

# 台湾水保特殊地优势植物需水量预测

张俊斌<sup>1</sup>, 蔡尚惠<sup>2</sup>, 吴志峰<sup>3\*</sup>

(1. 台湾中州科技大学, 台湾 彰化 510; 2. 台湾环球技术学院, 台湾 云林 640; 3. 广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650)

**摘要:** 利用大气环流模式(GCM), 模拟在气候变迁的情况下, 研究台湾西南部泥岩优势植物需水量的改变以及变化趋势。结果表明, 气候变迁后荊竹(*Bambusa stenostachya*)、大叶桃花心木(*Swietenia macrophylla*)及铁刀木(*Cassia siamea*)的需水量明显增加, 且荊竹的年需水量大于另两种植物。对土壤水资源缺乏的干旱泥岩地区而言, 荊竹林地对该区的植物需水量将造成更大的影响, 也突显荊竹林地更新的重要性。

**关键词:** 气候变迁; 需水量; 大气环流模式; 模拟

中图分类号: S79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2008)05-0419-06

## The Prediction on Water Consumption of Dominant Plants in Special Soil and Water Conservation Area in Taiwan

CHANG Chun-pin<sup>1</sup>, TSAIN Shang-te<sup>2</sup>, WU Zhi-feng<sup>3\*</sup>

(1. Chung-Chou University of Technology, Zhonghua 510, Taiwan, China; 2. Transworld University of Technology, Yunlin 640, Taiwan, China;

3. Guangdong Institute of Eco-environmental and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** The impacts of climate change on water consumption of dominant plants were evaluated in the mudstone area in southwestern Taiwan by using General Circulation Model. The results showed that the water consumption of the three dominant plants, eg. *Bambusa stenostachya*, *Swietenia macrophylla* and *Cassia siamea*, in the mudstone area increased significantly under simulated climate change. The Thorny bamboo (*B. stenostachya*) consumed more water than Honduras mahogany (*S. macrophylla*) and Siamese senna (*C. siamea*). Obviously, Thorny bamboo has important impact for soil water resources in the mudstone area during drought period.

**Key words:** Climate change; Water consumption; General Circulation Model; Simulation.

台湾西南部泥岩分布范围广, 目前出露地区大多集中于台南至高雄, 西起台南县柳营、六甲、官田、新化、关庙以至高雄冈山、燕巢, 东缘则自台南县楠西、玉井、南化、内门以至高雄旗山, 面积超过1 000 km<sup>2</sup>。近几年来泥岩裸露面积更迅速增加达3倍之多<sup>[1]</sup>, 导致表土大量流失、崩塌频发等灾害, 更造成主要河川含砂量激增、植被退化、环境污染及土地劣化, 带来农业生产损失与微气候变异等问题。优势植物需水量对泥岩地区之土壤水分资源影响深远。泥岩地区的主要优势植物是荊竹(*Bambusa stenostachya*), 它大量吸收林内的水分、

养分资源, 且具有排他性, 使其它植物不易进入, 导致荊竹林下形成空旷地, 缺少地表植被覆盖, 不仅造成植物多样性下降, 亦严重影响区域内动物群落生态<sup>[1-2]</sup>。有关西南部泥岩地区优势植物荊竹的研究已有一些报道<sup>[1,3]</sup>, 但多是对其生理、物理及经营利用等特性的研究, 而气候及环境对它的影响研究较少。影响植物需水量的因子包括气候、土壤、植物种类及不同生长阶段等, 所以, 评估不同植物的需水量及其对区域生态的影响, 土壤水分缺乏的台湾西南部泥岩地区, 可提供造林或植被恢复选用植物的筛选依据。气候变迁主要可以分为自然变迁

和人为变迁两部分,本研究主要探讨人为影响下的气候变迁。人为影响气候变迁的因素有很多,例如增加温室气体、改变土地利用方式、大量砍伐森林、增加悬浮粒子、直接排放热能、大规模核战等。气候变迁会影响温度、降雨、辐射等因子,进而冲击河川流量、土壤水资源等<sup>[4-6]</sup>,因此,对区域环境也将产生直接的影响。

在台湾有关气候变迁对农业及区域大面积优势植物用水量的影响研究较少,大都偏重于农作物,气候变迁将会影响温度、雨量及日射量等重要气象因子,因此其对植物需水量的改变,将对水资源的运用及生态环境产生相当大的影响。本文的研究目的是评估在气候变迁时,荊竹、铁刀木及大叶桃花心木需水量以及用水结构的改变。

## 2 研究方法

本研究选用 Hamon 公式<sup>[7]</sup>来计算潜能蒸发散量: $PET_t = \frac{0.021 \times H_m^2 \times e_s}{273 + T_t}$

式中  $PET$  为蒸发散量,  $H_m$  为日照时数,以每月白天日照占全年白天的比来计算。  $T_t$  为日平均温度( $^{\circ}\text{C}$ ),而  $e_s$  为饱和蒸汽压(mb),以高夫-哥拉契公式(Goff-Gratch formula)温度来估算。而植物需水量( $ET$ )以潜能蒸发散量( $PET$ )及蒸发散系数( $Kc$ )来估算,即  $ET = Kc \times PET$ 。

植物蒸发散系数(作物系数)会因种类和生长期的差异而有所不同,可用植物一定时间内蒸发散的水量与同一时间内植物干重增长量之比值来表示,或以植物进行二氧化碳固定率所消耗的单位水分(水分利用效率之倒数)表示<sup>[8]</sup>。因此,参考前人<sup>[9]</sup>的研究结果,在红泉坑试验区(位于  $120.4^{\circ}\text{E}$ ,  $23.2^{\circ}\text{N}$ ),当地风速较低( $0 \sim 5 \text{ m s}^{-1}$ ),湿度为  $40\% \sim 70\%$ ,  $\text{CO}_2$  浓度约为  $370 \text{ mol mol}^{-1}$  及日射量为  $500 \sim 800 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,利用便携式美国 LI-10R 公司产的 LI-6200 光合成蒸散测定仪测量试验地附近 10 a 生荊竹 (*Bambusa stenostachya*)、铁刀木 (*Cassia siamea*)、大叶桃花心木 (*Swietenia macrophylla*) 的用水效率,各种植物各测 9 棵,并与在美国制 PAC9900 同化箱内 1 a 生盆栽供试木(3 次重复)的测定结果相比较。得出荊竹、铁刀木、大叶桃花心木在生长期(3 月~8 月)的  $Kc$  平均值分别为  $1.03 \pm 0.23$ 、 $0.46 \pm 0.10$  及  $0.69 \pm 0.12$ ,成熟期(9 月~2 月)分别为  $0.89 \pm 0.16$ 、 $0.37 \pm 0.09$  及  $0.6 \pm 0.10$ 。

## 3 预测模式说明

目前对气候变迁主要从 3 个方面考虑:(1)对历史气候数据的分析;(2)假设可能的变化范围;(3)物理模式预测。目前最成熟的物理模式为全球气候变迁之大气环流模式(General Circulation Model, GCM)<sup>[9-10]</sup>。而目前预测重要气象因子改变量的大气环流模式还包括加拿大的 CCCM (Canadian Center for Climate Model)、美国的 GFDL(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)与 GISS(Goddard Institute for Space Studies)与英国的 UKMO(United Kingdom Meteorological Office)等模式<sup>[11]</sup>,这些模式在大气气象模拟上都有一定的可信度。由于 GCM 模式本身有精度上的限制,各模式对气候模拟的优劣性各有不同,且单一 GCM 模式并不能获得完全正确的结果,因此,本研究将以 GCM 模式的预测值为主,模拟温度、太阳辐射量及降雨量的变化,还将使用 CCCM、GFDL、GISS 及 UKMO 等模式模拟大气二氧化碳倍增( $560 \text{ mol mol}^{-1}$ ),以探讨气候变化对泥岩地区水资源的影响,并对西南部泥岩地区大面积荊竹林地各植物需水量的变化进行比较分析,为泥岩地区进行物种筛选提供依据。因此,本研究假设在气候变迁条件下,各月原有降水日数与条件降雨机率不改变原则下,用 GCM 模式分别在二氧化碳浓度为  $560 \text{ mol mol}^{-1}$  和  $280 \text{ mol mol}^{-1}$  时,模拟出各月平均温度、太阳辐射量与降水量的比值。

### 3.1 气候模式所需之参数

气候模式的参数在温度方面包括各月平均温度  $\mu_T(I)$ 、各月份温度准偏差  $\sigma_T$  与各月份一系列相关系数  $\rho_T$ , 常态分布随机数  $t_i$ ;降雨部份包括各月降雨机率与当月中第 I 日降雨时,第 I+1 日降雨机率,表示为 PWW,各月份第 I 日不降雨时,第 I+1 日降雨机率,表示为 PWD,各月降水日平均降水量  $\mu_P(I)$ 。

### 3.2 气候模式输出值之修正与预拟情境

采用美国 NCAR 提供的主要全球变迁模式预测值,包括 CCCM、GFDL、GISS 与 UKMO 4 个模式。考虑气候变迁下,各月平均温度( $T_{mi}$ )修正为原各月平均温度加上 GCM 模拟  $2 \times \text{CO}_2$  ( $T_{M2}$ )与  $1 \times \text{CO}_2$  ( $T_{M1}$ )的温度差值<sup>[10]</sup>。各月平均降水量( $P_{mi}$ )修正为原各月平均降水量乘以 GCM 模拟的  $2 \times \text{CO}_2$  ( $P_{m2}$ )与  $1 \times \text{CO}_2$  ( $P_{m1}$ )的降水量比值,方程式

为  $T_{mi} = T_{mi} + (T_{m2} - T_{m1})$  与  $P_{mi} = P_{mi} \times (P_{m2} / P_{m1})$ 。再由各月平均气候特性代入气候模拟模式,模拟12组44 a (1961~2005年)气候资料。而在温度修正方面考虑差值而降水量修正考虑比值,主要基于温度乃大范围气体之特性,温度改变也较一致;就降水量而言,区域性的差异较大,当同一气团进入时不同地区将会产生不同的降水,以差值修正不适宜,宜采用比例修正<sup>[10]</sup>。

## 4 结果和讨论

随着气候的变迁,大气温度在升高,导致植物每月的需水量发生变化。利用4种大气环流模式CCCM、GISS、GFDL及UKMO模拟二氧化碳浓度升高时的温度与降水量的变化,进而推测潜能蒸发散量(PET)与蒸发散系数(Kc)之乘积,预估泥岩地区优势植物荊竹、铁刀木及大叶桃花心木的需水量,并与2005年在台南县红泉坑试验地收集的气象资料推测得到的蒸发散(ET)进行比较,各植物需水量的模拟结果见表1~3。

温度的改变对植物蒸发散有极大的影响,且气候变迁对温度的影响较为显著,在台湾西南部泥岩地区,当CO<sub>2</sub>浓度为280 mol mol<sup>-1</sup>时,用不同模式模拟出的荊竹各月的需水量大致成抛物线形。4

种模式的需水量变化趋势基本相同,但以GFDL模式模拟的需水量最低,且最高点皆发生在7月左右,而以CCCM模式模拟的需水量最高(0.48 cm d<sup>-1</sup>)。而模拟CO<sub>2</sub>浓度为560 mol mol<sup>-1</sup>时,4种模式模拟出的各月需水量也成抛物线形,其中以GISS模式模拟的6月需水量(0.55 cm d<sup>-1</sup>)最多。可见,在气候变迁下,温度上升使植物在生长初期及中期的用水量皆呈上升之趋势,而在末期呈现迅速递减趋势,但年总需水量仍呈现增加,以UKMO模拟的年需水量最大(129.25 cm a<sup>-1</sup>),而以GFDL模式模拟的需水量较低。

用CCCM模式模拟的荊竹、铁刀木及大叶桃花心木需水量如图1所示,可见,需水量以荊竹最高、大叶桃花心木次之、铁刀木最低。其中荊竹年需水量最大,为126.1 cm(GISS,表1),是铁刀木、大叶桃花心木的2.3倍和1.5倍。这说明荊竹比其它造林植物对土壤水资源的掠夺明显。在雨季时(5~9月),荊竹的耗水率大约增加11%~21%左右,而旱季(11~3月)耗水率大约增加15%~27%,其中以GFDL模式(27%)最高(图2)。这显示在旱季缺水时,荊竹平均耗水率比雨季高,对土壤水匮乏的泥岩地区水资源消耗更多。

表1 荊竹需水量(cm d<sup>-1</sup>)的模拟结果

Table 1 Simulated water consumption (cm d<sup>-1</sup>) for *Bambusa stenostachyæ*

月份 Month	280 mol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>				560 mol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>				ET (2005)
	CCCM	GFDL	GISS	UKMO	CCCM	GFDL	GISS	UKMO	
1	0.12	0.09	0.13	0.17	0.14	0.11	0.16	0.20	0.16
2	0.13	0.11	0.16	0.18	0.16	0.13	0.18	0.22	0.12
3	0.23	0.20	0.26	0.27	0.28	0.26	0.31	0.32	0.19
4	0.30	0.28	0.31	0.31	0.37	0.33	0.38	0.36	0.30
5	0.40	0.35	0.41	0.38	0.49	0.40	0.49	0.45	0.34
6	0.46	0.41	0.46	0.44	0.53	0.47	0.56	0.51	0.37
7	0.48	0.42	0.46	0.45	0.54	0.47	0.55	0.52	0.47
8	0.45	0.39	0.43	0.43	0.50	0.44	0.52	0.50	0.48
9	0.32	0.28	0.30	0.32	0.36	0.33	0.36	0.38	0.36
10	0.23	0.21	0.23	0.27	0.26	0.25	0.27	0.32	0.28
11	0.16	0.14	0.16	0.22	0.18	0.17	0.20	0.25	0.21
12	0.12	0.10	0.14	0.18	0.14	0.12	0.16	0.21	0.18
Total	103.22	90.60	105.00	110.83	120.56	105.98	126.10	129.25	101.88

表 2 铁刀木需水量 (cm d<sup>-1</sup>) 的模拟结果

Table 2 Simulated water consumption (cm d<sup>-1</sup>) for *Cassia siamea*

月份 Month	280 mol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>				560 mol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>				ET (2005)
	CCCM	GFDL	GISS	UKMO	CCCM	GFDL	GISS	UKMO	
1	0.05	0.04	0.06	0.07	0.06	0.05	0.06	0.08	0.16
2	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.05	0.08	0.09	0.12
3	0.10	0.09	0.11	0.12	0.13	0.11	0.14	0.14	0.19
4	0.14	0.12	0.14	0.14	0.17	0.15	0.17	0.16	0.30
5	0.18	0.16	0.18	0.17	0.22	0.18	0.22	0.20	0.34
6	0.20	0.18	0.20	0.19	0.23	0.21	0.25	0.23	0.37
7	0.21	0.19	0.21	0.20	0.24	0.21	0.25	0.23	0.47
8	0.20	0.17	0.19	0.19	0.22	0.20	0.23	0.22	0.48
9	0.13	0.11	0.12	0.13	0.15	0.14	0.15	0.16	0.36
10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.13	0.28
11	0.07	0.06	0.07	0.09	0.08	0.07	0.08	0.10	0.21
12	0.05	0.04	0.06	0.08	0.06	0.05	0.07	0.09	0.18
Total	45.10	39.60	45.85	48.23	52.68	46.30	55.08	56.25	101.88

表 3 大叶桃花心木需水量 (cm d<sup>-1</sup>) 的模拟结果

Table 3 Simulated water consumption (cm d<sup>-1</sup>) for *Swietenia macrophylla*

月份 Month	280 mol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>				560 mol mol <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>				ET (2005)
	CCCM	GFDL	GISS	UKMO	CCCM	GFDL	GISS	UKMO	
1	0.08	0.06	0.09	0.12	0.09	0.08	0.11	0.14	0.16
2	0.09	0.07	0.11	0.12	0.11	0.09	0.12	0.15	0.12
3	0.15	0.14	0.17	0.18	0.19	0.17	0.21	0.21	0.19
4	0.20	0.19	0.21	0.21	0.25	0.22	0.25	0.24	0.30
5	0.26	0.24	0.27	0.26	0.33	0.27	0.33	0.30	0.34
6	0.31	0.27	0.31	0.29	0.35	0.32	0.37	0.34	0.37
7	0.32	0.28	0.31	0.30	0.36	0.31	0.37	0.35	0.47
8	0.30	0.26	0.29	0.28	0.33	0.29	0.35	0.33	0.48
9	0.21	0.19	0.20	0.22	0.25	0.22	0.24	0.26	0.36
10	0.15	0.14	0.15	0.18	0.18	0.17	0.19	0.21	0.28
11	0.11	0.10	0.11	0.15	0.12	0.11	0.14	0.17	0.21
12	0.08	0.07	0.09	0.12	0.09	0.08	0.11	0.14	0.18
Total	69.28	60.81	70.48	74.42	80.92	71.14	84.65	86.79	101.88

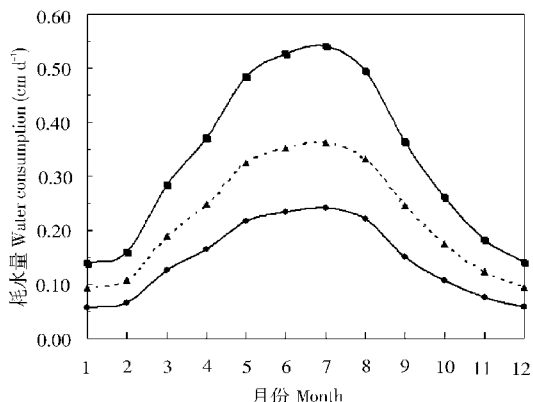


图 1 CCCM 模式下的植物需水量

Fig. 1 Water consumption with CCCM model

■ 荆竹 *Bambusa stenostachya*; ◆ 铁刀木 *Cassia siamea*;  
▲ 大叶桃花心木 *Swietenia macrophylla*.

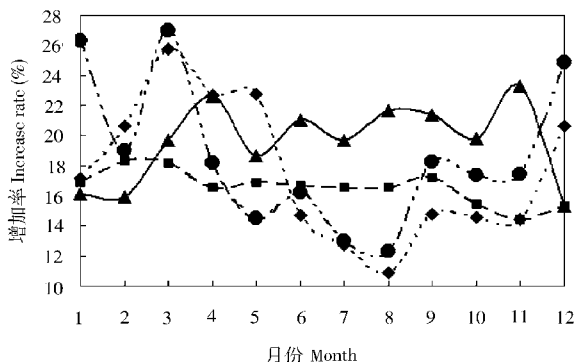


图 2 气候变迁下荆竹耗水量的增加率

Fig. 2 Increasing rate of water consumption under climate change

◆: CCCM; ●: GFDL; ▲: GISS; ■: UKMO.

为比较 GCM 各模式对温度的预拟效果,以台南气象站 1961~2005 年的月平均温度为历史数据,比较各模式在  $\text{CO}_2$  浓度为  $280 \text{ mol mol}^{-1}$  下的温度输出值(图 3)。结果表明,以 GISS 模式模拟的效

果较佳,只需进行温度修正,也就是说在台南红泉坑试验地,荊竹、铁刀木及大叶桃花心木的需水量估测,以 GISS 模式模拟的月平均温度较接近实际数据。

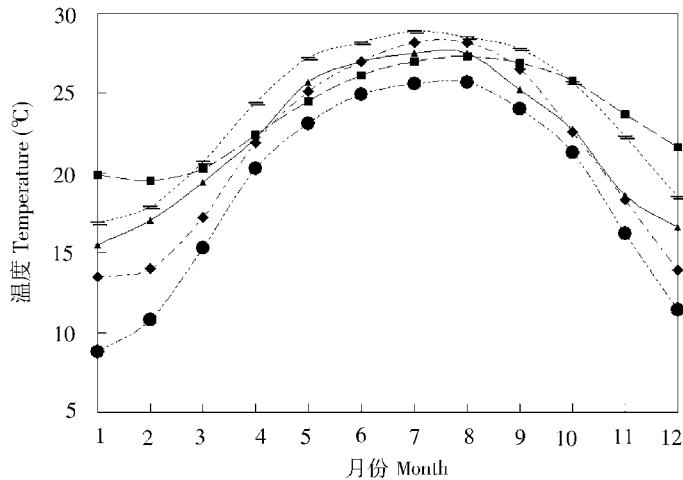


图 3 用不同模式模拟的温度

Fig 3 Temperatures simulated with different models and history data

◆: CCCM; ●: GFDL; ▲: GISS; ■: UKMO; —: History data

## 5 结论和建议

全球变暖所造成的气候变迁问题,近年来为世界各国关注,其影响范围及应对策略尚无定论。台湾西南部泥岩地区,由于其特殊的地质、土壤条件与气候类型,土壤水资源匮乏。本文仅对气候变迁下荊竹、大叶桃花心木及铁刀木的需水量做一预测比较与探讨,气候变迁模式虽然有一定的可信度,但仍需对当地之环境因子做长期的验证与模拟比较才具代表性。根据我们的研究结果,提出初步的结论与建议:(1)在气候变迁之下,以 GISS 模式模拟出的荊竹年需水量大约为 126.1 cm,为铁刀木、大叶桃花心木的 2.3 倍及 1.5 倍,说明与其它造林植物相比,荊竹对土壤水资源的消耗明显;(2)用 CCCM、GFDL、GISS 及 UKMO 模式模拟的需水量变化趋势大致相同,只是 GFDL 和 UKMO 模式模拟的结果偏低些,而 CCCM 模式模拟的结果较接近 4 种模式的平均值;(3)CCCM、GFDL、GISS、UKMO 等大气环流模式,在大气环境模拟上有一定的可信度,尤其是温度的模拟,但限于大气研究的观点,且研究参数的修正需有较长期研究的累积,才能具有代表性。所以引用大气环流模式时应特别注意当地完整区域的水文、气候特性,亦即是

气候变迁乃属长期与大范围的研究,未来如何将大尺度的参数修正为适合较小尺度的区域特性,将有助于小尺度微气候的模拟。

## 参考文献

- [1] Chang C P(张俊斌), Lin S H(林信辉). The methods of thorny bamboo renewal and sediment control on the mudstone area in south-western Taiwan [J]. Res Soil Water Conserv(水土保持研究), 1999, 6(3): 88-99. (in Chinese)
- [2] Zhang J B(张俊斌), Lee M L(李明儒), Liu D G(刘大根). Study on whole ecological management of watershed in Taiwan mudstone area [J]. Res Soil Water Conserv(水土保持研究), 2002, 9(3): 103-108. (in Chinese)
- [3] Lin S H(林信辉), Kao C C(高齐治). The root strength of thorny bamboo at mudstone area in southwest Taiwan [J]. J Chin Soil Water Conserv(中华水土保持学报), 1999, 30(1): 1-12. (in Chinese)
- [4] Tung C P, Haith D A. Climate change, irrigation, and crop response [J]. J Amer Water Resour Assoc, 1998, 34(5): 1071-1085.
- [5] Tung C P. The impacts of climate change on tsengwen creek water resources in Taiwan [J]. J Amer Water Resour Assoc, 2001, 37(1): 1-10.
- [6] Tung C P, Haith D A. Global warming effects on New York Streamflows [J]. J Water Resour Plann Manag, 1995, 121(2): 216-225.
- [7] Hamon W R, Walk W R. Evapotranspiration under depleting soil moisture [J]. J Irrigat Drainage Divis, ASCE, 1979, 105(IR4): 392-

- 402.
- [8] Lin S H (林信辉). Photosynthetic gas exchange responses of roxburgh siimac and dense-flowered falsenettle in limestone mining spoil and in controlled environments [J]. *J Chin Soil Water Conserv* (中华水土保持学报), 1995, 26(2): 106-109.(in Chinese)
- [9] Houghton J J, Jenkins G J, Ephraums J J. *Climate Change* [M]// The IPCC Scientific Assessment, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 34.
- [10] Houghton J T, Callander B A, Varney S K. *Climate Change* [M]// The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, Intergovernmental Meteorological Organization. Cambridge: Cambridge University Press, 1992: 41-55.
- [11] Ye D Z(叶笃正), Li C Y(李崇银), Wang B K(王必魁). *Dynamic Meteorology* [M]. Taiwan: Mingwen Company Press, 1996: 343-392.(in Chinese)