

GREENSPAN 茎流法测定茄子植株蒸腾的有效性分析*

Accuracy and Validation of Eggplant Transpiration Measured by GREENSPAN Method

刘贤赵, 刘德林, 王 栋

Liu Xianzhao, Liu Delin, Wang Dong

(烟台师范大学地理与资源管理学院, 山东烟台 264025)

(Coll. of Geography and Resource Management, Yantai Normal Univ., Yantai, Shandong, 264025, China)

摘要: 用快速称重法、Penman-Monteith微气象法(简称P-M法)与GREENSPAN茎流法在晴天或阴天同步测定盆栽茄子植株的蒸腾速率,验证GREENSPAN茎流法在测量作物蒸腾方面的精度及有效性。结果表明, GREENSPAN茎流法具有与称重法、P-M法相似的测试效果,可以较灵敏地反映不同天气状况下作物蒸腾量的变化规律。与称重法、P-M法相比, GREENSPAN茎流法测值相对误差分别为1.07%~12.78%和0.3%~19.1%,绝对误差分别为每株0.13~1.56g/h和0.08~2.20g/h。GREENSPAN茎流法与称重法、P-M法的测值均呈极显著直线相关,相关关系式分别为 $SP = 0.9778QW$ 和 $SP = 0.9896PW$, R^2 系数分别为0.9476和0.9391。GREENSPAN茎流法在定量研究作物蒸腾方面具有较高的精度和适用性, GREENSPAN茎流法为大田作物蒸腾测定提供了一个新方法。

关键词: GREENSPAN茎流法 茄子 蒸腾速率 精度 有效性

中图分类号: S311 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2005)01-0068-05

Abstract The accuracy and the validation of crop transpiration measured with sap flow by GREENSPAN technique were evaluated through pot experiment and theory calculation. The results showed that GREENSPAN method has the same result as the weighing and P-M. It could measure effectively the transpiration rate of eggplant plant and reflect sensitively the change regular of crop transpiration under the conditions of different weather status as the weighing method and Penman-Monteith method. The relative errors of measured values by GREENSPAN technique were 1.07%~12.78% and 0.3%~19.1% respectively compared with values through weighing and Penman-Monteith methods, and the absolute errors were 0.13~1.56 g \cdot plant $^{-1}\cdot$ h $^{-1}$ and 0.08~2.20g \cdot plant $^{-1}\cdot$ h $^{-1}$ respectively. The GREENSPAN transpiration values were significantly linear correlation with values by weighing method and Penman-Monteith method, and the correlation coefficient was more than 0.9. In conclusion, the GREENSPAN method could be considered as a valuable method because of its higher accuracy and applicability in measuring transpiration of certain crop plants. This method would be improved to measure crop transpiration in the field.

Key words GREENSPAN method, eggplant, transpiration rate, accuracy, validation

作物蒸腾量的测定一直被认为是农业水资源管理领域的一项基础性工作,同时也是目前学术上急待解决的一个难点问题。特别是在节水灌溉作物田间用

水管理的研究中,许多情况下要求将作物总蒸散量分解为蒸腾和蒸发两部分,因此往往需要准确地测定作物的蒸腾量。然而,作物的蒸腾作用是一个复杂的生理过程,蒸腾作用既受作物本身形态结构和生理状况的影响,又受外界环境、时间和空间等各种因素的控制,因此,准确地测定作物蒸腾耗水量成为农业节水定量研究的急需技术。现有的许多方法如水量平

收稿日期: 2004-09-13

修回日期: 2004-10-10

作者简介: 刘贤赵(1970-),男,博士,主要从事水土资源利用与生态水文研究。

* 山东省教委项目、省自然科学基金资助项目。

衡法、称重式蒸渗仪法、波文比能量平衡法、涡度相关法以及目前较为先进的遥感法等只能测定作物腾发总量,无法将其分解为蒸腾与蒸发两部分。另外,这些方法的技术原理各不相同,实际操作起来十分麻烦,测值大小各异,数据的使用价值与测定经费差别也很大,在使用上存在明显的不足,要么是测定结果受人为干扰太大,要么就是太费时费力,无法在实际研究工作中采用。

近年来,用于测定树干液流的热脉冲技术得到迅速发展,并广泛用于树冠蒸腾耗水量的研究^[1-4],但用于作物蒸腾量的研究报道很少。2002年我们从澳大利亚引进一种可以实时测定植物蒸腾速率并反映其变化规律的仪器——GREENSPAN茎流计。该技术应用于单株植物整体蒸腾量的观测,基本不破坏植株在自然环境条件下的正常生长状态,可以连续测定植株液流量,具有易于野外操作及远程下载数据的优点。单位面积的蒸腾总量由单株蒸腾乘以种植密度求得,可以避免由单个叶片换算田间总蒸腾时涉及到的叶面积指数以及冠层上下叶位差异等不确定因素。为了鉴别这种方法的准确性与实用性,本文选择3种蒸腾测定方法进行对比,作为田间选择应用的技术基础,以期在这方面研究工作的广泛开展提供技术保障。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与作物种植

试验于2003年4~8月在简易日光玻璃温室中进行。选用茄子“济丰3号”品种为材料,种植在直径18cm高20cm的塑料盆中。使用校园外长期耕作的中壤质土(表1)加1/3容积腐熟的厩肥过筛、装盆,每盆种植1株,用0.1mm的地膜严密覆盖土面,防止土层蒸发。植株茎流观测期间,土壤充足供水,土壤含水量控制在田间持水量的85%以上。

表1 供试土壤理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of the selected soil

| 土壤化学性质 Soil chemical properties | | | | 土壤物理性质 Soil physical properties | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 有机质 Organic matter (mg/kg) | 速效P Rapidly available (mg/kg) | 碱解N Alkali-hydrolyzable N (mg/kg) | 全N Total N (mg/kg) | 容重 Bulk density (g/cm ³) | 凋萎湿度 Wilting moisture (%) | 田间持水率 Field capacity (%) | 粘粒含量 Cosmid content (%) |
| 14.23 | 11.42 | 24.47 | 1.09 | 1.34 | 9.81 | 28.54 | 36.51 |

1.2 试验方法

试验采用快速称重法、Penman-Monteith微气象法(简称P-M法)与GREENSPAN茎流法在晴天或阴天进行同步比较研究。

1.2.1 快速称重法

使用称量15kg感量1g的电子台秤称重,电子秤称出重量的改变即为作物的蒸腾量。称重时间为每天6:00到20:00,每隔30min称重1次,6次重复取平均值。该方法简便易行,计量精确,在对比研究中作为同步比较的基准。

1.2.2 P-M法

采用Menaughton和Jarvis修正的Penman-Monteith公式^[5],根据实测资料计算蒸腾量,从侧面验证GREENSPAN茎流计实测结果的准确性与实用性。Menaughton和Jarvis修正的Penman-Monteith公式为:

$$E = \frac{1}{\lambda} \left[K \frac{\Delta R_{np}}{(\Delta + V)} + (1 - K) \frac{dC_p D}{V r_c} \right],$$

式中, E 为作物蒸腾量($W^{\circ} m^{-2}$),其单位可根据蒸发1000g水等价于 $683.3W^{\circ} m^{-2}$ 这一关系转化为 $g^{[6]}$; R_{np} 为冠层所得到的净辐射($W^{\circ} m^{-2}$),其值由 $R_{np} = R_n(1 - e^{-kLAI})$ 确定(R_n 为冠层上方的净辐射, k 为冠层消光系数,取0.41, LAI 为叶面积指数); λ 为汽化潜热; Δ 为饱和水汽压与温度关系曲线上的斜率; d 为空气密度; V 为干湿表常数; D 为空气饱和差,计算式为 $D = 0.628(273 + T) \ln(RH)$ (0.628为气体常数, T 为气温, RH 为相对湿度); C_p 为干空气的定压比热; r_c 为作物对水汽传输的冠层阻力,由实测单叶气孔阻力计算; K 为一耦合系数,表达式为:

$$K = \left[1 + \frac{V}{\Delta + V} \cdot \frac{r_c}{r_a} \right]^{-1},$$

其中, r_a 为边界层动力学阻力,与叶片的特征长度、风速有关,可采用Maria提出的公式 $r_a = 220 \frac{d^{0.2}}{v^{0.8}}$ 进行计算(d 为叶片特征长度,茄子叶片为0.21m, v 为冠层顶端的风速)^[7]。

1.2.3 GREENSPAN茎流法及其基本原理

该方法由Huber先生1932年首次提出,Edwards等将Huber的热脉冲补偿系统、Marshall的流速流量转换分析及Swanson的损伤分析综合起来,形成系统的理论技术^[8],Olbrich将其进一步完善^[9],并开始在植物水分问题研究中使用。其基本原理如下:作物在蒸腾过程中,根系从土壤中吸收的水分通过茎秆源源不断地输送至叶片,最终通过叶气孔散发到大气中去。在这一过程中,茎秆中的液体一直处于流动之中。当茎内水流在某一点被加热(即注入脉冲热)后,所携带的能量一部分由正常向上运动的水流向上传输,一部分则与上部及下部的水流发生热交换,另一部分则以辐射的形式向周围发散。使用时在茎秆的某一处插入一个热探针(热源),同时在热源的上下方固定距离安装感应探头(图1),测定热脉冲

随蒸腾流从热源传输到感应探头所需的时间 根据加入茎流中的热脉冲向上传输的速率以及与周边水流的热交换程度,用热传输与热平衡理论通过一定的数学计算求得茎杆的水流量(植株的蒸腾速率),再通过积分成为断面流量(或茎流体积)

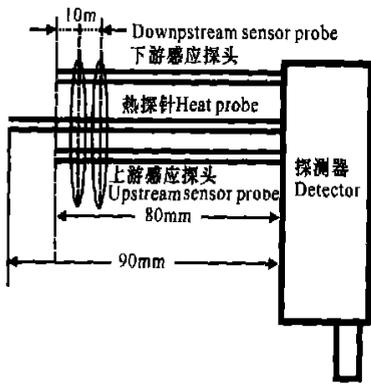


图 1 GREENSPAN 茎流探测器

Fig. 1 Detector of GREENSPAN sap flow

1.3 数据采集与处理

测定时段为 2003年 7月 2日至 11日,3种方法均布设在同一标准植株上(选长势一致、生长旺盛的植株 2株)。GREENSPAN 茎流探测器被固定在茄子茎杆基部距土面第一个节点处,每株安装 2个探测器(1株在东西方位安装 2个探测器,另一株在南北方位安装 2个探测器) 植株伤口处用纸质防水胶带围贴,并用围尺测量茄子基部茎粗,测定期间,茄子茎粗为 2.99~ 3.45cm 数据采集间隔为 30min,3~ 5d后更换被测植株。用锉子锉取热脉冲引起的植株木质损伤部分,测定伤口大小 利用 GREENSPAN 分割茎流数据软件 SAPPRO 和茎流数据分析软件 SAPCAL对测定数据进行自动处理,得到取样时间、茎干液流速度(g/h) 平均茎液移动速度(cm/h),4种深度(4探头)的液流速度(cm/h)和累积茎干液流量(g)等系列数据,用于 3种蒸腾测量方法的比较。同时,用澳大利亚产的 Monitor移动式自动气象站与茎流同步测定太阳辐射、气温、相对湿度等气象因子。用三杯风速仪测定茄子冠层顶端风速,采用冠层分析仪 ACCUPAR测量叶面积指数,使用 Li-6400型光合测定仪每天从 6:00到 20:00每隔 0.5h 分别测量 1次上中下 3个不同高度上的叶片气孔阻力,乘以冠层叶面积得到冠层阻力。测定期间主要气象因子如图 2所示。

2 结果与分析

2.1 精度分析

由图 3可以看出, GREENSPAN 茎流法对不同

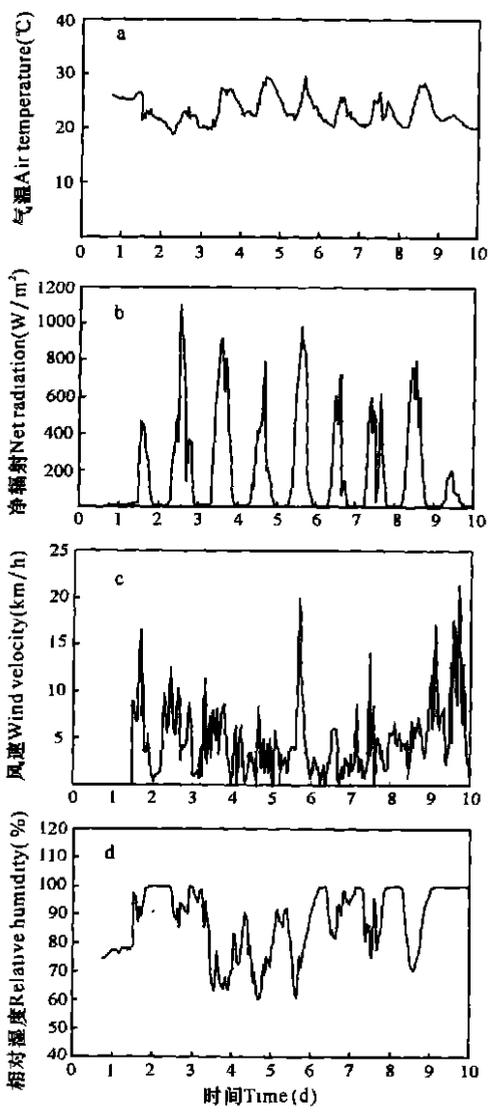


图 2 观测期间(2003年 7月 2日~ 7月 11日)主要气象因子

Fig. 2 The main meteorological conditions during the measured periods

a.气温 Air temperature; b.冠层上方净辐射 Net radiation above canopy; c.冠层顶端风速 Wind speed on canopy top; d.相对湿度 Relative humidity.

的天气状况都能较灵敏地反映出其蒸腾量的变化,7月 3~ 4日、7月 5日与 7月 11日用 GREENSPAN 茎流法实测得到的蒸腾量与称重法、P-M法所得到的蒸腾量的走向与数值基本一致。一般条件下绝对误差不大于每株 2.5g/h,但在蒸腾速率低于每株 3g/h时, GREENSPAN 茎流法测定值与称重法、P-M法相比,则存在较大的相对误差。以 7月 3日为例,7:00~ 20:00 GREENSPAN 茎流法测的耗水值为 200.61克/株,而同期称重法和 P-M法测值分别为 204.94克/株和 215.21克/株,前者与后两者相差 4.33克/株和 14.6克/株,误差仅为 2.1%和 7.28%。比较不同时间 3种方法的测值看出(表 2),三者数值变化相

似。以称重法测值为基准,相对误差为 1.07%~12.78%,绝对误差为每株 0.13~1.56g/h;以 P-M 法测值为基准,相对误差为 0.5%~19.1%,绝对误差为每株 0.08~2.20g/h 表明使用 GREENSPAN 茎流法得到的蒸腾值与称重法、P-M 法得到的蒸腾值相差很小,计算精度是可靠的。

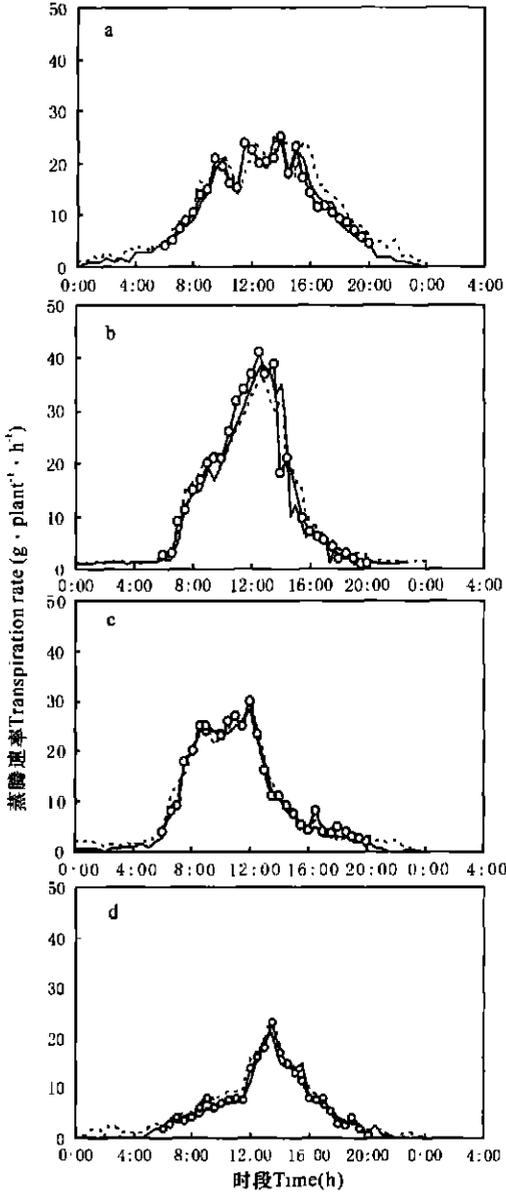


图 3 3种方法测定的蒸腾值比较

Fig. 3 Comparison of transpiration values measured by the three methods

a. 2003-07-03(晴间多云 Fine among cloudy); b. 2003-0704(晴天 Sunshine); c. 2003-07-05(晴间多云 Fine among cloudy); d. 2003-07-06阴天 Cloudy sky
— GREENSPAN 茎流法 GREENSPAN sapflow; —○—快速称重法 Quick weight method; — P-M 法 P-M method

2.2 统计分析

分别以称重法和 P-M 法为基础对 GREENSPAN 茎流法的测值做回归分析及相关分析

的结果见图 4 和图 5 图 4 和图 5 显示, GREENSPAN 茎流法的测值与称重法、P-M 法的测值一致,数据点集中分布在 1:1 线附近,而且离散程度较小 GREENSPAN 茎流法与称重法、P-M 法的测值均呈极显著直线相关,它们的关系式分别为 $SP = 0.9778QW$ (SP 为 GREENSPAN 茎流法测值, QW 为称重法测值) 和 $SP = 0.9896PM$ (SP 为 GREENSPAN 茎流法测值, PM 为 P-M 法测值), R^2 系数分别为 0.9476 和 0.9391 表明 GREENSPAN 茎流法在定量研究作物蒸腾方面具有一定的实用性,在理论上和实践上都是可行的 GREENSPAN 茎流法为大田作物蒸腾量的测定提供了一种新的方法

表 2 2003 年 7 月 3 日 GREENSPAN 茎流法与称重法、Penman-Monteith 微气象法蒸腾测值比较

Table 2 Comparison of transpiration values measured by GREENSPAN technique weighing and Penman-Monteith method

| 时间 Time | 测值 Measured value (g · plant ⁻¹ · h ⁻¹) | | |
|------------|--|--------------------------|---------------------------------------|
| | GREENSPAN 茎流法测值 GREENSPAN stem flow values | 称重法测值 Weighing values | P-M 法测值 P-M method measured values |
| 7:00 | 7.54 | 7.21 | 8.72 |
| 8:00 | 9.32 | 10.51 | 11.52 |
| 9:00 | 14.35 | 14.96 | 15.63 |
| 10:00 | 20.97 | 19.44 | 21.45 |
| 11:00 | 14.11 | 15.24 | 16.40 |
| 12:00 | 22.69 | 22.45 | 22.50 |
| 13:00 | 19.01 | 20.36 | 19.78 |
| 14:00 | 23.67 | 25.01 | 23.36 |
| 15:00 | 22.03 | 23.12 | 24.14 |
| 16:00 | 15.93 | 14.37 | 16.01 |
| 17:00 | 12.34 | 11.56 | 13.64 |
| 18:00 | 8.12 | 9.31 | 9.77 |
| 19:00 | 6.15 | 6.89 | 7.50 |
| 20:00 | 4.38 | 4.51 | 4.79 |

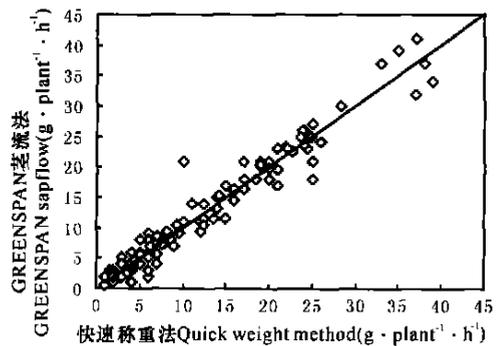


图 4 GREENSPAN 茎流法与称重法测值比较

Fig. 4 Comparison of values measured by GREENSPAN and weighing method

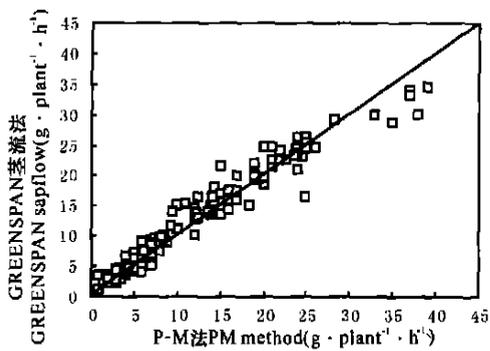


图 5 GREENSPAN 茎流法与 P-M 法测值比较

Fig. 5 Comparison of values measured by GREENSPAN and P-M method

3 结论

根据以上的测试和分析认为,在作物蒸腾的测定中, GREENSPAN 茎流法具有与称重法、P-M 法相似的测试效果,可以较灵敏地反映不同天气状况下作物蒸腾量的变化规律。在不需标定的条件下, GREENSPAN 茎流法与称重法、P-M 法相比,相对误差分别为 1.07%~12.78% 和 0.5%~19.1%,绝对误差分别为每株 0.13~1.56g/h 和 0.08~2.20g/h; 统计分析得出, GREENSPAN 茎流法与称重法、P-M 法的测值均呈极显著直线相关, R^2 系数都在 0.9 以上。这些结果表明, GREENSPAN 茎流法在定量研究作物蒸腾方面具有较高的精度和适用性。因此,在应用于大田作物蒸腾量的研究过程中,只要各种操作到位,运用得当,就可以取得较为准确的结果。需要指出的是由于作物各部位流速不同,加上有不同时间的变异,如何将不同部位的不同流速转换成茎干整体的

液流量是有待于进一步研究的关键问题

参考文献:

- [1] 刘奉觉,郑世锴,巨关升.用热脉冲速度仪 (HPV R)测定树干液流 [J].植物生理学通讯,1993,2:110-115.
- [2] 李海涛,陈灵芝.应用热脉冲技术对棘皮桦和五角枫树干液流的研究 [J].北京林业大学学报,1998,1:1-6.
- [3] 高岩,张汝民,刘静.应用热脉冲技术对小美杨树干液流的研究 [J].西北植物学报,2001,4:644-649.
- [4] 张宁南,徐大平, Morris J. 雷州半岛尾叶桉人工林树液茎流特征的研究 [J].林业科学研究,2003,6:661-667.
- [5] Mcnaughton K G, Jarvis P G. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation [M]. In Kozlowski T T (ed). Water Deficits and Plant Growth Academic Press, 1983. 1-47.
- [6] Bethenod O, Katerji N, Goujet R. et al. Determination and validation of corn transpiration by sap flow measurement under field conditions [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2000, 67: 153-160.
- [7] Maria B. Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1994, 71: 83-97.
- [8] Edwards W R N, Warwick N W M. Transpiration from a kiwi fruit vine as estimated by the heat pulse technique and the Penman-Monteith equation [J]. N Z J Agric Res, 1984, 27: 537-543.
- [9] Olbrich B W. The verification of the heat pulse velocity technique for estimating sap flow in Eucalyptus grandis [J]. Can J For, 1991, 21: 836-841.

(责任编辑: 邓大玉)

艾滋病病毒通过变形逃避人体防御

美国科学家研究发现艾滋病病毒 (HIV) 是通过变形来逃避人体免疫系统的防御的, 该发现有望帮助科学家提前开发出治疗艾滋病的新药和疫苗。

HIV 在进入健康细胞之前都要通过变形来蒙骗机体的防御系统。在一张三维影像上, 科学家可以清楚地看到, HIV 的包膜蛋白 gp120 试图与 CD4T 淋巴细胞表面的 CD4 受体结合前后的变形状况。

研究小组的负责人 Stephen Harrison 认为, 如果能了解包膜蛋白 gp120 的变形机理, 利用抑制剂阻碍其变形, 就可以预防 HIV 的感染进程, 这是一种对抗艾滋病的新思路、新方法。美国国立卫生研究院 (NIH) 的 Peter Kwong 在评价这项发现时表示: “这简直堪称是一次技术风暴”。近 20 年来, 科学家一直在包膜蛋白 gp120 与 CD4 受体结合前如何破解其结构这条单一思路上徘徊不前。

Harrison 表示, 这个发现至少让我们知道了为什么制造一支有效的艾滋病疫苗是这么的困难, 并启发我们改变一些传统的研究思路, 甚至走出一条开发艾滋病疫苗的捷径。

目前, 科学家已经完成了对艾滋病病毒入侵细胞后的蛋白质的解码工作。而 Harrison 的新成果也已经发表在近日出版的英国《自然》杂志上, 在文章中, 研究人员介绍了艾滋病病毒分子是如何在入侵细胞前改变分子排列的。

(据《科学时报》)