

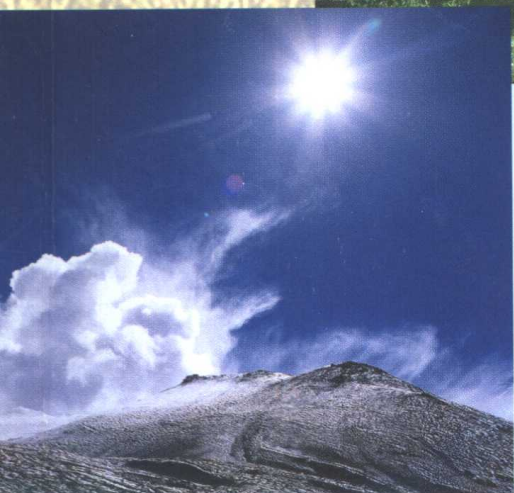
拉萨市重点科学研究项目 项目编号：96010

主管部门：拉萨市科学技术委员会

高原农业气象研究

拉萨市气象局《农业气候资源分析及区划》课题组

林日暖 主编



气象出版社

高原农业气象研究

拉萨市气象局《农业气候资源分析及区划》课题组

林日暖 主编

气象出版社

内容简介

本书收集了 25 篇近期青藏高原农业气象研究的论文,包括农业气象实验研究、作物农业气象分析、农业气候资源和农业气候评价等四个方面的内容,较为系统地体现了高原农业气象研究的成果和最新进展。可供从事农业、气候、环境和区域资源开发规划等方面的科研、教学、生产及管理部门的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高原农业气象研究/林日暖主编. —北京:气象出版社,2001.7

ISBN 7-5029-3207-0

I. 高… II. 林… III. 青藏高原—农业气象—研究—文集 IV. S16—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 047151 号

高原农业气象研究

林日暖 主编

责任编辑:吴庭芳 终审:周诗健

封面设计:创世佳图文 责任技编:吴庭芳 责任校对:李光华

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

北京市金瀑印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

2001 年 7 月第一版 2001 年 7 月第一次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10.25 字数:240 千字

印数:1~700

ISBN 7-5029-3207-0/P·1134

定价:20.00 元

前 言

青藏高原约占我国陆地面积的四分之一,平均海拔在 4000 m 以上,是世界上最高大、地形最复杂的高原。由于高原环境和农牧业对象的特殊性,形成了有别于平原和山地的农业气象的研究方法和内容。长期以来,西藏的农业和气象工作者,针对“农业中的气象问题”及“气象为农业服务的问题”,进行了广泛深入的研究和实践,取得了丰硕的成果,使高原农业气象学以引人注目的姿态出现在农业和气象科学各分支间。

西藏地区农牧业基础条件比较差,生态系统十分脆弱,气象灾害发生频繁,严重制约了农牧业持续稳定的发展。因此,深入系统地开展高原气候与农牧业生产关系的研究,具有重要的理论意义和实践意义。基于这个目的,拉萨市气象局在承担和实施拉萨市科学技术委员会重点科研项目《拉萨市农业气候资源分析及区划》课题的研究任务时,自始至终把农业气象试验研究作为重要内容。与中国科学院拉萨农业生态试验站、西藏自治区农科院蔬菜研究所等单位合作,开展了“冬小麦光合作用对比观测研究”(拉萨和河北固城)、“大白菜假植贮藏试验研究”、“冬小麦、春青稞生育期测定”、“冬小麦灌浆速度测定”、“拉萨地区冰雹分析”等多项农业气象实验研究。《拉萨市农业气候资源分析及区划》课题在研究过程中,共发表学术论文 30 多篇,本书既是该课题研究成果的汇编,同时还收集了部分相关研究论文。应该说,《高原农业气象研究》和《西藏拉萨市农业气候资源》两本专著构成了《拉萨市农业气候资源分析及区划》课题比较完整的研究成果。

本书包括农业气象实验研究、作物农业气象分析、农业气候资源和农业气候评价等四个方面的内容。参加本书编辑、整理的还有李春、张勇等同志。

在本书的编辑过程中,得到了张谊光教授、刘允芬教授、何延波博士、杜军高级工程师等有关专家的大力支持和指导,特此一并致谢。

编者

2001 年 5 月

目 录

农业气象试验研究

西藏高原田间冬小麦的表观光合量子效率	(3)
西藏高原田间冬小麦旗叶光合作用研究	(8)
西藏高原农田土壤 CO ₂ 排放研究初报	(15)
青藏高原东部生态系统土壤碳排放	(20)
大白菜假植贮藏试验研究	(30)
拉萨露地大白菜营养生长阶段热量条件试验研究——生育期与温度指标	(40)
拉萨露地大白菜霜冻试验研究	(44)

作物农业气象分析

拉萨冬小麦生育后期子粒形成与温度的关系	(51)
拉萨地区麦类作物需水状况及适宜灌溉问题探讨	(57)
拉萨河谷农区冬小麦水分条件的初步分析	(64)
拉萨市蔬菜生产的气象条件分析	(67)

农业气候资源

基于 GIS 的热量资源网格点计算	(75)
高原主要农区气候资源动态变化	(83)
西藏高原热量资源分布规律的探讨	(90)
拉萨地区气候资料延长订正的初步探讨	(95)
近 40 年拉萨霜期变化的气候特征分析	(100)
拉萨 $\geq 5\text{mm}$ 降水日数与旱涝关系	(106)
拉萨近 40 年年平均气温变化特征的初步诊断分析	(110)
拉萨近 45 年旱涝变化的初步探讨	(114)
拉萨近 40 年平均(极端)最高、最低气温变化研究	(121)

农业气候评价

拉萨市农业气候资源综合评价	(129)
西藏农区降水资源评价与农田水利建设决策的建议	(136)
自然灾害灾情评估思路探讨	(140)
拉萨市 1997 年度农业气象条件分析及年景评价	(146)
拉萨地区 1998 年农业气象条件分析及年景评价	(152)

Contents

Agrometeorological Experimental Researches

Apparent photosynthetic quantum efficiency of winter wheat in Tibetan Plateau	(3)
Study on photosynthesis of flag-leaf of winter wheat in Tibetan Plateau	(8)
Primary study on CO ₂ emission from soil in Tibetan Plateau	(15)
C emission from soil in ecosystem of eastern Tibetan Plateau	(20)
Experimental research on false-planting storage of Chinese Cabbage	(30)
Experimental research on heat conditions at vegetative stage of Chinese Cabbage in open field in Lhasa	(40)
Experimental Research on frost effect on Chinese Cabbage in open field in Lhasa	(44)

Analysis of Crop-Agrometeorology

The relationship between grain formation of winter wheat and temperature in Lhasa	(51)
The discussions on water demand and reasonable irrigation of cereal crops in Lhasa Region	(57)
Primary analysis of water condition of winter wheat in valley farmland in Lhasa Region	(64)
Meteorological condition analysis of vegetable production in Lhasa	(67)

Agroclimatic Resources

Grid computation of heat resource based on GIS	(75)
Dynamic variations of climatic resource in agricultural region in Tibetan Plateau	(83)
Distribution patterns of thermal resource in Tibetan Plateau	(90)
Primary study on methodology of correcting and prolonging climate data in Lhasa ...	(95)
Climatic characteristics of frost season in recent 40 years in Lhasa	(100)
The relationship between rain days (≥ 5 mm) and drought and flood	(106)
Diagnostic analysis of variation characteristics in average annual temperature in recent 40 years in Lhasa	(110)
Primary research on variation of drought and flood in recent 45 years in Lhasa	(114)
Research on variation of average (extreme) maximum and minimum temperature in recent 40 years in Lhasa	(121)

Agroclimatic Assessment

Comprehensive Assessment of agroclimatic resources in Lhasa	(129)
Assessment of rainfall resources and suggestion on construction of water conservancy works	(136)
Discussion on assessments of natural disasters damage	(140)
Agrometeorological condition analysis and harvest assessment in 1997 in Lhasa	(146)
Agrometeorological condition analysis and harvest assessment in 1998 in Lhasa	(152)

农业气象试验研究

西藏高原田间冬小麦的表现光合量子效率^①

摘 要

在西藏高原田间的测定表明,高原冬小麦光—光合速率响应曲线符合直角双曲线函数,其表观初始光能利用效率 α 平均为 $0.034 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}/(\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1})$, 只及内陆平原地区的约 2/3。高原地区空气稀薄, CO_2 密度为平原地区的 2/3 左右,致使小麦叶片光能利用效率降低。

关键词:西藏高原 冬小麦 表观初始光能利用效率

西藏高原小麦最高单产记录曾达 15.5 t hm^{-2} ^[1]。1995 年我们的高原试验田在土层较薄、管理水平一般的条件下,冬小麦单产亦达到 9.8 t hm^{-2} 。开展高原冬小麦光合特性的研究,对于揭示高原小麦高产机理具有重要意义。近年在全球变化研究中,对大气 CO_2 含量与植物光合作用的关系也愈加重视。青藏高原空气稀薄, CO_2 含量远低于平原地区,这为我们提供了一个良好的试验场所。分析高原和平原作物光合特性的差异,有助于了解 CO_2 含量变化对作物产量的影响。许多学者的研究将高原光合强度高作为高原小麦高产的原因之一^[2],本文通过观测分析对此提出了新的看法。

1 材料与方法

1995~1996 连续两年在中国科学院拉萨农业生态站(西藏达孜, $29^{\circ}41' \text{N}$, $91^{\circ}20' \text{E}$, 海拔 3688 m)冬小麦试验田里,在各种不同天气条件下,对小麦旗叶净光合速率进行了不离体测定,供试品种为“藏冬 92-66”。从旗叶全展至腊熟期(5~8 月),每隔 7 天左右连续测定 2~3 天。每次重复测定 5 片叶片,每片叶连续记录 6~10 组数据,以所测的 5 片叶的平均值代表该时次的净光合速率值,每测一次约需半小时,从日出到日落,全天连续观测。所用仪器为美国 CID 公司产 CI-301PS 便携式光合作用测定系统。试验开始前分别在北京和高原用 CO_2 标准气对该仪器进行了反复多次的严格标定和预试验。试验过程中每 10 天进行一次野外标定,测量数据准确可靠。

2 结果和分析

2.1 光-光合速率响应模型

我们的大量观测资料表明,高原冬小麦旗叶每天的光—光合速率响应曲线都能符合直角

① 作者刘允芬、张宪洲、周允华、张谊光、喻朝庆,发表在《生态学报》2000 年第 20 卷第 1 期。

双曲线方程,可用 Michaelis-Menten 模型表达。净光合速率 P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)可写成下式:

$$P_n = \frac{\alpha I P_{\max}}{\alpha I + P_{\max}} - R_d \quad (1)$$

式中 I ($\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)为入射到叶片上的光量子通量密度 (PFD), $P_{\max}$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)为表观最大光合速率, R_d ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)为表观暗呼吸速率, α ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1} / (\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1})$)为表观初始光能利用效率,它表征光合作用中的光能最大转化效率。图 1 绘出了 6 天的实测结果,图中实线为按式(1)得到的拟合曲线。两年来我们共获得完整的全天观测资料 31 天,31 条拟合曲线的相关指数 R^2 的均值和标准差为 0.71 ± 0.21 ,置信度达到 0.01。

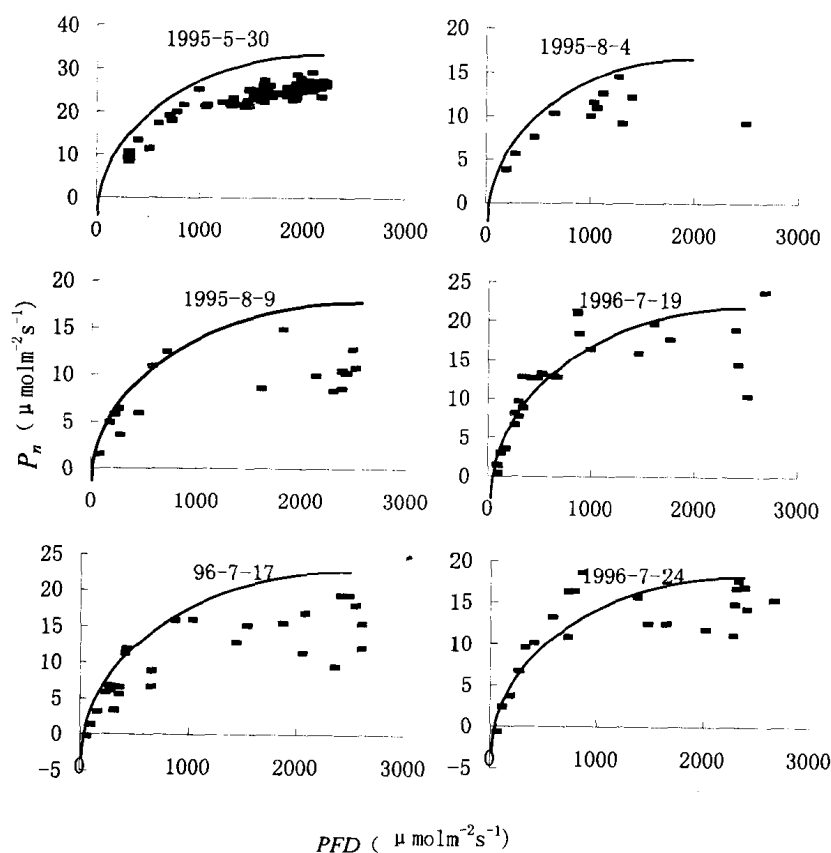


图 1 青藏高原冬小麦旗叶光-光合速率响应曲线(西藏,达孜)

2.2 表观初始光能利用效率 α

根据高原实测资料,由 31 条拟合曲线确定出的均值和标准差为 $0.034 \pm 0.009 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1} / (\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1})$ 。据平原地区实验室的测定,光合作用每同化一个 CO_2 分子的最低量子需要量为 $8 \sim 12$ ^[3],即光合量子效率为 $0.083 \sim 0.125 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1} / (\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1})$ 。在自然条件下,光合量子效率有不同程度的降低。对平原地区 C_3 植物成熟叶片来说, α 取值约 $0.055 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1} / (\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1})$ ^[4],而在高原用大田实测资料

计算得到的 α 值只及平原地区的约 $2/3$ 。这一结果是很值得注意的：它表明西藏高原小麦的表观量子效率要低于东部低海拔地区。值得指出的是，张树源^[5]等人曾在青海西宁（海拔 2270 m）田间测得春小麦 α 为 $0.023 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / (\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ ，这个值比我们的测值还要低，估计这与他们所用的数学方法有关。因为他们是用低光强下的测量数据按线性相关法来确定 α 值的，其结果会比用式(1)确定出的值偏低。

高原地区的 α 值低于平原地区，这个结果是可以理解的。 CO_2 是陆地植物光合作用的惟一供应者，空气中 CO_2 含量的多寡直接影响作物的光合速率。沈允钢^[6]、孙雷心^[7]等人在温室的试验结果表明， CO_2 相对浓度在几百 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 的范围内，冬小麦净光合速率与 CO_2 相对浓度差不多是呈成正比的：当 CO_2 由 $300 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 降至 $200 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ，即 CO_2 含量降至原来的 $2/3$ 时，麦苗净光合速率也相应降低到约 $2/3$ （见图 2，图中把 $300 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 时的净光合速率取作 1）。王春乙等人在开顶室的试验则表明，当 CO_2 倍增时，乳熟期冬小麦叶片净光合速率增加了约 1 倍^[8]。Hand^[9]、蒋高明^[10]等的研究则表明 CO_2 浓度升高引起光反应曲线开始时陡度变坡。

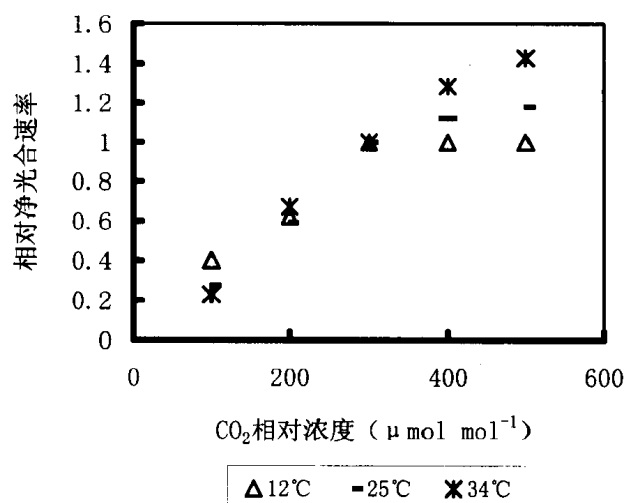


图 2 不同温度下 CO_2 相对浓度与小麦净光合的关系
(资料取自文献[6]图 12-6)

以上只是平原地区实验室里的测定结果，至于大田下的情况如何，是人们更感兴趣的问题。我们在高原田间的测量结果则在一定程度上回答了这个问题。两年来我们采用闭路叶室进行光合速率测定时发现，在关闭叶室后的短时间内，温度和光量子通量密度变化不大，但随着叶室内 CO_2 相对浓度的急速下降，冬小麦旗叶净光合速率也同步下降。由表 1 给出的一个例子可见，当叶室内 CO_2 相对浓度降低至原先的 $2/3$ 时，净光合速率亦相应降至原先的约 $2/3$ 。

由以上比较可见，在高原大田里的测量结果和平原地区实验室的测量结果是一致的，可以相互验证。这里需要指出的是，尽管高原与平原测定中 CO_2 相对浓度均为 $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 左右，但由于海拔不同，大气压力不同，空气中 CO_2 密度有很大差别。而空气中 CO_2 对冬小麦光合速率的影响正是通过 CO_2 密度起作用的。本测点的大气压力在冬小麦试验期间平均为 653 hPa，约为平原地区的 $2/3$ 。田间测定的 CO_2 相对浓度平均值和标准差为 $344 \pm 17 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ，

结合实测气象资料,换算得到测点近地层空气中 CO_2 密度值为 $0.41 \pm 0.02 \text{ mg dm}^{-3}$;而平原地区同期相应值为 $0.60 \sim 0.62 \text{ mg dm}^{-3}$;可见达孜近地层空气中 CO_2 密度仅及平原地区的 $2/3$ 左右。通过观测资料确定的表观初始光能利用效率 α 平均值大致也约为平原地区相应值的 $2/3$,这表明 α 值的大小的确是与 CO_2 密度呈正比关系的。

表 1 闭路系统观测中净光合速率 (P_n) 随 CO_2 浓度的变化(西藏达孜,1996-6-15)

观测排序	温度 ¹⁾	光量子通量密度 ²⁾	CO_2 相对浓度 ³⁾	CO_2 相对浓度比	P_n ⁴⁾	P_n 比
(1)	18.4	515.7	316.6		25.7	
	19.0	527.4	220.3	1 : 0.696	16.7	1 : 0.650
(2)	24.3	1497.3	330.9		34.6	
	24.8	1568.1	206.3	1 : 0.623	22.1	1 : 0.639
(3)	28.6	2185.0	357.0		38.2	
	29.7	2177.6	228.3	1 : 0.639	24.0	1 : 0.628

1) $^{\circ}\text{C}$, 2) $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 3) $\mu\text{mol mol}^{-1}$, 4) $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

3 结论与讨论

连续两年在西藏高原田间的测定表明,高原冬小麦光合速率随光量子通量密度的变化符合直角双曲线函数,其表观初始光能利用效率 $0.034 \pm 0.009 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1} / (\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1})$,约为内陆平原地区的 $2/3$ 。高原地区空气稀薄, CO_2 密度远低于平原地区,致使小麦量子利用效率降低。测量表明,不仅在实验室里,即使在大田条件下,光合作用速率和 CO_2 含量差不多也是呈正比的。这个观测结果对气候变化与作物产量的研究具有重要意义。现在作出这样的论断或许为时过早,希望今后能得到更多田间实测结果的检验。

根据 31 天全天完整观测资料拟合计算得到的表观最大光合速率 ($P_{\max}$) 的均值和标准差为 $25 \pm 5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$,平原地区 C_3 植物 $P_{\max}$ 取值一般为 $14 \sim 39 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ^[11],对生长良好的冬小麦而言, $P_{\max}$ 为 $20 \sim 27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ^[12],表明高原地区 $P_{\max}$ 的取值和平原地区并无显著差异。在高原测得表观暗呼吸速率 (R_d) 的均值和标准差为 $1.5 \pm 0.9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$,与平原地区一般取值 ($0.9 \sim 3.12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 下限接近^[13],显然这与高原缺氧,致使表观暗呼吸速率较低有关。

作者曾发现高原冬小麦叶片比平原地区的更趋于直立,并根据这一特性提出在高原强辐射条件下,作物冠层群体上下受光比平原更均匀,从而对光能接受就更充分,是高原小麦高产的重要原因之一^[14]。现在通过对冬小麦叶片光合特性的测定,则又进一步认识到,由于高原 CO_2 密度低,大大限制了群体对丰富光能的有效利用。我们不妨先假定高原小麦叶片对光量子的利用效率即 α 值与平原相同,那么在高原强辐射、无高温胁迫、叶片直立等因素共同作用下,小麦的干物质累积速率也应高于平原地区。可是在高原田间的观测结果则表明,冬小麦返青(或春小麦出苗)至乳熟期日平均干物质累积速率仅为平原地区的 $80\% \sim 90\%$ ^[15]。由此可见,由于高原大气中 CO_2 密度偏低而造成的冬小麦叶片光量子转化效率偏低,这个因素大大限制了高原小麦对丰富光能的有效利用,从而使其群体平均干物质累积速率低于平原地区。但是由

于高原小麦生长期一般大于 320 天,生育期大于 140 天,约为平原的 1.5 倍,因而小麦叶片的持绿时间长以至光合作用时间延长,有利于干物质的积累。以往的研究者在分析高原生态条件对小麦产量的影响时,对高原太阳辐射强的优势给予了充分的重视,而对 CO_2 密度低导致小麦光量子利用效率低这一劣势却没有进行深入探讨。我们的研究则表明:对小麦群体而言,高原强烈的太阳辐射提供了丰富的能量来源,叶片比平原更加直立有利于群体的充分受光,然而较低的 CO_2 密度则导致了叶片量子利用效率的降低,后一个不利因素超过了前两个有利因素的作用,其最终结果导致了高原小麦群体干物质累积速率低于平原地区。因此我们可以得出这样的论断:高原小麦高产的根本原因不在于群体的光合强度高,而在于光合持续时间长。

参考文献

- [1] 张谊光. 青藏高原农业气候资源的特点与功能. 中国青藏高原研究会第一届学术讨论会论文选, 北京: 科学出版社, 1992. 134~140
- [2] 路季梅, 俞炳皋等. 西藏高原麦类作物产量形成的特点. 中国农业科学. 1978(4): 5~13
- [3] 许大全. 光合作用效率. 植物生理学通讯, 1988(5): 1~7
- [4] Penning, F. W. T. et al. Simulation of plant growth and crop production. Centre for agricultural publishing and documentation, Wageningen, 1982, 87~113
- [5] 张树源, 陆国泉, 武海等. 青海高原主要 C3 植物的光合作用. 植物学报, 1992, 34(3): 176~184
- [6] 沈允钢, 王天铎. 光合作用—从机理到农业. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 77
- [7] 孙雷心, 张理. 小麦单叶光合特性对微气候要素的反应. 北京农业大学学报, 1993, 19(4): 15~20
- [8] 王春乙, 潘亚茹, 白月明等. CO_2 浓度倍增对中国主要作物影响的试验研究. 气象学报, 1997, 55(1): 86~94
- [9] Hand, D. W., Witson, J. W., Acock, B. Effects of light and CO_2 on net photosynthetic rates of stands of Aubergine and Amaranthus. Annals of Botany, 1993, 209~216
- [10] 蒋高明, 林光辉. 生物圈二号内生长在很高 CO_2 浓度下的几种植物光合能力的变化. 科学通报, 1997, 42(4): 438
- [11] Jones, H. J. Plant and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. Cambridge University Press, Cambridge, 1983. 134
- [12] 周允华, 项月琴, 李俊等. 一级生产水平下冬小麦、夏玉米的生产模拟. 应用生态学报 1997, 8(3): 257~262
- [13] 韩湘玲主编. 作物生态学. 北京: 气象出版社, 1991. 33
- [14] 林忠辉, 周允华, 王辉民等. 青藏高原冬小麦冠层几何结构、光截获及其对产量的影响. 生态学报, 1998
- [15] 喻朝庆, 张谊光, 周允华等. 青藏高原小麦高产原因的农业生态环境因素探讨, 自然资源学报, 1998, 13(2)

西藏高原田间冬小麦旗叶光合作用研究^①

摘 要

西藏高原冬小麦旗叶光合速率日变化曲线为平坦或单峰型,没有明显“午睡”现象。净光合速率日最高值可与平原接近。光合日总量最高值出现在灌浆中期,其值比平原低 4%~34%。净光合速率达 $20 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上的环境因子组合是光合有效辐射光量子通量密度 $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上,气温 $25\sim 29^\circ\text{C}$,近地层大气 CO_2 密度 0.41 mg dm^{-3} 以上,0 cm 地温 $18\sim 23^\circ\text{C}$ 、5 cm 地温 $15\sim 19^\circ\text{C}$ 。这样的因子组合在高原同时满足的几率不高,由于 CO_2 浓度与光温因子高值出现时间不同步,更由于 CO_2 密度比内陆平原低 1/3,严重制约了光合日总量值,高原冬小麦旗叶光合作用的特点是净光合速率日最高值可与平原接近,但光合日总量却明显低于平原。

关键词: 西藏高原 冬小麦 光合作用

高原麦类高产问题的研究已开展了三十余年,对其产量结构特征及气候生态适应性进行了深入探讨(李继由,1983;程大志等,1979;刘明孝等,1988),但从小麦光合生理生态特征方面的研究不够系统深入。西藏高原海拔高, CO_2 密度远低于平原地区,要深入探讨西藏麦类作物高产机理及其生态适应性,有必要对其光合作用特性进行研究;分析高原和平原作物光合特性的差异,也有助于了解 CO_2 含量变化对作物产量的影响,对全球变化中有关大气 CO_2 含量变化与植物光合作用关系问题的研究有一定意义。

1 材料和方法

1995~1996 连续两年在中国科学院拉萨农业生态试验站(西藏达孜, $29^\circ 41' \text{N}$, $91^\circ 20' \text{E}$,海拔 3688 m)冬小麦试验田,在不同天气条件下,对冬小麦旗叶净光合速率进行了不离体测定,供试品种为“藏冬 92-66”。从旗叶全展期至腊熟期(5~8 月),每隔 7 天左右连续测定 2~3 天。每次重复测定 5 片叶,每片叶连续记录 6~10 组数据,以测定的 5 片叶的平均值代表该时次的净光合速率值,每测一次约需半小时,从日出到日落,全天连续观测。我们将旗叶全天同化的 CO_2 量定义为旗叶光合日总量,通过对各时次净光合速率积分求得。气源为麦地上空 4 m 高处大气。所用仪器为 CI-301PS 便携式光合作用测定系统。试验开始前分别在北京和高原用 CO_2 标准气(北京分析仪器厂提供,相对浓度 $348 \mu\text{mol mol}^{-1}$)对仪器进行了反复多次的严格标定(仪器本身具有标定程序)和预试验;试验过程中每 10 天进行一次野外标定。

^① 作者刘允芬、张宪洲、张谊光、周允华。

2 结果和分析

2.1 西藏高原冬小麦旗叶光合作用日变化

2.1.1 净光合速率日变化及主要影响因素

两年中进行日变化测定共 41 天。高原冬小麦旗叶净光合速率 (P_n : $\mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 日变化与光量子通量密度 (PFD : $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、气温 (T_a : $^{\circ}\text{C}$) 呈明显正相关变化(均通过 0.001 置信度检验)。在一般天气条件下,净光合速率日变化呈单峰或平坦型,10~16 时 P_n 持续较高。凡日变化中出现 P_n 下降的,多伴有 PFD 及 T_a 下降。这可从以下两天的观测看出(图 1)。1996 年 6 月 20 日以晴为主,1995 年 8 月 4 日以阴为主,两天 16 时前后 PFD 及 T_a 均出现了回升趋势,但 P_n 并未随 PFD 和 T_a 的回升而升高,估计 CO_2 补给不足是重要因素。晴天 P_n 明显高于阴天,虽然两天 T_a 水平较接近,但 1995 年 8 月 4 日 P_n 比 1996 年 6 月 20 日低约 1/3。尽管与发育期不同有关,但主要还是 PFD 的差别起了决定作用。从图中 P_n 与 PFD 一致的变化关系还可看出,高原冬小麦旗叶光合作用没有明显的光抑制现象,在 PFD 值高于 $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的情况下, P_n 仍随 PFD 的增加而增加。

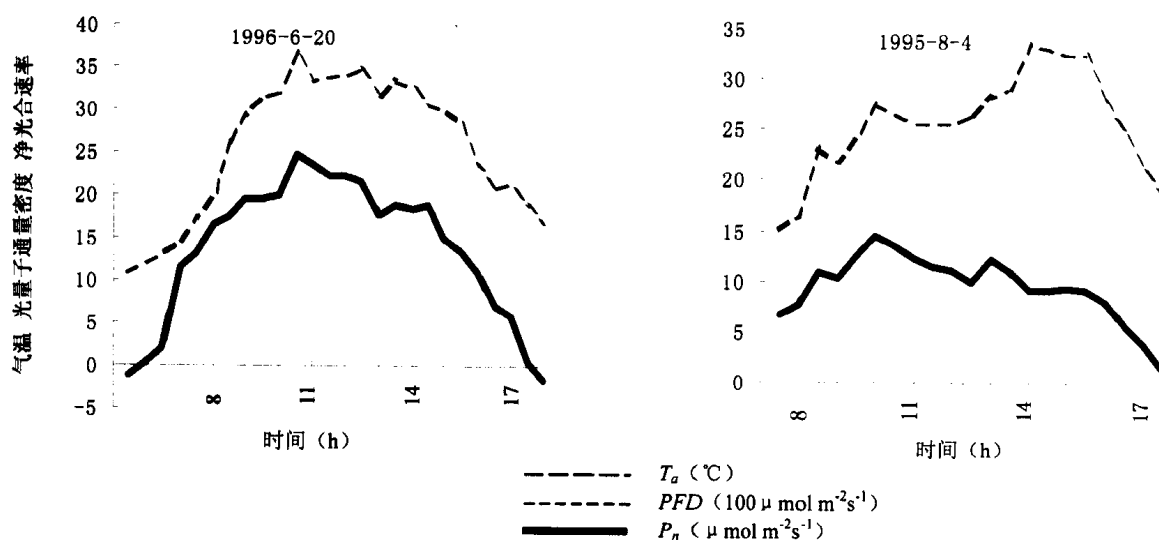


图 1 不同天气条件下高原冬小麦旗叶净光合速率及其环境因子日变化

2.1.2 净光合速率日平均值、日最高值及其出现时间

根据两年观测资料计算所得旗叶净光合速率日平均值为 $13.11 \pm 4.71 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。我们以每天每时次所测 5 片旗叶平均值中的最高值代表田间最佳光温条件下的日最高值(记为 P_{nm}),其值多出现在 10~14 时,为 $19.31 \pm 6.01 \mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。孕穗到灌浆期该值高于 $20 \mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的日数两年都在 40 天以上(表 1)。 C_3 作物最大净光合速率一般为 $14 \sim 39 \mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Jones HJ., 1983)。据赖世登(1981)对北京地区 24 个不同品种冬小麦的试

验,在光强 $2200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、温度 $20 \sim 23^\circ\text{C}$ 条件下,旗叶净光合速率在 $14.77 \sim 25.59 \mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之间。我们的测定表明高原冬小麦旗叶净光合速率在最佳光温条件下接近平原地区。

表 1 1995~1996 年部分净光合速率日最高值 (P_{nm} : $\mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 及其出现时间

日期	1995/5/30	1995/6/6	1995/7/15	1995/7/29	1995/8/6
苗龄	246	253	292	306	314
净光合速率日最高值	27.04	23.22	20.88	27.74	16.02
时间	10:32	12:54	12:04	11:51	9:24
生育期	孕穗	抽穗	灌浆	灌浆	乳熟
日期	1996/6/20	1996/6/21	1996/7/2	1996/7/25	1996/8/8
苗龄	261	262	273	296	310
净光合速率日最高值	24.73	26.51	24.38	28.29	13.05
时间	12:43	16:21	15:27	10:36	12:23
生育期	抽穗	开花	灌浆	灌浆	乳熟

1996 年孕穗期的日最高值明显低于 1995 年,这与 1996 年孕穗初期罕见的晚霜冻密切相关:6 月 9 日最低气温 1.5°C ,9~10 日地面最低温度分别为 -1.5°C 和 -0.3°C ;6 月 13 日地面最低温度再次降到 0.0°C 。6 月 13 日小麦从旗叶开始大面积黄尖乃至黄叶、破损,严重影响了光合作用正常进行。与 1995 年相同苗龄期地面最低温度及净光合速率日最高值比较,冻害造成的光合速率下降是明显的(表 2);同期地面最低温度 1996 年比 1995 年低 $2.0 \sim 2.9^\circ\text{C}$,相应净光合速率日最高值 1996 年比 1995 年低 30% 左右,其值在 $20 \mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上的持续日数 1996 年(42 天)比 1995 年(61 天)减少近 1/3。1996 年冬小麦生长季比 1995 年缩短一周以上,相应旗叶光合日数也因此而减少。

表 2 旗叶冻害与净光合速率日最高值 (P_{nm} : $\mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 之降低

苗龄(天)	253	255	306
1995 年日期	1995.6.6	1995.6.8	1995.7.29
地面最低温度($^\circ\text{C}$)	6.9	6.6	10.5
净光合速率日最高值	23.22	21.65	27.74
1996 年日期	1996.6.12	1996.6.14	1996.8.4
地面最低温度($^\circ\text{C}$)	4.0	4.5	8.5
净光合速率日最高值	16.31	13.92	19.84
1996 年比 1995 年减少百分率(%)	29.76	35.70	28.48

2.1.3 高原与平原冬小麦旗叶净光合速率日变化的比较

西藏高原与内陆平原地区相比,具有海拔高,气压、气温及空气密度均低,太阳辐射强等特点。在这样的特定自然环境条件下,冬小麦旗叶光合速率日变化与平原的差别最突出的一点是