

青海高原植物生理生态学研究*

IV. 不同海拔高度植物的净光合速率

张树源 武海 韩发

(中国科学院西北高原生物研究所)

摘 要

采用青海高原不同地区人工栽培的垂穗披碱草和同一品种盆栽小麦的叶片,前者分别在海拔2 300米和3 200米,后者分别在海拔4米、2 300米、4 000米的晴天测定各植物的净光合速率。结果表明:垂穗披碱草的净光合速率,在低光强下,随海拔升高而降低。在高光强下,则随海拔升高而增加。而盆栽小麦叶片在海拔4米和2300米时的净光合速率虽随海拔升高而降低,但移到海拔4000米时的净光合速率,则随海拔升高而增加。这些变化可能与不同海拔高度,不同的气压、温度、光照、氧和二氧化碳等各种环境因素的综合影响有关。

关键词: 净光合速率; 生理生态; 青海高原

青海高原晴天植物的光合作用日变化多呈单峰曲线。没有或者仅有轻微的中午降低现象(苏梯之等, 1981; 陈集贤等, 1988; 张树源, 1988; 张树源等, 1991, 1992, 1993)。而在青海高原以东的低海拔平原地区,同一植物或不同植物晴天的净光合速率日变化则多呈双峰曲线,且有明显的中午降低现象(许大全等, 1984; 韩凤山等, 1984; 姜恕等, 1984; 戚秋慧等, 1989)。可见,青海高原及其以东低海拔平原地区,由于海拔高度不同,晴天植物的净光合速率日变化曲线也表现出了显著的不同。

从60年代初期开始到现在,国内外许多学者(黄卓辉等, 1962; 路季梅等, 1978; 刘伟, 1984; 李存信等, 1985; 夏明忠, 1991; Milner等, 1964; Mooney等, 1964; Slatyer, 1977)对不同海拔高度的同一植物或不同植物的光合作用特性作过比较研究,都证实了不同海拔地区植物的光合作用有显著的差别。然而,对青海高原不同海拔高度植物叶片的净光合速率的研究至今未见报道。本文研究了4米、2 300米、3 200米和4 000米不同海拔

*国家自然科学基金、中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站基金和所长基金资助项目。
在研究期间,得到中国科学院上海植物生理研究所沈允钢教授等的帮助和指导,谨此致谢。

高度对同一垂穗披碱草和同一小麦叶片的净光合速率的影响以及不同小麦品种同一旗叶的净光合速率在同一海拔高度的变化。

材料与方 法

(1) 人工栽培垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 于海拔2 300米的西宁中国科学院西北高原生物所院内和海拔3 200米的海北定位站田间。在完全自然状态下, 于抽穗扬花期的晴天, 分别在西宁和海北定位站进行净光合速率的测定。

(2) 用3种小麦 (*Triticum aestivum*) 作试验品种。①高原338系青海优良品种, 原产地海拔2 300米; ②沪麦5号和③扬麦1号均系上海推广品种, 原产地海拔4米。于1993年3月10—15日, 将这3种小麦分别在西宁和上海混匀穴播在直径24厘米、高17厘米的土培塑料盆和瓦盆内, 按大田常规管理。测定前7天充分灌水。先在上海晴天对扬花灌浆期的扬麦1号测定净光合速率后, 立即用飞机1天运到西宁和海拔4 000米的青海大坂山顶再测定其净光合速率。同时, 也对西宁生长的沪麦5号和高原338两种小麦于扬花灌浆期, 分别在西宁和大坂山顶测定其净光合速率后, 再运到上海进行净光合速率测定。此外, 还将上海和西宁的小麦品种放进低压舱里做不同气压对小麦叶片的净光合速率和气孔导度影响的模拟实验。

(3) 净光合速率和表观光合量子需要量的测定。用英国分析发展公司制造的 ADC 便携式红外线气体分析系统, 将叶室夹于植物叶片上, 晴天连体测定。光强可用不同层数的白纱布来调节 (库姆斯, 1986)。

结果与分析

1. 不同海拔高度垂穗披碱草叶片的净光合速率

张树源等 (1993) 曾报道过在同一海拔高度的不同植物和不同海拔高度的同一植物都具有不同的净光合速率。虽然不同的植物种在同一海拔地区生长, 但因有不同的遗传特性, 故具有不同的净光合速率。同时, 不同海拔高度的气压、光照、气温、氧和二氧化碳等各种环境因素不同, 也会使同一种植物在不同海拔高度产生出不同的净光合速率。在这些环境因素中, 光照随海拔升高而增强, 而气压、气湿、氧和二氧化碳则均随海拔升高而降低。因此, 在不同海拔高度的同一种植物的细胞间隙二氧化碳浓度、气孔导度和净光合速率也随海拔的升高而降低。

图1表明, 当光量子通量密度低于600微克分子光量子/(米²·秒) 以下时, 垂穗披碱草无论是在低海拔地区生长还是在高海拔地区生长, 其净光合速率都是随着光量子通量密度的逐渐增加而呈直线上升。而且生长在低海拔地区的垂穗披碱草叶片的净光合速率比生长在高海拔地区的高。说明垂穗披碱草在较低的自然光强下, 其叶片的净光合速率随海拔升高而降低。当光量子通量密度高于600微克分子光量子/(米²·秒) 以上时, 在高海拔地区生长的垂穗披碱草叶片的净光合速率比低海拔地区的高。说明在较高的自然光强下, 垂穗披碱草叶片的净光合速率随海拔升高而增加。

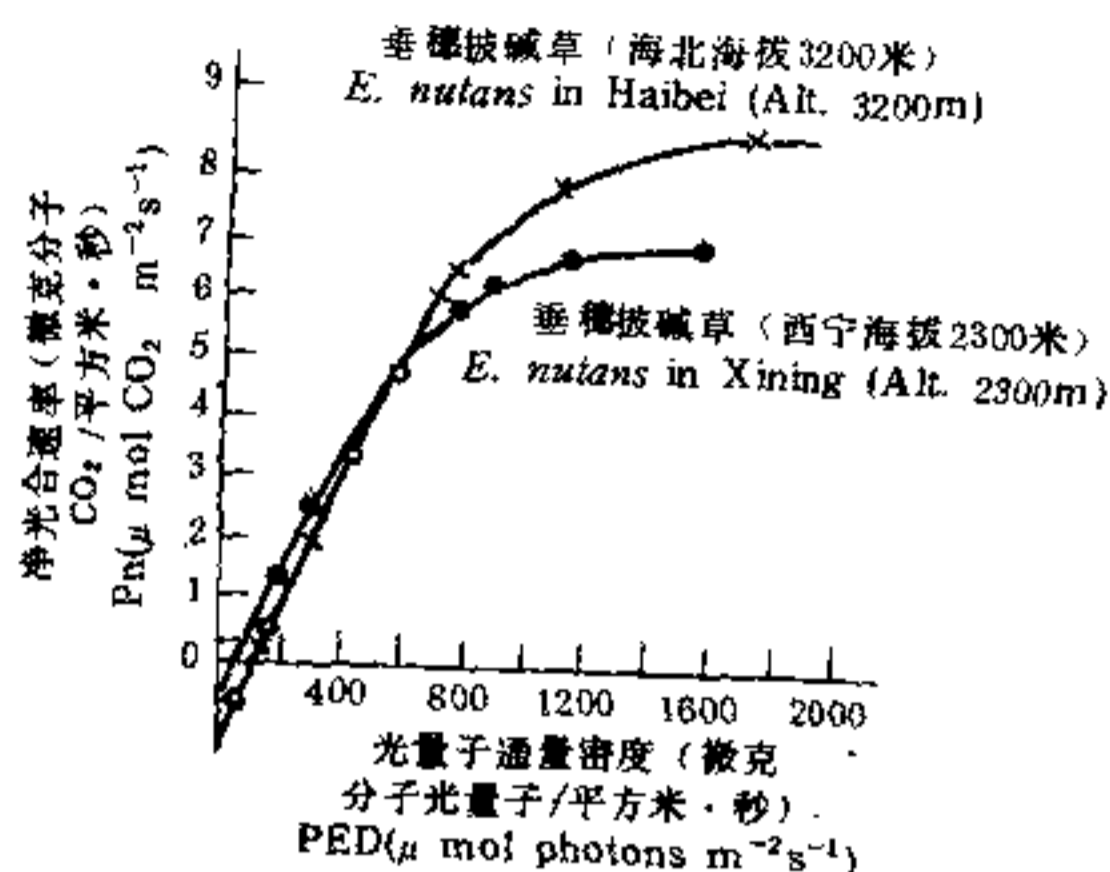


图1 不同海拔高度垂穗披碱草叶片光合作用的光响应曲线
 Fig. 1 Light response curve of photosynthesis of the *Elymus nutans* leaves in different altitude

2. 不同海拔高度小麦叶片的净光合速率

表1 不同海拔高度对不同小麦品种叶片净光合速率的影响
 Table 1 Effects of different altitude on net photosynthetic rate of different wheat leaves of original habitats of varieties

小麦品种 Variety	生长地点 Growth sites	测定地点 Measurement sites	海拔高度 (米) Altitude (m)	光量子通量 密度 PFD	气温 T_a	空气中 CO_2 浓度 C_a	净光合速率 P_n	气孔导度 C_s	细胞间隙 CO_2 浓度 C_i
沪麦5号 Humai No. 5	西 宁 Xining	Daban Mt.	4 000	662	10.9	223	2.0	0.134	184
		Xining	2 300	680	22.3	271	6.9	0.187	177
		Shanghai	4	750	27.1	394	18.8	0.911	296
高原338 Gaoyuan 338	西 宁 Xining	Daban Mt.	4 000	694	10.4	223	2.4	0.166	169
		Xining	2 300	680	21.0	274	6.2	0.146	178
		Shanghai	4	533	26.8	392	16.1	0.948	305
扬麦1号 Yangmai No. 1	上 海 Shanghai	Daban Mt.	4 000	876	11.2	224	1.1	0.124	184
		Xining	2 300	860	22.0	275	7.5	0.223	186
		Shanghai	4	760	27.4	398	19.8	0.836	292

从表1可以看出,无论是在西宁生长的上海品种沪麦5号和青海品种高原338;或者是在上海生长的上海品种扬麦1号,三个小麦品种的原产地虽然不同,但在上海、西宁和大坂山顶三个不同海拔高度分别测定的净光合速率,均随海拔增高而降低。与生长地点的海拔高度无关。图1和表1的这些结果与夏明忠(1991)对不同海拔高度的水稻品种以及Mil-

ner 等 (1964), Mooney 等 (1964) 和 Slatyer (1977) 对不同海拔高度的云杉品种研究的结果是一致的。

3. 同一海拔高度不同小麦品种叶片的净光合速率

从表1还可以看出, 生长在西宁地区的上海沪麦5号和青海高原338, 分别在上海或西宁同一海拔高度测定其净光合速率, 结果在同一海拔高度沪麦5号比高原338分别高出16.8%或11.3%。说明小麦品种原产地的海拔越高, 其净光合速率越低。沪麦5号和高原338两个品种原产地的海拔高度虽然不同, 但是小麦旗叶的净光合速率都随小麦品种原产地海拔升高而降低。如果把生长在西宁地区的沪麦5号和高原338再带到4 000米的大坂山顶测定旗叶的净光合速率时, 沪麦5号的净光合速率只有高原338的83.3%。可见, 在4 000米高海拔、高光强下, 两个小麦品种旗叶的净光合速率都随品种原产地海拔升高而增加。说明高原338比沪麦5号对严酷的高海拔生态环境有较强的适应能力。

生长在上海的扬麦1号与生长在西宁的高原338, 在上述不同海拔高度中的任何同一海拔高度测定其净光合速率都与上述结果雷同。

4. 模拟不同气压下小麦叶片的净光合速率和气孔导度

表2 不同气压对小麦叶片的净光合速率和气孔导度的影响

Table 2 The effects of different atmospheric pressure on the net photosynthetic rate and the stomatal conductance of wheat leaves

气压 Atmospheric pressure(mbar)	1013.3	759	645
海拔 Elevation(m)	4	2 500	4 000
净光合速率 Pn	15.3(17.9)*	10.96	5.6
气孔导度 Cs	0.210(0.244)*	0.176	0.108

* 括号内的数据是净光合速率和气孔导度的重复。

Data in brackets is repeat of Pn and Cs.

从表2模拟实验的数据中可以看出, 小麦叶片的净光合速率和气孔导度均随气压的下降而下降。而气压愈低, 海拔愈高, 其净光合速率和气孔导度均随气压降低和海拔升高而降低。可见, 气压是造成不同海拔高度同一植物或者不同植物叶片产生不同净光合速率的主要原因。上述各实验的结果, 用模拟实验也得到了进一步印证。

讨 论

青海高原海拔平均4 000米, 气压约为645毫巴。海拔高, 气压低, 空气密度小, 太阳辐射强, 气温、氧和二氧化碳含量低(刘伟, 1984), 致使高原植物叶片的净光合速率明显下降(表1), 表明二氧化碳同化过程受到了很大限制。

与高纬度, 低海拔地区比较, 青海高原的太阳辐射强, 紫外线辐射比例大, 也造成

高原植物光饱和点较高和光补偿点较低的特性(张树源等, 1991; Milner 等, 1964; Mooney 等, 1964; Slatyer, 1977)。原产地海拔高的青海高原338小麦品种的净光合速率, 在4 000米高海拔、低气压、强辐射下, 比原产地海拔低的上海沪麦5号要高出20.0%。而原产地海拔低的上海沪麦5号的净光合速率, 在2 300米以下的低海拔、高气压、弱辐射下, 比原产地海拔高的青海高原338小麦品种也高出16.8%。可见, 小麦品种原产地海拔高度是影响该地区小麦净光合速率高低的主要因素。在品种原产地高海拔、强光下, 该地小麦的净光合速率是随海拔升高而增加。在品种原产地低海拔、弱光下, 该地小麦的净光合速率则随海拔升高而降低(图1, 表1, 夏明忠, 1991)。另外, 在相同自然条件下, 还测定了西宁和上海同一高原338小麦叶片的表观量子效率和光能转化效率的日变化。西宁上午09:13、中午14:15和下午19:30的表观量子效率大约都在0.0227克分子CO₂/克分子光量子左右移动。而光能转化效率上午09:50为0.820、中午11:50为0.808和下午15:15为0.789, 一天中仅下降约3.8%左右。上海上午06:54的表观量子效率为0.0420克分子CO₂/克分子光量子, 中午13:02为0.0200克分子CO₂/克分子光量子, 下午16:10为0.0305克分子CO₂/克分子光量子。表观量子效率和光能转化效率在西宁一天中的变化较小, 而在上海一天中变化较大。说明在晴天强光下, 上海小麦叶片光合作用的光抑制比西宁强。

青海高原由于海拔高, 气温偏低, 因此长期生长在此环境里的高原植物往往具有高度适应的特殊生理功能(张树源等, 1982, 1987)。不仅表现在光合适温方面(沈允钢等, 1978; 刘伟, 1984; Slatyer, 1977), 而且也表现在原产地海拔高的耐寒小麦品种比原产地海拔低的不耐寒小麦品种的净光合速率对高海拔, 低气温环境的独特适应能力上。

参 考 文 献

- 刘 伟, 1984, 西藏麦类作物的光合作用及其物质生产的特点. 自然资源 4:51—55
- 李存信、张 禾、林德辉, 1985, 冬小麦对不同海拔气候条件的反应 I. 植株光合作用特征. 云南植物研究 7(1): 11—15
- 许大全、李德耀、沈允钢、梁国安, 1984, 田间小麦叶片光合作用“午睡”现象研究. 植物生理学报 10:269—276
- 库德斯 J. (邱国雄等译), 1986, 生物生产力和光合作用测定技术. 93页, 科学出版社. 北京
- 沈允钢、王天铎, 1978, 光合作用——从机理到农业, 72页. 上海科学技术出版社
- 苏佛之、潘锦珊, 1991, 青海香日德春小麦高产的生理特性分析. 作物学报 7:19—26
- 陈集贤、程大志, 1988, 柴达木盆地的自然生态条件对春小麦光合生产的效应. 青海灌区春小麦丰产栽培模式. 90—102 页. 青海人民出版社, 西宁
- 张树源、马章英, 1982, 青藏高原夜间低温对几种牧草的生理学影响. 高寒草甸生态系统. 甘肃人民出版社, 兰州 1: 52—57
- 张树源、白雪芳、马章英, 1987, 三种垫状植物基础抗寒生理的比较. 高原生物学集刊 6:165—170
- 张树源, 1988, 矮嵩草草甸植物净光合速率变化的研究. 高原生物学集刊 8:133—139
- 张树源、武 海、沈振西、钟海民、陆国泉, 1991, 高寒草甸植物柔软紫苑 (*Aster flaccidus*) 和糙毛鹅冠草 (*Roegneria hirsuta*) 叶片的光合作用. 高寒草甸生态系统. 科学出版社, 北京 3:45—54
- 张树源、陆国泉、武 海、沈振西、钟海民、沈允钢、许大全、丁焕根、胡文新, 1992, 青海高原主要 C₃植物的光合作用. 植物学报 34(3):176—184
- 张树源、武 海、陆国泉, 1993, 青海高原植物生理生态学研究 I. 高寒草甸植物的光合作用. 西北植物学报 13(4):302—307
- 夏明忠, 1991, 高原粳稻光合特性的初步研究. 植物生理学通讯 27(3):181—184
- 姜 恕、盛修武、戚秋慧, 1984, 内蒙古锡盟地区大针茅草原群落光合速率日变化的比较研究. 植物学报 26:644—652

- 戚秋慧、盛修武、姜 恕、金启宏、洪 亮, 1989, 羊草和大针茅群落光合速率的比较研究. 植物生态学与地植物学学报 13:332—340
- 黄卓辉、余志新、王兆德, 1962, 小麦光合作用的初步研究. 小麦丰产研究论文集, 166—172页. 上海科学技术出版社
- 韩凤山、赵 明、赵松山, 1984, 小麦午睡原因的研究 I. 大田生态因子与午睡的关系. 作物学报 10:137—143
- 路季梅、俞炳泉, 1978, 西藏高原麦类作物产量形成的特点. 中国农业科学 4: 25—31
- Milner HW, Hisey WM., 1964, Photosynthesis in Climatic Races of Mimulus l. Effect of Light Intensity and Temperature on Rate. Plant Physiol. 39 (2): 208—213
- Mooney HA, West M., 1964, Photosynthetic Acclimation of Plants of Diverse Origin. Amer. Jour. Bot. 51 (8): 825—827
- Slatyer R., Aust. J., 1977, Plant Physiol. 4: 301

THE PHYSIOLOGICAL ECOLOGY STUDIES OF PLANTS IN QINGHAI PLATEAU

IV. THE NET PHOTOSYNTHETIC RATE OF PLANTS IN DIFFERENT ALTITUDE

Zhang Shuyuan Wu Hai Han Fa

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences)

Abstract

This paper deals with the net photosynthetic rate of the *Elymus nutans* of artificial cultivation in different locality and the same variety wheat leaves of pot, the former putted in the altitude 2 300m and 3 200m, the latter putted in the altitude 4m, 2 300m and 4 000m were determined.

The results showed that they were reduction with altitude risen in sunshine day under the natural conditions. Although the net photosynthetic rate of different wheat leaves of pot in the altitude 4m or 2 300m were still reduction with altitude risen, but it were increase with altitude risen when moved to altitude 4 000m.

These change may be related to the comprehensive influence of the different atmosphere, temperature, sunshine, oxygen and carbon dioxide of environmental factor under different altitude.

Key words: Net photosynthetic rate; Physiological ecology; Qinghai plateau