

青海高原的太阳辐射与植物生产*

张树源 马章英 白雪芳

(中国科学院西北高原生物研究所)

太阳是绿色植物生命活动赖以生存的能量源泉,是种类繁多的绿色植物的热量供应者。绿色植物90—95%的生物学产量是利用太阳能通过光合作用得来的。据估计,全球每年由光合作用产生的物质为1440—1800亿吨。绿色植物生物学产量的多少与太阳辐射能量的强弱直接相关。单位面积产量的高低,则取决于单位面积上绿色植物所固定太阳光能的数量。青海高原光能资源丰富,日照时间较长,太阳辐射极强。如何充分利用太阳光能来提高植物产量?促进太阳能的生物利用以及进一步挖掘能源潜力,在青海高原具有现实意义。

1. 从青海高原的太阳日辐射量(每日每平方厘米500卡)来估算高原植物的最大生产潜力

太阳辐射是植物合成有机物质的唯一能量来源。青海高原全年日照时数在2250—3600小时之间,柴达木盆地大多在3000小时以上,海北门源地区和东部农业区也在2600小时左右,较同纬度东部的平原地区大约高出700小时左右。总辐射强度也很高,在植物生长季节,经常出现大于每分每平方厘米2卡,即每日每平方厘米2.88千卡的现象。在西宁地区总辐射强度最大值也曾达到过每分每平方厘米2.12卡,即每日每平方厘米3.05千卡;唐古拉山区曾出现过每分每平方厘米2.4卡,即每日每平方厘米3.46千卡以上的记录。年总辐射量每平方厘米一般多在140—180千卡之间,柴达木盆地每平方厘米在160—170千卡,海北门源地区和东部农业区每平方厘米在140—160千卡,比同纬度以东的黄土高原和华北平原每平方厘米高出10—40千卡。从太阳辐射热能等级来看,青海高原西部每平方米一年接受太阳辐射能160—200万千卡属一级。它是我国太阳能资源最丰富的地区之一,和印度、巴基斯坦北部相当。青海高原东部属二级地区和印度尼西亚的雅加达接近。根据Loomis和Williams 1963年对作物最大生产潜力估算的研究结果指出,当太阳日辐射能每日每平方厘米为500卡的时候,植物每天每平方米可形成碳水化合物71克。在植物生长旺季,青海高原的太阳日辐射量亦达此值(中国科学院兰州大气物理所等,1980),而且,还经常超过此值。因而每天每平方米也可以形成碳水化合物71克,按1克碳水化合物可产生0.65克干物质计算(Penning de Vries, et al. 1974),则每天每

* 本文系1983年中国植物生理学会在山西太原召开的全国太阳能生物利用及光合作用测定技术讨论会宣读的论文。经作者修改后,在此发表。

本文1985年7月12日收到。

平方米最大干物质产量为 46.15 克。这是在假定全部光照均被截获,水肥营养都不受限制的理想条件下的理论最高值。事实上,青海高原上的绿色植物,从 4 月底、5 月初开始返青,到 9 月底、10 月初完全枯黄衰老大约有 150 天左右。可以截获全部光量的时间不超过 80 天,另外还有 40 天的截光量不超过 10%,30 天的截光量大约为 50%。这样,150 天生育期内每平方米总共可生产干物质的量为 4568.85 克,如果除去在根内形成 15% 的干物质,则每平方米地上部分干物质产量应为 3530.48 克。相当于每亩 2353.65 公斤,这可能就是青海高原牧草产量的上限。1982 年海北门源地区高寒草甸天然草场每亩产草 131.45 公斤,仅仅是理论最高产量上限的 5.6%。如果春麦的收获指数为 45%,那末每平方米 1588.71 克,相当于每亩约为 1054.145 公斤的籽粒产量也许就是青海高原春麦产量的上限。尽管 1978 年青海高原曾创春麦亩产 2026.1 斤的最高纪录,然而多数却徘徊在千斤左右,也仅仅是理论最高产量上限的 47.2%。

如果按 1978 年黄秉维先生提出的光合生产潜力计算公式: $Y = Q \times 0.124 \times E$ 其中: Y 为经济学产量(斤/亩); Q 为作物全生育期的太阳总辐射量(卡/厘米²); E = 经济系数。用此公式来计算,柴达木盆地春麦全生育期总辐射量每平方厘米为 75500 卡,若选用经济系数为 0.3 的品种来播种。那末,该地区每亩春麦的光合生产潜力应为: $75500 \times 0.124 \times 0.3 = 1404.3$ 公斤。这个数字与以上实际计算的春麦亩产量和 1978 年春麦亩产最高纪录相当。这就告诉人们只要采用高光效、高经济系数的品种,选好株型,再配以合理的栽培措施,籽粒产量翻番的希望仍寄托于生物对光能的充分利用。

2. 从青海高原的太阳年总辐射量和植物的现有产量来分析如何通过提高高原植物的光能利用率来增加生产量

青海高原的太阳年总辐射量比同纬度的我国东部其它省份都高出 10—40 千卡/厘米²。由于太阳高度角不同,总辐射量的分配也不同。柴达木盆地太阳年总辐射量在 162.2—177.3 千卡/厘米² 之间,东部农业区、海北祁连山区和青南高原也在 140—160 千卡/厘米² (青海农业地理编写办公室,1976)。一年中太阳辐射量最大的夏季也是植物生长最快,干物质积累最多的旺季,可见二者的变化是平行的。尽管如此,青海高原植物的光能利用率还是很低的(张树源等,1982)。这里先以亩产 2026.1 斤的春麦为例,按 1 克碳水化合物完全燃烧时所放出的热量为 4.3 千卡 (Albritton 1954) 计算,2026.1 斤产量所含总热量为 435.6115 万千卡,而春麦生长期间最大太阳总辐射量每平方厘米为 95 千卡,相当于每亩 6.3 亿千卡。所以,春麦的光能利用率为 $435.6115 \text{ 万千卡} / 63000 \text{ 万千卡} \times 100\% = 0.69\%$,这是就籽粒产量而言的。如果以总干物重即包括籽粒和生物学产量在内计算,光能利用率则可达到 2—3%。青海高原海北门源高寒草甸天然草场的牧草亩产仅 131.45 公斤,所含总热量大约为 56.523 万千卡,如果也按春麦生长季节最大的太阳总辐射量计算,其光能利用率才 0.089% (姜成后等,1980)。如果按牧草生长旺季的太阳总辐射量每平方厘米 60 千卡,相当于每亩 39789.500 万千卡(刘振魁,1982)计算,则光能利用率为 0.14%。

在青海高原,如果我们按年总太阳辐射量每平方厘米为 160 千卡(辐射能是以地面每平方厘米上每分钟所受到的太阳垂直平面照射的能量)计算,或每亩 10.7 亿千卡。估计青海高原春麦生育期间太阳总辐射量约占全年的 60%,即每平方厘米 96 千卡。或每亩

6.4 亿千卡。如果光能利用率以 2% 计算,并假定经济学产量籽粒占生物学产量的 50%,呼吸消耗 30%。而春麦的干物质大部分为淀粉,淀粉的燃烧热每克为 4.22 千卡,即每公斤 4220 千卡。所以,该春麦亩产应为: $6.400 \text{ 亿} \times 0.02 \times 0.50 \times (1-0.30)/4220 = 6.4 \times 10^8 \times 0.02 \times 0.50 \times 0.7/4220 = 1061.6$ 公斤。

以上全系干物质,实际上籽粒尚含水分 14% 左右,加上含水量应为

$$2123.2 + (2123.2 \times 14/100) = 2420.45 \text{ 斤。}$$

光能利用率如果再提高 1%,则每亩可增产 1210.2 斤,亩产应为 1815.35 公斤。可见提高光能利用率也是增加产量的重要途径。

青海高原植物光能利用率低的原因是多方面的,主要是由于气温低,生长季节短,植株稀疏矮小,漏光太多。如果要想提高植物的光能利用率就必须设法扩大光合面积,提高光合强度,延长光合时间和减少呼吸消耗。在青海高原特定的生态环境里,尤其是扩大光合面积,在现阶段具有现实意义。

3. 从青海高原的短波辐射来看如何影响高原植物的生产能力

青海高原气候寒冷(年平均气温 0℃),海拔较高(3000—4000 米),日照时数较多(每年在 3000 小时左右),太阳辐射年总量较大(每年每平方米在 140—180 千卡)。在太阳辐射年总量中,短波辐射比例大。蓝紫光(400—500 纳米)和红橙光(600—700 纳米)分别为我国沿海地区的 162.8% 和 76.9% (项月琴,1980)。高原新城格尔木市的蓝紫光占总辐射量的 18.2%,红橙光占 6.5%,紫外光占 3.5% (程森离,1984)。这种特殊的生态环境,就迫使高原植物植株矮小,品质优良,地上生物学产量不高。

众所周知,太阳辐射主要包括紫外线(300—400 纳米)、可见光(400—700 纳米)和红外线(700—1100 纳米)3 部分。它们对植物的生长发育起着不同的作用 (Leopold and Kriedemann, 1975)。红外线大部分被植物吸收转为热能。有一部分对植物伸长起作用,其中 700—800 纳米的远红光对光周期和种子形成有重要作用,并控制开花和增强果实的颜色。可见光(380—710 纳米)中被植物叶绿素吸收最多的是红橙光(610—720 纳米)和蓝紫光(400—510 纳米),对绿光(510—610 纳米)只有微弱的吸收 (Gates, 1964)。红橙光有利于碳水化合物的积累。蓝紫光促进蛋白质、脂肪和非碳水化合物的形成。紫外线(315—400 纳米)在高山、高原地区含量较多,它使植物茎叶短粗,植株低矮,叶片变厚,色泽加深。对果实的品质和成熟能起良好的作用 (Chang Jen-hu, 1968)。

青海高原,短波辐射极强,蓝紫光比较丰富。长期生长在这种生态环境里的高原植物其生产能力如何? 是值得我们研究的。

从表 1 可以看出,不同短波光质对燕麦 (*Avena Sativa* L.) 种子的萌动与生长的影响是不同的。种子的发芽率以紫光最高,蓝光最低。紫光下种子的发芽率是无色可见光全光谱对照的 145.5%。紫光之所以能提高燕麦种子的发芽率,这可能是紫色薄膜不仅透过了紫光,而且也有很大一部分红光透过,因而主要是红光对种子的萌发起了促进作用。蓝光下燕麦种子的发芽率是对照的 71.9%,这主要是蓝光能提高吲哚乙酸氧化酶活性 (Hillman, et al. 1957),促进了植物体内生长素的破坏,因而抑制了种子的萌发。蓝光和紫光也强烈抑制燕麦幼苗地上部分的伸长生长,使燕麦的株高分别是对照的 91.3% 和 90%。植株虽较对照粗壮矮小,然而根系却较对照发达得多。在我们的实验条件下,蓝光

表1 不同短波光质对燕麦幼苗营养生长的影响

Table 1 Effects of different shortwave light quality on vegetative growth of the seedlings *Avena sativa*.

光 质 Light quality	发芽率(%) Germination percentage (%)	株高(厘米) Height of the plant (cm)	一株植物发根数 (100株平均根条数) Roots number per plant, i. e. the average number of roots per 100 plants	单株干重/株高 (克/厘米) The ratio of dry weight and height of the plant (g/cm)	群体株高整齐度 (%) Percentage of height of colony (%)
紫色光 Purple light	63.75 (145.5) ¹⁾	13.87 (90.0)	8.20 (117.1)	0.0720 (110.9)	47.74 (229.3)
蓝色光 Blue light	31.50 (71.9)	14.07 (91.3)	7.80 (111.4)	0.0746 (114.9)	48.13 (231.2)
无色可见光 (对照) White light (Control)	43.80 (100)	15.41 (100)	7.00 (100)	0.0649 (100)	20.82 (100)

1) 圆括号内的数字是对照的百分比。

The number in round brackets is the control.

和紫光下的发根数分别是对照的 111.4% 和 117.1%。同时,燕麦的单株干重与株高比和群体株高整齐度,在蓝光和紫光作用下,都较对照大有提高(表 1)。高原植物地上茎叶产量不高,地下根系比较发达的这一实验结果,也与高寒草甸和高寒灌丛的实测结果一致(表 2)(杨福囤等, 1982)。

表2 青海高原高寒草甸和高寒灌丛的地上茎叶与地下根系的比例

Table 2 The ratio of aboveground shoots and underground roots in alpine bushland and alpine meadow on Qinghai Plateau

植被类型 Vegetation type	灌丛与草甸 Bushland and meadow	年净初级生产量(克·米 ⁻² ·年 ⁻¹) Annual net primary production (g·m ⁻² ·yr ⁻¹)		
		地上茎叶 Aboveground shoots	地下根系 Underground roots	茎叶:根系 The ratio of shoots to roots
高寒灌丛 Alpine bushland	金露梅灌丛 <i>Potentilla fruticosa</i> bushland	176.10	1516.00	1:8.6
高寒草甸 Alpine meadow	矮嵩草草甸 <i>Kobresia humilis</i> meadow	190.30	582.60	1:3.06
	垂穗披碱草草甸 <i>Elymus nutans</i> meadow	258.20	341.88	1:1.3

还从表 3 中可以看出,燕麦幼苗在蓝光和紫光的作用下,叶绿素含量较在无色可见光全光谱对照中显著增多,可溶性糖的含量、呼吸强度和过氧化氢酶活性也较对照有明显地减少(张树源等,1982)。这主要是蓝光和紫光不仅抑制了燕麦幼苗的伸长生长,降低了生理代谢水平。而且燕麦幼苗在蓝光和紫光作用下,进行光合作用可捕获的光能不足,因而碳源受到限制,这就迫使燕麦幼苗合成更多的叶绿素来加强光合作用以补充碳源的不足。这也进一步印证了燕麦幼苗在蓝光和紫光下形成碳水化合物较少的论断。

表 3 在不同光质作用下, 燕麦幼苗生长发育过程中的生理变化

Table 3 The physiological changes of seedling of *Avena sativa* in the course of its growth and development caused by different shortwave light qualities

不同短波光质 Different shortwave light qualities	叶绿素含量 (毫克/升) Content of chloro- phyll (mg/L)	可溶性糖含量 Content of soluble sugar (%)	呼吸强度 (CO ₂ 毫克/克·小时) Respiratory intensity (CO ₂ mg/g·h)	过氧化氢酶活性 (毫克/克·分) Catalase activity (mg/g·min)
紫色光 Purple light	11.16	0.072	0.59	13.20
蓝色光 Blue light	11.59	0.070	0.89	14.73
无色可见光 White light	10.87	0.130	1.19	15.30

表 4 生长在海拔 4000 米以上高山阳坡垫状植物的可溶性糖与蛋白质含量

Table 4 The content of soluble sugars and proteins of alpine cushion plant in sun ward slope at an alt, over 4000 metres

高寒垫状植物名称 Name of alpine cushion plants	可溶性糖含量 The content of soluble sugars(%)	蛋白质含量 The content of proteins (%)
垫状繁缕 <i>Stellaria decumbens</i> Edgew. var. <i>pulvinata</i> Edgew	0.1975	7.325
甘肃雪灵芝 <i>Arenaria kansuensis</i> Maxim	0.1950	4.900
紫花五蕊梅 <i>Sibbaldia macropetala</i> O. Muravjeva	0.2200	4.775

另外, 我们也对分布在海拔 4000 米以上的、高寒山地上的垫状植物进行了实测(表 4), 结果表明, 在垫状植物的整个生育时期内, 蛋白质含量都高于可溶性糖的含量。这显然是蓝紫光较多的高海拔地区植物稀疏低矮, 地上部分生物学产量不高, 而草质优良, 适口性较好的有力证据。尽管如此, 可溶性糖的含量在垫状植物的整个生育时期仍然相对的保持了一个比较高的水平。高海拔地区植物体内可溶性有机物质的较多积累, 引起了高寒地区植物细胞内渗透物质的增多, 细胞汁液浓度增高, 最终使细胞内冰点下降, 这可能是高寒地区植物在短波辐射下, 具有较高的抗寒能力的原因。

1982 年我们曾做了青海高原生态环境中比较特殊的 3 个因素: 光质、微肥和水分对植物产量影响的研究。即不同短波光质(蓝色光、紫色光和无色可见光)、不同浓度混合稀土硝酸盐(0.01%、0.02%和 0.03%)以及不同水量(每盆分别为 300、400 和 500 毫升), 在严密的设计和严格的操作下, 对无芒雀麦 (*Bromus inermis* Leyss.) 进行了 L₉(3⁴), 3 个因素, 9 个处理的正交法多因素互补增产试验(白雪芳等, 1984)。其结果表明, 蓝色光较紫色光和无色可见光全光谱与不同浓度混合稀土硝酸盐及不同水分搭配对无芒雀麦都有明显地增产作用。也就是说, 蓝色光与不同浓度混合稀土硝酸盐和不同水分组合对无芒雀麦增产效果最佳, 其次是紫色光和无色可见光。

从表 5 可以看出, 生物学产量以第 2 实验盆即蓝色光与 0.02% 混合稀土硝酸盐和 400 毫升水搭配的最高, 亩产达 913.1 斤, 比相应的对照 (CK₂ 400 毫升水) 增长 36.79%。

表5 牧草产量与3因素、9处理水平之间的 $L_9(3^4)$ 正交法分析结果

Table 5 Effects of the $L_9(3^4)$ method of positive intercross on herbage yield with three factors and nine levels of treatments

实验盆编号 The number of experimental pots	处 理 因 素 The factor of treatment			生物学产量(斤/亩)* Biological yield(jin/mu)		
	光 质 Light quality	浓度(%) Concentration(%)	水分(毫升) Moisture content (ml)	重 复 Repetition		平均 Average
	A*	B*	C*	I	II	
	蓝色光					
1	1 Blue light	1 0.01	1 300	886.6	830.2	858.4
2	1 Blue light	2 0.02	2 400	893.2	933.0	913.1
3	1 Blue light	3 0.03	3 500	854.6	952.8	903.7
CK ₁ (300ml)						456.3
	紫色光					
4	2 Purple light	1 0.01	2 400	433.8	521.8	477.8
5	2 Purple light	2 0.02	3 500	—	638.4	638.4
6	2 Purple light	3 0.03	1 300	831.0	619.6	725.3
CK ₂ (400ml)						667.5
	无色可见光					
7	3 White light	1 0.01	3 500	638.8	778.2	708.5
8	3 White light	2 0.02	1 300	635.8	648.4	642.1
9	3 White light	3 0.03	2 400	805.8	780.8	793.3
CK ₃ (500ml)						693.2
K ₁	2675.2	2044.7	2225.8			
K ₂	1841.5	2193.6	2184.2			
K ₃	2143.9	2422.3	2250.6			
\bar{K}_1	891.73	681.57	741.63			
\bar{K}_2	613.83	731.20	728.08			
\bar{K}_3	714.63	807.43	750.20			
R	277.90	125.86	22.13			

A* The different shortwave light quality;

B* The different mixed rare-earth nitrate;

C* The different moisture content.

* 1斤=500克(g);

第3实验盆即蓝色光与0.03%混合稀土硝酸盐和500毫升水组合的次之,亩产达903.7斤,比相应的对照(CK₃ 500毫升水)增长30.37%。

从表5还可以看出,无论是在A列1水平的3次实验中,或者是在A列2水平或3水平的3次实验中,B、C各列的每一个因素虽有所变动,但在3个水平上也都是均匀地各出现一次。这就表明了A列、B列或者C列中K₁、K₂、K₃之间的差异主要是由于A列、B列或者C列水平的不同所引起的。它们各列中平均产量最大数与最小数的差,反映了各列水平的改变所引起的牧草平均产量的变化,即各列的极差(R)。极差越大,说明这个因素对产量的影响越大。在本实验中是R_A > R_B > R_C。首先是不同光质,其次是不同混合稀土硝酸盐和不同水分。不同水量虽为次要因素,但在3个不同水量的对照实验中,仍可以看出以灌水量500毫升的对照实验产量最高,其次是400毫升和300毫升。

为了进一步检验因素A、B或者C对牧草产量影响的显著性,我们进行了方差分析。

表6 牧草产量与3因素、9处理水平之间的方差分析

Table 6 Variance analysis on herbage yield with three factors and nine levels of treatments

方差来源 Source of variance	平方和(S) The sum of square	自由度(f) Freedom	方差(S̄) Variance	F值 F value	显著性 Significance
光质(A) The different shortwave light qualities	443965.48	2	221982.74	8.7899	**
混合稀土硝酸盐浓度(B) The different mixed rare-earth nitrate	104839.6133	2	52419.80665	2.0757	
不同水分(C) The different moisture contents	33846.6133	2	16923.30665	0.6701	
误差 Error	227288.44	9	25254.27111		
总和 Total	809940.1466	15			

** 在1%的情况下,该数是非常显著地。

This number is very significant to 1%

从表6中的不同因素自由度和误差自由度就可在F表($\alpha = 1\%$ 或 5%)中查得,

$$F_{0.01}(2.9) = 8.0; F_{0.05}(2.9) = 4.3;$$

因 $F_A = 8.79$; $F_B = 2.08$; $F_C = 0.67$ 。即只有 $F_A > F_{0.01}$, F_B 和 F_C 均小于 $F_{0.01}$, 也小于 $F_{0.05}$ 。所以说, 在我们的实验条件下, 因素A即不同光质对牧草产量形成的作用是非常显著的(**), 是影响牧草产量形成的决定因素。再从因素A的K值来看, $K_1 > K_3 > K_2$, 说明因素A的第一水平最佳。也就是说不同光质中, 蓝色光对牧草产量形成的影响最优。

参 考 文 献

- 中国科学院兰州高原大气物理所、青藏高原气象科研协作组、南京大学, 1980, 高原气候图集——地面部分, 1—13页, 科学出版社。
- 刘振魁, 1982, 试论青海高寒草原保持畜草平衡的主要措施, 中国草原(1): 17—19。
- 白雪芳、张树源、马章英, 1984, 不同短波光质、混合稀土硝酸盐和水分对无芒雀麦的增产效应, 中国草原(3): 52—56。
- 张树源、马章英, 1982, 青海门源地区天然草场和人工草地的光能利用率及其提高的途径, 高原生物学集刊(1): 163—168。
- 张树源、马章英、白雪芳, 1982, 短波蓝紫光对燕麦幼苗生长发育的生理作用, 中国植物生理学会第三次全国会议论文摘要汇编, 213, 中国植物生理学会。
- 青海农业地理编写办公室, 1976, 青海农业地理, 青海人民出版社。
- 项月琴, 1980, 太阳直接辐射的分光测量, 气象学报 38(1): 51—63。
- 杨福圃、沙渠、张松林, 1982, 青海高原海北高寒灌丛和高寒草甸初级生产量, 高寒草甸生态系统(1): 44—51。
- 娄成后、崔激、阎隆飞、韩碧文, 1980, 作物栽培的生理基础, 154—159, 科学出版社。
- 黄秉维, 1978, 自然条件与作物生产——光合潜力, 农业现代化概念(光能与气候资源利用), 中国农林科学院科技情报所, 35—61。
- 程森离, 1984, 从柴达木盆地的自然条件看盆地农业发展, 青海工农学院学报(1): 34—43。
- Albritton, 1954, Standard values in nutrition and metabolism, saunders Co.
- Chang jen-hu, 1968, Climate and agriculture, An ecologic survey, Aldine, Chicago.
- Gates, D. M., 1964, Leaf temperature and transpiration, Agron. J. 56(3): 273—277.
- Hillman, W. S. and A. W. Galston, 1957, Inductive control of indoleacetic acid oxidase activity by red and infrared light. Plant physiology 32: 129—135.
- Leopold, A. C. and P. E. Kriedemann, 1975, Plant growth and development, 2nd ed., McGraw-Hill, New York.

- Loomis, R. S. and W. A. Williams, 1963, Maximum crop productivity: an estimate. *Crop Sci.* (3): 67—72.
- Penning de Vries, F. W. T., Brunting, A. H. M. and H. H. Van Laar., 1974, Products, requirements and efficiency of biosynthesis. *A quantitative approach. J. theor. Biol.* (45): 339—377.
- Sinha, S. K. and P. K. Aggarwal., 1980, Physiological basis of achieving the productivity potential of wheat in india. *Indian J. Genetics and plant Breeding* (2): 375—384.

SOLAR RADIATION AND PRODUCTION OF PLANTS IN QINGHAI PLATEAU

Zhang Shuyuan Ma Zhangying Bai Xuefang

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

In this paper we deal with the relationship between solar radiation and production of plants in Qinghai plateau, according to the total solar radiation of a day ($500 \text{ Cal. cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$), the total solar radiation of a year ($140\text{—}180 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$) and the short wave radiation of Qinghai Plateau. The results are as follows:

1. When the total solar radiation is 500 calories/cm² per day, plants per square metre form 71 grammes of carbohydrate per day during the growing season (Loomis and Williams 1963). About 0.65 grammes of dry matter are produced, when 1 gramme of carbohydrate is formed (Penning de Vries, 1974). The greatest dry matter yield per day, per square metre is 46.15 grammes.

2. The period for green plants on Qinghai plateau from sprouting stage to withering stage lasts about 150 days or so. The amount of light interception, in 80 days, is 100%, 30 days, 50%, 40 days, 10%. During 150 days 4568.85 grammes of dry matter were produced per square metre. Roots formed only 15% dry matter per square metre, while aboveground plants yield 3530.48 grammes of dry matter, or the yield of the whole grass is 4707.3 jin per mu. This is probably the upper limit of grass yield on Qinghai plateau. If the harvest index of plateau spring wheat in 45%, then 1588.71 grammes per square meter are produced, or 2118.29 jin per mu. This is perhaps the upper limit of yield of spring wheat on Qinghai plateau.

3. The total of annual solar radiation on each square centimetre is as high as 140—180 kcalories. However, the utilization ratio of light energy by alpine plants is quite low. For incident, the yield of spring wheat per mu is 2026.1 jin in 1978. When 1 gramme carbohydrate is completely burned, the heat produced will be 4.3 kcalories (Albritton, 1954). Then 2026.1 jin only necessitate 4,356,115 kcalories of heat. The total solar radiation per square centimetre is 95 kcalories during growing season of spring wheat, or 6.3×10^9 kcalories per mu. The utilization ratio of light energy of this spring wheat is only 0.69%. The grass yield in nature grassland in alpine meadow of Qinghai plateau is 262.9 jin per mu. This means that 565,230 kcalories of heat has been made use of. The total solar radiation in grassland during growing season is 60 kcalories per square centimetre (Liu Zhonkwi 1982), or 397,895,000 kcalories per mu and the utilization ratio of light energy of this grass is about 0.14%.

4. If the total of annual solar radiation per square centimetre on Qinghai plateau is 160 kcalories or 10.7×10^8 kcalories calculate per mu, the above estimated total solar of annual radiation during the period of growth and development of spring wheat on Qinghai plateau is about sixty per cent of the radiation of the whole year. i.e. 96 kcalories per square centimetre. If the utilization ratio of light energy is 2%, the theoretical commercial yield is about 50%

as much as biological yield, with 30 per cent of respiration consumption. A large part of dry matter of spring wheat is starch, the combustible heat of 1 gramme of which is 4.22 kcalories. The yield of this spring wheat is 2123.2 jin per mu. If we added again the moisture content of seed by 14%, the yield must be 2420.47 jin per mu. If the utilization ratio of light energy raises again by 1%, the increase in production is 1210.2 jin per mu, the practical yield must be 3630.7 jin per mu. It is obvious that the enhance in the utilization ratio of light energy of alpine plants is an important way of increasing yield.

5. Higher elevation (3000—4000 m), cold climatic (the average atmospheric temperature per year is $-1-0^{\circ}\text{C}$), longer light period (about 3000 hours in a year), higher total solar radiation (140 to 180 kcalories per square centimetre per year), the percentage of blue-purple light (400—500 nm) and red-orange light (600—700 nm) is 162.8% and 76.9% respectively (Hon Yueqing, 1980). The light energy resources are very rich, the short wave radiation is very strong. This special ecological environment causes the plants of alpine meadow short and small, and produces grass of best quality. The biological yield of aboveground part is not high.

6. In this paper the effects of various ratios of blue light in different shortwaves, with a combination of different mixed rare-earth nitrates and different moisture content, on the yield of smooth bromegrass were discussed, according to maximum yield, analysis of variance, notability test of F value and the practical yield. The results indicated that the blue light has remarkable effect in the increase of production. The percentage of production increase is about 36.8%.