

秦岭北麓猕猴桃主栽品种光合特性的研究

袁继存, 张林森*, 李丙智, 龙周侠, 姚春潮, 刘旭锋

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:以秦岭北麓猕猴桃主栽品种红阳、楚红、金魁、徐香、金香和海沃德为试材,研究了田间条件下的光合特性。结果表明:6个猕猴桃品种的光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(G_s)的日变化均为双峰曲线,在10:00时出现第一峰值,红阳、楚红、金魁、徐香、金香和海沃德的光合速率(P_n)分别为13.4、16.8、11.4、12.5、12.3和11.6 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,12:00—14:00时出现午休,在14:00时到达低谷,光合速率(P_n)分别为10.2、10.9、4.6、9.1、8.3和7.2 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,16:00时出现第二峰值,光合速率(P_n)分别为11.8、11.9、5.3、11.4、11.3和8 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。美味猕猴桃品种(金魁、徐香、金香和海沃德)的 C_i 日变化曲线呈“W”型,中华猕猴桃品种(红阳和楚红)的 C_i 日变化曲线呈“V”型。对不同猕猴桃品种光响应曲线的研究表明,各品种皆是喜光植物,楚红的耐荫性最强,徐香最弱,楚红、红阳、金魁的光能利用范围较大,金香、海沃德居中,徐香最窄。

关键词:猕猴桃;光合速率;蒸腾速率;气孔导度;胞间 CO_2 浓度;日变化

中图分类号:S663.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2011)01-0039-04

Photosynthetic Characteristics of the Main Kiwifruit Cultivars in the Northern Foot of Qinling Mountains

YUAN Ji-cun, ZHANG Lin-sen*, LI Bing-zhi, LONG Zhou-xia, YAO Chun-chao, LIU Xu-feng

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to improve the kiwifruit cultivation and management, the photosynthetic characteristics of the main kiwifruit cultivars measured in the northern foot of Qinling Mountains, such as Hongyang, Chuhong, Jinkui, Xuxiang, Jinxiang and Hayward were conducted. The results showed that the diurnal variation curves of net photosynthesis rate (P_n), transpiration rate (Tr) and stomata conductance (G_s) of six main varieties of kiwifruit were bimodal curves. The first maximum appeared at 10:00, the values of P_n of Hongyang, Chuhong, Jinkui, Xuxiang, Jinxiang and Hayward were 13.4, 16.8, 11.4, 12.5, 12.3 and 11.6 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. The midday depression occurred at 12:00—14:00, the minimum values of P_n at 14:00 were 10.2, 10.9, 4.6, 9.1, 8.3 and 7.2 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. The second peak occurred at 16:00 with the P_n values of 11.8, 11.9, 5.3, 11.4, 11.3 and 8 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively. The diurnal variation of concentration Inter-cellular CO_2 (C_i) in the *Actinidia deliciosa* cultivars (Jinkui, Xuxiang, Jinxiang and Hayward) were “W” type, while the *Actinidia chinensis* cultivars (Hongyang and Chuhong) were “V” type. Six varieties of kiwifruit were all photophilous types. Cultivar Chuhong was the strongest in shading-tolerance and Xuxiang was the weakest. The range of the light energy utilization of Chuhong, Hongyang and Jinkui were wider than Xuxiang, while Jinxiang and Hayward were in the middle.

Key words: Kiwifruit; photosynthetic rate; transpiration rate; stomata conductance; intercellular CO_2 concentration; diurnal variation

收稿日期:2009-11-18 修回日期:2010-04-06
基金项目:科技部支撑计划(2007BAD79B01-08),农业部行业计划(nyhyzx07-024)
作者简介:袁继存,男,从事果树水分生理研究。E-mail:abcs99887@163.com
* 通讯作者:张林森。E-mail:linsenzhang@163.com

猕猴桃属于猕猴桃科 (Actinidiaceae) 猕猴桃属 (*Actinidia* Lindl.) 的落叶藤本果树^[1]。本属植物多分布于亚洲,以我国原产的最多。近年来,陕西省猕猴桃种植面积不断增加,截至 2009 年底已超过 4 万 hm^2 ,接近全球的三分之一,主要分布在周至、户县、眉县等秦岭北麓^[2],已经发展成为陕西农业的支柱产业。光合作用是植物生长发育的基础,是一个对环境条件变化十分敏感的生理过程。从生理生态的角度看,光合和蒸腾分别是 CO_2 和 H_2O 通过叶片气孔的内外物质交换过程,气孔行为对光合与蒸腾都产生直接影响^[3-4]。产量与光合能力密切相关,猕猴桃产量和品质的增加依赖于叶片光合效率的改善。不少学者对个别猕猴桃品种的光合速率和光合日变化进行了研究^[5-7],而多个猕猴桃品种光合特性同时研究的报道较少。本试验以秦岭北麓猕猴桃主栽品种红阳、楚红、金魁、徐香、金香和海沃德为试材,研究了其田间条件下的光合特性,比较不同猕猴桃品种间的差异,为确立优质猕猴桃生产技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在西北农林科技大学眉县猕猴桃试验园。位于陕西省关中平原西部,属黄河中游川塬沟壑区。年平均气温为 12.9°C ,年降水量为 609.5 mm ,年平均日照为 $2\,015.2\text{ h}$,光照热量充足。

1.2 试验材料

试验材料:中华猕猴桃 (*Actinidia chinensis*) 品种红阳、楚红和美味猕猴桃 (*A. deliciosa*) 品种金魁、徐香、金香、海沃德共 6 个品种。品种来源于西北农林科技大学猕猴桃资源圃,每品种 12 株,共 72 株。株行距为 $3\text{ m}\times 4\text{ m}$,树龄 5 a 生,架式为棚架,中华猕猴桃授粉品种为和雄 1 号,美味猕猴桃的授粉品种为马图阿 (Matua),树体生长健壮,所有管理水平一致,产量中等。

1.3 测定方法

试验于 2009 年 6 月 24 日、7 月 3 日和 7 月 14 日进行,均为晴朗无云天气。用英国 PP-System 公司生产的 CIRAS-2 便携式光合仪,在田间测定上述 6 个猕猴桃品种的光合作用等。每个品种选择 3 株,每株选择新梢中部至中上部充分发育的健康叶片 1 片,进行光合作用的测定。为保证结果的可比性,按每次各品种测定一个叶片进行,重复 3 次测定完。测定时间为 6 时至 20 时,每隔 2 h 测定 1 次,

共 8 次。采用开放式气路,利用仪器自带光源,模拟每天各个时间点的光合有效辐射强度,全部模拟自然条件测定。测定猕猴桃品种的光响应曲线时,在 9:00~11:00 外界条件比较稳定时,用 CIRAS-2 便携式光合仪自带的红蓝光源设定模拟光辐射强度为 $2\,000$ 、 $1\,800$ 、 $1\,600$ 、 $1\,400$ 、 $1\,200$ 、 $1\,000$ 、 800 、 600 、 400 、 200 、 100 、 50 、 $0\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,测定猕猴桃新梢中部有代表性的 3 片健康叶片的净光合速率 (P_n) 等,然后用光响应曲线求得光补偿点 (LCP) 和光饱和点 (LSP)。为尽量减小测定时差对结果的影响,用 2 台校准过的 CIRAS-2 光合仪同时工作。3 个典型光合日测定所得的结果相近,本文仅选用 7 月 14 日的测定结果。利用 Excel 和 SAS 软件对数据进行分析 and 作图。

2 结果与分析

2.1 不同猕猴桃品种净光合速率(P_n)的日变化

7 月 14 日不同猕猴桃品种的 P_n 日变化由图 1 可以看出,6 个猕猴桃品种 P_n 日变化均呈不同程度的双峰曲线,都在 10:00 出现第一峰值,12:00~14:00 时出现午休,16:00 时到达第二高峰。在测定期间,光合有效辐射和大气温度日变化都呈单峰型 (图 2)。PAR 在 14:00 左右出现最高峰,为 $1\,850\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,14:00 以后开始迅速下降。大气温度在 $25\sim 35^\circ\text{C}$ 之间变化,也在 14:00 左右出现最高值。从图 1、图 2 综合分析看,在 6:00—8:00 随着光强的增加,徐香、金香、红阳表现出较强的适应能力, P_n 快速增加,楚红次之,金魁和海沃德相对较弱;但在 8:00—10:00,楚红、金魁和海沃德的 P_n 却比徐香、金香和红阳的上升的快;10:00—14:00,随着气温的升高,所有品种的 P_n 都表现出不同程度的降低,特别是金魁,降幅最大;14:00—16:00,随着气温的降低,所有品种的 P_n 又都有所回升,进入了第二个小高峰;16:00—20:00,随着光强的减弱, P_n 逐渐减小。楚红波动较大,峰值最高,耐高温性能最差,午休现象明显;金魁波动最小,峰值最低,没有明显的午休现象,光合速率最低。

2.2 不同猕猴桃品种的蒸腾速率(T_r)日变化

7 月 14 日不同猕猴桃品种的 T_r 日变化由图 3 可看出,6 个猕猴桃品种叶片 T_r 的日变化与其 P_n 日变化同步,当 P_n 出现峰值时, T_r 也相应地达到高峰,表现出不明显的双峰曲线,表明其均属于蒸腾午休型品种。在 1 a 中,由于气温等各种因素的变化,猕猴桃叶片的蒸腾速率随之发生规律性变化。在清晨 6:00 左右,叶片的气孔导度较小,这时的蒸

腾较弱,蒸腾速率较低,此后随着气孔导度增大,蒸腾速率不断提高,在上午 10:00 达到最大值,金魁、徐香、金香、海沃德、红阳和楚红的蒸腾速率(Tr)分别为 2.9、4.0、3.9、3.9、4.9 和 4.2 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,之后蒸腾速率开始逐渐降低,在光照强烈的 12:00~14:00,猕猴桃气孔关闭降低蒸腾,以适应干旱,在下午 14:00 达到第二小高峰,之后 Tr 逐渐减小。

图 1 不同猕猴桃品种的净光合速率日变化
(7 月 14 日,晴天)

Fig. 1 Diurnal variations of P_n of different kiwifruit cultivars
(measured at 14 July, Sunny day)

图 2 光合有效辐射(PAR)和大气温度(T_a)的日变化
(7 月 14 日,晴天)

Fig. 2 Diurnal variations of the photosynthetic active radiation(PAR) and air temperature(T_a) (14 July, Sunny day)

图 3 不同猕猴桃品种的蒸腾速率(Tr)日变化
(7 月 14 日,晴天)

Fig. 3 Diurnal variation of Tr in different kiwifruit cultivars
(14 July, Sunny day)

2.3 不同猕猴桃品种气孔导度(G_s) 的日变化

7 月 14 日不同猕猴桃品种的 G_s 日变化由图 4 可看出,6 个猕猴桃品种在 10:00 的 G_s 值最大,除

楚红外,其余 5 个品种在 6:00~8:00 上升速度较快,8:00~10:00 上升速度变缓,10:00~12:00 迅速下降,12:00~14:00 降速趋缓,16:00 后降速又加快。楚红 G_s 值的变化则有所不同,6:00~8:00 G_s 值变化很小,而在 8:00~10:00 却急剧升高,10:00~14:00 迅速下降,16:00~18:00 变化很小。气孔的开闭与光强存在直线关系,上午 G_s 随光照强度增加而增加,10:00 时以后随着气温的增加, G_s 降低,下午 14:00 时随着温度的降低, G_s 有所回升,16:00 时后又随着光强的降低而减小。叶片气孔导度与叶片光合速率的最大值和最低值出现的时间相同,表明净光合速率的变化与气孔开张程度的变化呈平行变化趋势。

图 4 不同猕猴桃品种的气孔导度(G_s)日变化
(7 月 14 日,晴天)

Fig. 4 Diurnal variations of G_s in different kiwifruit cultivars
(14 July, Sunny day)

2.4 不同猕猴桃品种的胞间 CO_2 浓度(C_i)日变化

7 月 14 日不同猕猴桃品种的 C_i 日变化由图 5 可看出,美味猕猴桃品种(金魁、徐香、金香和海沃德)的 C_i 日变化趋势呈“W”型,而中华猕猴桃品种(红阳和楚红)的 C_i 日变化趋势呈“V”型。午间 P_n 降低时, G_s 下降,但美味猕猴桃的 C_i 增高,这表明 P_n 午间降低并不是由于气孔限制因素引起叶肉细胞间 CO_2 不足造成的,而主要是由非气孔限制因素引起的叶片光合能力降低造成的。由于其受到气孔导度和大气 CO_2 浓度的双重影响,呈现出早晚高而中午至下午低这一明显趋势,且早上的 CO_2 浓度值要大于晚上的 CO_2 浓度值,在白天的其它时间 CO_2 值虽然有时有小的波动,但是波动幅度并不大,总体来说较平稳。

2.5 不同猕猴桃品种的光响应曲线

7 月 14 日不同猕猴桃品种的光响应曲线如图 2。由图 6 可看出,净光合速率(P_n)对光合有效辐射(PAR)响应值从整体上看:楚红>金香>海沃德>金魁>红阳>徐香,对其进行曲线回归分析可知其饱和光强分别为 1 980、1 662、1 625、1 875、1 928、1 525 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表明 6 个猕猴桃品

种皆是喜光植物,其光补偿点分别为 28、32、64、97、89、102 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表明楚红猕猴桃的耐荫性最强,徐香最弱。另外,当 PAR 降至 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下时,楚红、金香的 P_n 随光强降低而迅速下降,而其它品种在所控光强范围内始终呈缓慢下降趋势。综合分析表明,楚红、红阳、金魁的光能利用范围较大,金香、海沃德次之,徐香的较窄。

图 5 不同猕猴桃品种的胞间 CO_2 浓度(C_i)日变化
(7 月 14 日,晴天)

Fig. 5 Diurnal variation of C_i in different kiwifruit cultivars
(14 July, Sunny day)

图 6 不同猕猴桃品种的光响应曲线
(7 月 14 日,晴天)

Fig. 6 Light response of photosynthesis in different
kiwifruit cultivars (14 July, Sunny day)

3 结论与讨论

本试验研究了不同猕猴桃品种的光合特性,结果显示不同品种净光合速率的日动态为双峰型曲线,均表现出不同程度的光午休现象;其蒸腾速率的日动态与净光合速率的日动态同步;叶片气孔导度日动态也呈双峰曲线;美味猕猴桃各品种的胞间 CO_2 浓度日变化趋势呈“W”型,中华猕猴桃各品种呈“V”型;不同猕猴桃品种的光响应曲线表明 6 个猕猴桃品种皆是喜光植物。综合分析表明,楚红、红阳、金魁的光能利用范围较大,金香、海沃德次之,徐香的光能利用范围最窄。其中楚红的光合速率最高,波动较大,耐荫性最强,耐高温性能差,午休现象明显;金魁光合速率最低,波动最小,没有明显的午休现象。

关于光合午休现象,可能是因为夏季中午的高

光合有效辐射、低空气湿度及高温环境的变化引起的气孔部分关闭而导致的。此外,“午休”现象是植物正常的生理反应还是对不利环境的响应也是一个值得探讨的问题。据报道^[8-9],光合速率对气孔导度具有反馈调节作用,在有利于叶肉细胞的光合时气孔导度增大,不利于光合时,气孔导度减小。将蒸腾速率曲线(图 3)与气孔导度曲线(图 4)作对照,可以看出蒸腾速率在很大程度上决定于气孔的活动状态,气孔导度与蒸腾速率也具有相似的变化规律。

光照强度、气温、空气湿度等都是影响植物光合速率的因素,由于光照强度和气温都依赖于自然条件的变化,不易控制,而空气湿度则可以通过技术措施加以改变,因此在生产上,尤其是在西北地区,在 6~8 月这样的高温干旱季节应加强对猕猴桃田间的水分管理,合理灌溉,增加土壤水分,冠层喷灌降温或加盖遮阳网等措施,提高空气的相对湿度,形成一个小气候环境,以提高叶片的光合水平,增加光合日同化量,从而减少或避免“午休”现象的出现。

需要进一步研究的是猕猴桃在不同水分状况和不同温度下的光合作用和气孔限制因子,开展不同节水灌溉方式对猕猴桃光合作用的影响,改进猕猴桃园的水分状况,以提高猕猴桃的品质和产量。

参考文献:

[1] WARRINGTON I J, WESTON G C. Kiwifruit science and management[M]. Auckland: Ray Richards publisher, 1990.

[2] 王虎, 王天泰, 翟永林, 等. 精致有机肥与化肥配施对猕猴桃生长和产量的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(3): 109-111. WANG H, WANG T T, ZHAI Y L, *et al.* Effect of fixed application of fine organic and chemical fertilizer on yield and growth in *Actinidia arguta* var. *giraldii* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(3): 109-111.

[3] 上官周平. 冬小麦对有限水分高效率利用的生理机制[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 567-569. SHANGGUAN Z P. Physiological mechanism of highly efficiency use of limited water supply by winter wheat [J]. CHINESE JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY, 1999, 10(5): 567-569.

[4] EAMUS D. The interaction of rising CO_2 and temperatures with water use efficiency[J]. Plant Cell and Environment, 1991(14): 843-852.

[5] BUWALDA J G, MEEKINGS J S, SMITH J S. Radiation photosynthesis in kiwifruit canopies[J]. Acta Horticulturae, 1992, 297: 307-313.

[6] 彭永宏, 章文才. 猕猴桃的光合作用[J]. 园艺学报, 1994, 21(2): 151-157. PENG Y H, ZHANG W C. Studies on the photosynthesis in kiwifruit leaves[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1994, 21(2): 151-157.

ZHAO X H, WANG H, SU J, *et al.* Seedling-raising technology with cuttage of wine grape cultivar "Granoir" from Switzerland in greenhouse nutrition pot[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(3): 71-74.

[2] 宋士任, 王华. 葡萄多酚含量和多酚氧化酶(PPO)活性与组培苗生根关系的初步研究[J]. 农业生物技术科学, 2005, 21(9): 70-73.

SONG S R, WANG H. The effect of polyphenol content and polyphenol oxidase activity on rooting of tissue cultured seedlings in *Vitis* L. [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(9): 70-73.

[3] 刘彤, 赵新俊, 任丽彤, 等. 新疆香梨试管苗最佳生根培养基的研究[J]. 果树学报, 2004, 21(2): 124-127.

LIU T, ZHAO X J, REN L T, *et al.* Research of optimum rooting medium for micropropagated pear plantlets[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(2): 124-127.

[4] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2001: 6.

[5] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.

[6] 梁晶晶, 王向阳. 气调和 I-MCP 对青菜保鲜贮藏的影响[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(9): 126-129.

LIANG J J, WANG X Y. Effect of modified atmosphere and 1-MCP on keeping pak choy fresh during storage[J]. Food Research and Development, 2006, 27(9): 126-129.

[7] WELLBURN A R. The spectral determination of chlorophyll a and b as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution[J]. Plant Physiol, 1994(144): 307-313.

[8] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 72-75, 161-162.

[9] 李秉真. 苹果梨叶片中 IAA 氧化酶的测定[J]. 光谱学与光谱分析, 2001, 21(6): 837-839.

LI B Z. The Measurement of IAA oxidase in "Ping Guo Li" leaves[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2001, 21(6): 837-839.

[10] 孙冬青, 王飞, 李新风. 组培微环境对葡萄风信子组培苗生长及移栽后生理特性的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 244-248, 262.

SUN D Q, WANG F, LI X F. Effects of in vitro microenvironment on the growth and physiological characteristics of hyacinth plantlets[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2008, 17(4): 244-248, 262.

[11] 杨艳琼, 王荔, 陈疏影, 等. 不同光照强度对灯盏花无糖组培苗生长发育的影响[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(3): 323-325.

YANG Y Q, WANG L, CHEN S Y, *et al.* Effect of different light intensity on development of plantlet in sugar-free tissue culture of *Erigeron breviscapus* [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2007, 22(3): 323-325.

[12] 曹义义, 刘国民. 实用植物组织培养教程[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2002: 57-60.

[13] 仲芳, 路承香, 高彦明, 等. 峨眉山鹅掌楸组培过程中几种酶活性的变化[J]. 经济林研究, 2009, 27(3): 86-89.

ZHONG F, LU C X, GAO Y M, *et al.* Variation of several enzymes activity during tissue culture of *Liriodendron chinense* in Emei Mountain [J]. Nonwood Forest Research, 2009, 27(3): 86-89.

[14] 吴荣哲, 吴松权. 金线莲驯化过程中光照强度(PPFD)对生长及光合速率的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(35): 15505-15506, 15515.

WU R Z, WU S Q. Effect of the light intensity on the aneochilus growth in the process of its domestication[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2008, 36(35): 15505-15506, 1551.

[15] FOYER C H. Feedback inhibition of photosynthesis through source-sink regulation in leaves[J]. Plant Physiol. Biochem, 1988(26): 483-492.

[16] 段咏新, 李松泉, 傅家瑞. 钙对延缓杂交水稻叶片衰老的作用机理[J]. 杂交水稻, 1997, 12(6): 23-25.

DUAN Y X, LI S Q, FU J R. Effects of calcium on delaying senescence of leaves in hybrid rice[J]. Hybrid Rice, 1997, 12(6): 23-25.

[17] VAN Huylenbroeck J M, DEBERGH P C. Impact of sugar concentration in vitro on photosynthesis and carbon metabolism during ex vitro acclimatization of *Spathiphyllum* plantlets[J]. Physiologia Plantarum, 1996(96): 298-304.

(上接第 42 页)

[7] 刘旭峰, 樊秀芳. 猕猴桃幼树光合特性的研究[J]. 园艺学报, 1993, 20(4): 329-333.

LIU X F, FAN X F. A study of photosynthetic characteristics of young actinidia deliciosa [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1993, 20(4): 329-333.

[8] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化[J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 5-10.

XU D Q. The physiological, biochemical and ecology of the phenomenon in photosynthetic “midday depression” [J]. Plant Physiology Communications, 1990, 26(6): 5-10.

[9] 许大全, 沈允钢. 光合作用的限制因素: 植物生理与分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 262-276.