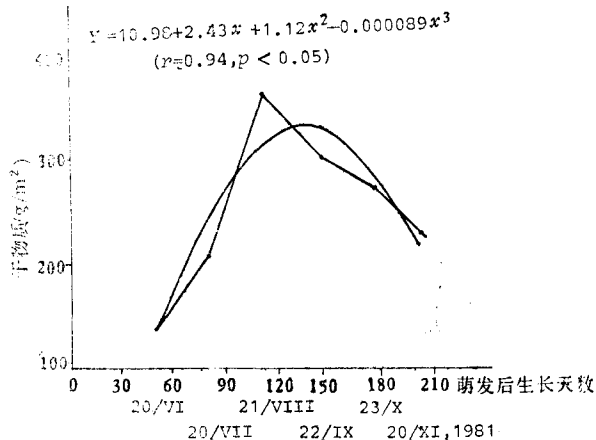


图2 线叶嵩草草地地上生物量与生长时间的关系

Fig.2 Relationships between aboveground biomass and growing days in *Kobresia capillifolia* grassland

和死根生物量与生长时间的关系可用多项式回归方程模拟(图3)式中 Y 为根生物量克/米²干物质, x 为生长天数,5月1日为0。

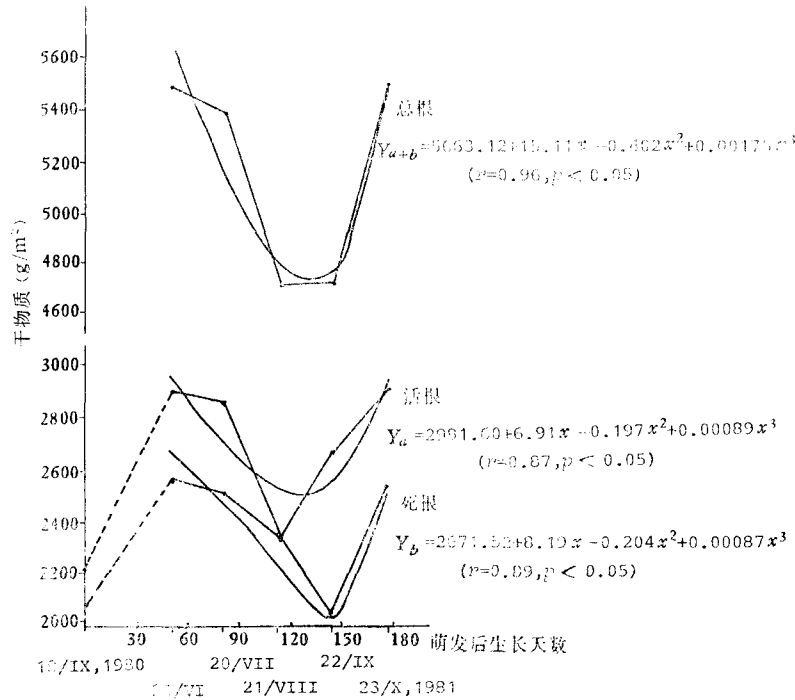


图3 线叶蒿草地下生物量与生长时间的关系

Fig 3 Relationships between underground biomass and growing days in *Kobresia capillifolia* grassland

活根生物量从春季返青到8月21日一直处于下降过程,这是因为7月中旬之前,优势植物线叶蒿草及其他春季开花植物生长发育的需要,消耗了活根的贮藏物质;紧接着禾草和其他夏秋型植物的生长高峰又来到,大部分禾草和杂类草种子成熟,蒿草分蘖芽形成,又需要地下贮藏的营养物质的补充,以至使活根量下降到最低点。8月21日之后,活根量几乎直线上升,在地上部分完全枯死后10—15天的10月23日达最高值。这种情况表明,植物在越冬前向地下输送营养物质的输能力很强。在15天左右,通过光合作用制造这么多的营养物质并输送到地下是不可能的。那么在土表结冻前(10月27日)植物将本身的现存营养物质也向地下输送,这就是地下部分增量的另一重要来源。

死根量的消长模式与活根大致相同,只是最低点出现得较活根晚一个月。死根减少的基本原因是分解,在这里和土壤的水热条件,尤其是热量条件有密切的关系。当地5—20厘米深处的平均地温以8月最高,为12—15℃,9月相当于6月的水平,为8—10℃,10月迅速降低到3—4℃。从地温条件可以看出,死根分解可以持续到10月底,8月是分解最强烈的时期。根据线叶蒿草死根量曲线。地上部分生长的状态以及地温条件,可以作出如下的判断:6月20—7月20日之间死根量下降缓慢,是由于生长期早期生长发育的蒿草、早熟禾和一年生植物随种子成熟,与死亡的生殖枝有联系的根死亡,死根有所补充以及6月地温尚低,分解尚缓的缘故,9月22日以后死根急剧上升,是因为全部植物枯黄,根大批死亡,而此时又值低温,分解甚少两种原因所形成。

3. 净第一性生产力

根据国际生物学规划出版的一些手册,草地净第一性生产力 (P_n)的测定以最小和最大生物量为基础,用公式表示为:

$$P_n = \Delta B + L + G$$

式中: ΔB 为 t_1-t_2 期间现存量的增量, L 为凋落物量, G 为动物牧食量,单位可以是克/米²·年干物质。

线叶嵩草草地地上部分的现存量返青时为0,故其8月21日的最大值(表1)即为其增量,为246.06克/米²·年干物质,或226.15克/米²·年去灰分物质。立枯物+凋落物量用此期内8月21日最大量和6月20日(应为返青时)最小量之差近似计算,为94.03克/米²·年干物质,或81.82克/米²·年去灰分物质。由于样地是封闭的,无牧食消耗,因此净第一性生产力为上述两项之和——340.09克/米²·年干物质,或307.97克/米²·年去灰分物质。此值较杨福国等(1985)在青海海北高山矮生嵩草草地测得的净第一性生产力高27.33克/米²·年干物质。

地下部分10月23日最大量与8月21日最小量(表1)之差为780.36克/米²·年干物质,或671.15克/米²·年去灰分物质,此即地下部分的净第一性生产力。分别计算,活根为570.98克/米²·年干物质,或489.27克/米²·年去灰分物质;死根为209.47克/米²·年干物质,或181.88克/米²·年去灰分物质。这里需要说明,由于测定技术的限制,死根的分解量和被土壤动物的采食量等损失无法求得,因此按此法计算的地下部分净第一性生产力是偏小的值。考虑到这里的线叶嵩草草地是较稳定的群落,土壤温度较低,土壤动物较少(无蚯蚓),因此这个偏小的值还是有一定参考意义的。如与杨福国等(1985)在矮生嵩草草地按此法测得的地下部分净第一性生产力654克/米²·年干物质相比,线叶嵩草草地高16.20%。不过他们最后一次根的取样是在9月5日,此时植物地上部分尚未完全枯死,如延后测定,相信该草地地下部分净第一性生产力还会高一些。

线叶嵩草草地地上加地下的全群落的生物量,最小量在9月(8月也极接近此值),最大量在10月(表1),两者之差即全群落的净第一性生产力为742.50克/米²·年干物质,或641.53克/米²·年去灰分物质。可以看出,全群落的净第一性生产力不仅不是地上和地下净第一性生产力之和,甚至还较地下部分少38.08克/米²·年干物质。这是由于地上部分和地下部分的营养物质在生长期互相转换,两者生物量的最大值和最小值不是同时出现,地上部分的最大和最小值分别出现在8月和6月,而地下部分分别在10月和8月,全群落却分别出现在10月和9月的缘故。

4. 净营养物质生产力

根据净第一性生产力和现存量、立枯物+凋落物、活根以及死根的营养物质含量季节动态计算的线叶嵩草草地净营养物质生产力如表2。与净第一性生产力的情况相似,各种营养物质(粗脂肪和磷例外)的净生产力也表现为地上部分<地下部分>全群落。全群落的净粗脂肪生产力高于地下部分,这是由于10月地上部分粗脂肪的含量较地下部分高1.16%的缘故。净磷生产力表现为地上部分>地下部分>全群落,也是因为不同月份各部分生物量的磷含量有较大差异的缘故。这里,8月地上部分的磷含量较10月地下部分的高0.093%,又较10月地上部分的高0.050%。

表 2 线叶蒿草草地净营养物质的生产力 (克/米²·年)Table 2 Net nutritive materials productivity in *Kobresia capillifolia* grassland (g/m²·yr.)

营养物质	粗蛋白	粗脂肪	无氮浸出物	粗纤维	粗灰分	钙	磷
地上部分	50.29	8.46	159.82	89.40	32.12	3.65	0.51
地下部分	80.69	10.28	389.96	190.23	109.22	20.69	0.46
全群落	75.44	12.80	372.16	189.84	92.26	17.33	0.30

5. 光能转化率

线叶蒿草草地 6—9 月现存量的平均热值为 19204.39 焦/克干物质, 或 20817.78 焦/克去灰分物质; 6—11 月立枯物 + 凋落物为 18341.28 焦/克干物质, 或 20423.86 焦/克去灰分物质; 6—10 月活根为 17671.29 焦/克干物质, 或 20892.64 焦/克去灰分物质; 死根为 17425.7³ 焦/克干物质, 或 20001.36 焦/克去灰分物质。根据草地各部分生物量的热值月动态和净第一性生产力计算的以能量表示的净第一性生产力, 地上部分为 6319.39 千焦/米²·年, 地下部分为 17426.11 千焦/米²·年, 全群落为 14856.59 千焦/米²·年。

试验地实测的太阳总辐射量为 5744924.90 千焦/米²·年, 计算的可见光生理辐射量为 2815037.00 千焦/米²·年, 日平均温度 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ — $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的生长期有效生理辐射量为 1561175.90 千焦/米²·年。

根据草地净第一性生产力的能量值对不同辐射量计算的草地光能转化率如表 3。可以

表 3 线叶蒿草草地对太阳光能的转化率 (%)

Table 3 Conversion efficiency for solar radiations in *Kobresia capillifolia* grassland (%)

草地的部分	地上部分	地下部分	全群落
总辐射转化率	0.110	0.303	0.258
生理辐射转化率	0.224	0.618	0.528
生长期生理辐射转化率	0.404	1.115	0.951

出, 与净第一性生产力的情况一样, 三种转化率都是地上部分 < 地下部分 > 全群落, 其原因也是地上部分的最大和最小生物量的能量值, 不与地下部分的相应值同时出现的缘故。杨福国等 (1985) 报道的矮生蒿草草地对总辐射的转化率, 地上部分为 0.099%, 地下部分为 0.205%, 将线叶蒿草草地与其相比, 分别高出 0.011% 和 0.098%, 或者说转化效率分别高 10% 和 32%。关于地球陆地植被对太阳总辐射的平均转化率, H. Lieth (1975) 计算为 0.24%, 地处高寒生境的线叶蒿草草地为 0.258%, 说明它还略高于全球的平均值。

由于环境条件和植物生长特性的变化, 线叶蒿草草地在不同时期的光能转化率也是有变化的 (表 4)。地上部分对总辐射的转化率 5—11 月期间变幅为 -0.125—0.464%, 7 月 20—8 月 21 日期间最高, 达上述最高值, 之后变为负值。关于草地地上部分的转化率, G. E. Blackman 和 J. N. Black (1959)* 曾报道过短期可达 4—10% 的记录, 线叶蒿草草地与此相比甚低。地下部分光能转化率的变化趋势与地上部分相反, 8 月 21 日以前由于能量主要向地上输送, 表现为负值; 之后, 能量主要向地下输送, 表现为正值。全群落的光能转化率在 6—11 月期间变幅颇大, 为 -2.140—2.925%, 最小值出现在 7 月 20—8 月 21 日期间, 最大值出现在生长期末。

* 转引自 C. R. W. 斯佩丁著, 贾慎修等译, 1983, 《草地生态学》, 31, 科学出版社, 北京。

表 4 线叶嵩草草地不同时期的太阳总辐射量、热量净积累(千焦/米²)及光能转化率(%)Table 4 Solar total radiation and net accumulation of energy (Kj/m²) and conversion efficiency for total radiation (%) in various stage in *Kobresia capillifolia* grassland

项目	时期(日/月)	1/V—20/VI	21/VI—20/VII	21/VII—21/VIII	22/VIII—22/IX	23/IX—23/X	24/X—20/XI
太阳总辐射		1073572.56	657724.80	630738.00	506096.64	401747.68	346560.72
地上部分热量净积累		2030.91	1358.34	2931.65	-1299.30	-685.72	-745.97
地下部分热量净积累		—	-993.53	-16432.58	4396.55	12437.97	—
全群落热量净积累		—	364.81	-13500.93	3097.25	11752.25	—
地上部分光能转化率		0.189	0.206	0.464	-0.256	-0.171	-0.215
地下部分光能转化率		—	-151	-2.605	0.869	3.095	—
全群落光能转化率		—	0.055	-2.140	0.612	2.925	—

小 结

天祝高山线叶嵩草草地地上生物量在6—11月期间呈“八”形曲线,最大生物量为373.02克/米²干物质。地下生物量6—10月平均略大于5千克/米²干物质,活根占53.25%,总根量的变化呈U形。地上部分净第一性生产力为340.09克/米²·年干物质,或336.67克/米²·年去灰分物质,或6319.39千焦/米²·年;地下部分(分解和采食等损失未计入)相应为780.36,或671.15,或17426.11;全群落相应为742.50,或641.53,或14856.59。由于地上和地下的营养物质互相转换,两部分生物量相应的最大值和最小值不是同时出现,因此全群落的净第一性生产力不是地上和地下之和。草地的各种净营养物质生产力与净第一性生产力一样,也是地上部分<地下部分>全群落(粗脂肪和磷例外)。地上部分净营养物质的生产力为:粗蛋白50.29克/米²·年,粗脂肪8.49,无氮浸出物159.28,粗纤维89.40,粗灰分32.12(其中钙3.65、磷0.51)。草地地上、地下和全群落对太阳总辐射的转化率分别为0.110%、0.303%和0.258%;7月20—8月21日期间地上部分的转化率最高,可达0.464%。

参 考 文 献

- 李光禄, 1986, 辨别死活根的TTC法, 《中国草原与牧草》, 3(1):34—36。
 杨福国、陆国泉、史顺海, 1985: 高寒矮嵩草草甸结构特征及其生产量, 《高原生物学集刊》, 第4集, 49—56。
 Lieth, H., 1985: 世界主要植被组合的第一性生产力, 《生物圈的第一性生产力》(H.里思, R.H.惠特克等著, 王业莲等译), 第194页, 科学出版社。
 Whittake, R.H. and C.E. Likens, 1985: 生物圈与人类, 《生物圈的第一性生产力》, (H.里思, R.H.惠特克等著, 王业莲等译), 第286页, 科学出版社。

STUDIES ON PRIMARY PRODUCTION AND ENERGY EFFICIENCY IN TIANZHU ALPINE *KOBRESIA CAPILLIFOLIA* MEADOW

Hu Zizhi Sun Jixiong Zhang Yinsheng Xu Changlin

(Department of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Gansu, China)

Zhang Zihe

(Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou, China)

The net primary productivities of aboveground, underground, part and whole sward (i.e. aboveground + underground part) were 340.09, 780.36 and 742.50 g/m². yr., dry matter, respectively. The net nutrient matter productivity of aboveground part consisted of crude protein 50.29 g/m². yr., crude fat 8.49, crude fibre 89.40, nitrogen-free extract 159.28 and crude ash 32.12 (in which calcium 3.65 and phosphorus 0.51). The maximum standing caloric of aboveground, underground and whole sward occurred on 21, August 20 June and 23 October with the values 6927.16, 93417.93 and 101541.16 kJ/m², respectively. The net primary productivities in energy of aboveground, underground and whole sward were 6319.39, 17426.11 and 14856.59 kJ/m². yr., respectively. The conversion efficiencies of total solar radiation were 0.110, 0.303 and 0.258% for aboveground, underground and whole sward respectively. The efficiency of aboveground for physiological radiation was 0.224% and for that during $\geq 0^{\circ}\text{C} \cdots \leq 0^{\circ}\text{C}$ growing period was 0.404%. The maximum efficiency of aboveground for total radiation could reach to 0.464% during the period from 20 July to 21 August.