

秦岭南侧一次弱对流暴雨过程机理分析

胡启元¹, 乐镜子² (1. 陕西省气象台, 陕西西安 710014; 2. 陕西省西安市户县气象局, 陕西户县 710300)

摘要 使用地面自动站资料、常规观测资料、NECP再分析资料、卫星TBB云图资料等, 通过天气学分析及动力能量诊断分析对2011年8月3~5日汉中、安康一次区域性暴雨过程进行机理分析。结果表明, 这次过程东亚中高纬度维持大槽大脊环流形势, 高原上东移的低涡直接影响陕西省, 陕南大部处在低涡东侧, 副高584 dagpm线在河南一带呈“凸”型, 陕南位于“凸”型结构西侧, 有利于低涡输送的水汽和能量在此地汇集; 前期水汽条件输送和堆积条件不是特别好, 后期水汽逐渐上来, 低层700 hPa切变线和850 hPa陕南偏南风急流在过程中对水汽输送和堆积贡献很大; 动力因子方面高层强辐散、低层弱辐合产生的上升运动十分强盛, 但K指数和 θ_{se} 分布表明暴雨区附近不稳定形势比较弱, 且暴雨发生时并没有明显的强对流机制迹象, 说明暴雨触发机制中不稳定能量的大小比有利的上升运动意义更大; 云图分布上, 对流发展与强对流过程相比要弱, 云团没有达到MCC级别, 预报员易忽略雷暴天气的发生; 云团发展最旺盛时刻同时也是暴雨最大时段, TBB中心与暴雨中心对应比较一致。

关键词 暴雨; 弱对流; 过程; 机理; 秦岭南侧

中图分类号 S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)22-09373-04

Mechanism Analysis of A Weak Convective Rainstorm Process in South Side of Qinling Mountains

HU Qi-yuan et al (Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an, Shaanxi 710014)

Abstract Based on data of automatic weather station, conventional observation, NCEP reanalysis, and satellite TBB images, a regional torrential rain event occurred in Hanzhong and Ankang during August 3-5, 2011 was analyzed through synoptic analysis and dynamic energy diagnosis method. The results showed that during this event high latitude of east Asia maintained large tank ridge circulation situation, the plateau vortex which moving eastward directly affect Shaanxi, and southern Shaanxi was in east of vortex; the 584 lines of subtropical high which near Henan was "convex" type, and southern Shaanxi was in west of the "convex" type structure, which conducive to transfer water vapor and energy together. The water vapor transportation and accumulation conditions was not particularly good, later water vapor came up gradually, the shear line at 700 hPa and the southerly jet at 850hPa in the process contributed to it a lot. In the aspect of power factor, ascending motion which the structure of severe divergence in high and weak convergence in low produced was very strong, but the K index and the θ_{se} distribution showed that the rainstorm area near the unstable situation was relatively weak, and there was no signs of deep convection mechanism in storm, that showed the energy instability in rainstorm triggered mechanism had greater significance than favorable upward movement. Meanwhile, the infrared cloud images indicated the development of convection was too weak to help the cloud reach MCC level, forecasters may overlook the thunderstorm weather; the time that cloud developed to the most exuberant was also the maximum period of rainstorm, TBB center and the rainstorm center corresponded consistent.

Key words Rainstorm; Weak convection; Process; Mechanism; South of Qinling

秦岭位于陕西中部偏南, 是关中、陕南两地之间的分界线, 两侧暴雨发生的类型、范围、机制有很大不同, 尤其是在秦岭南侧, 多易发生短历时暴雨过程, 在山区地形和特殊气候背景的影响下多发生局部洪涝灾害, 给人民的生命财产安全带来严重威胁, 因此对秦岭南侧的暴雨形成机理研究受到国内众多学者的关注。黄楚惠等分析认为高原低涡有利于西太副高外围的西南暖湿气流输送, 在暴雨区形成较强的水汽辐合, 同时水汽通量辐合区强降水中心分布基本一致^[1]; 郭大梅等研究发现在MCC成熟过程中强降水易发生在TBB等值线密集区域^[2]; 其他学者也从气候背景、中小尺度环流及物理量特征等方面对秦岭南侧暴雨进行一定的研究^[3-5]。因此笔者使用地面自动站资料、常规观测资料、NECP再分析资料、卫星TBB云图资料等, 通过天气学分析及动力诊断分析对2011年8月3~5日汉中、安康区域性暴雨过程进行机理分析。

1 雨情概况

2011年8月3~5日陕南汉中、安康地区出现大范围强降水过程, 过程主要降水集中在4~5日, 其中3日08:00~4日08:00(图1a), 过程降水量超过50.0 mm的乡镇站有1

个, 为镇巴67.8 mm; 乡镇站降水超过50.0 mm就有44站, 最大镇巴观音站91.4 mm; 4日08:00~5日08:00(图1b), 过程降水量超过50.0 mm的乡镇站有10个, 最大为镇巴90.6 mm; 乡镇站降水超过50.0 mm有174站, 其中超过100.0 mm有3站, 最大镇巴观音站122.2 mm。这次暴雨过程持续时间较长, 影响范围广, 属于发生在稳定性降水中的短时间强降水过程, 逐小时雨量普遍超过5.0 mm, 4日05:00~11:00陕南雨强最大达18.2 mm/h, 其他时段以稳定性降水为主。

2 高空形势分析

3日20:00, 200 hPa高空形势场上南压高压势力强盛, 中心位于西藏南侧, 陕西省中南部处在高压外围东北侧, 纬向西风环流较为平直。500 hPa(图2a), 高纬度分布呈“两槽一脊”形势, 乌拉尔山和贝加尔湖东侧有低涡活动, 贝加尔湖为弱脊; 副热带高压主体位于东太平洋上, 陕南已处在副高584 dagpm线边缘北侧; 直接影响陕西省的为从高原上东移下来的低涡环流, 陕南大部处在低涡东侧。低层700 hPa陕南位于低涡东北侧, 外围西南风与偏东风形成纬向切变线, 途经关中的偏东冷空气加大了切变线两侧温压梯度, 从水汽条件和上升运动上看产生暴雨的可能性非常大。地面上陕南位于一东西向带状高压底部, 西南及偏南暖气流吹向陕南南部。

之后12 h陕南南部出现大雨为主并伴有局地暴雨的降

作者简介 胡启元(1989-), 男, 陕西西安人, 助理工程师, 从事天气预报及预报研究, E-mail: 243052965@qq.com。

收稿日期 2013-07-10

水过程。4日08:00,200 hPa 南压高压中心明显加强东伸,平直西风气流在陕南北侧转为偏西南风,在南侧转为偏西北风,形成显著风速风向辐散区;500 hPa(图2b),仍为“两槽一脊”形势,副高584 dagpm 线在河南一带呈“凸”型,陕南位于

“凸”型结构西侧,有利于低涡输送的水汽和能量在此地汇集;低层700 hPa 切变线维持,850 hPa 陕南形成偏东低空急流,动力和水汽条件十分有利于陕南产生暴雨;地面图上重庆倒槽向东北加深发展,倒槽附近出现明显降水。

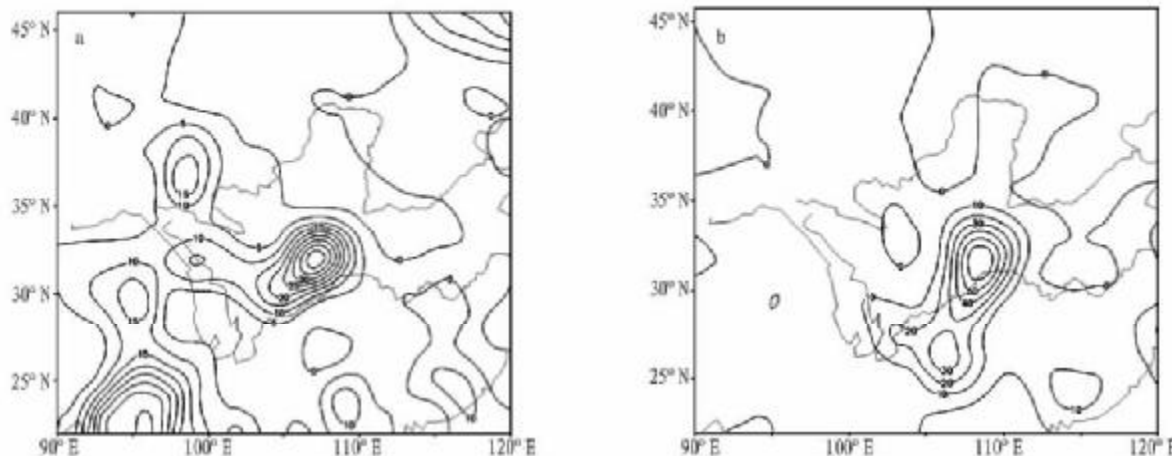


图1 2011年8月3日08:00~4日08:00(a)和4日08:00~5日08:00(b)陕南地区降水量(单位:mm)

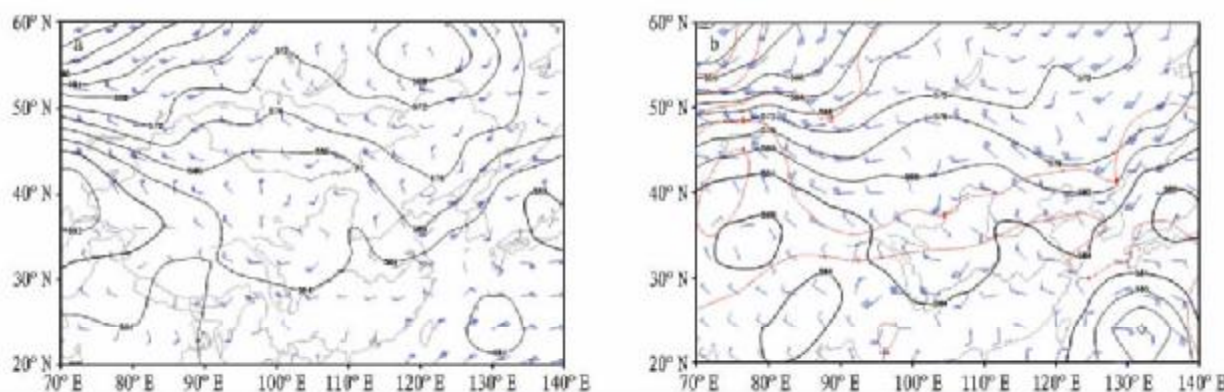


图2 2011年8月3日20:00(a)和4日08:00(b)500 hPa 环流形势场(单位:dagpm)及风场(单位:m/s)分布

3 物理量分析

3.1 水汽条件 3日20:00,700 hPa 影响陕西省的高原低涡附近存在较大的水汽通量区,中心在 $10 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 以上,而陕西省陕南南部大部处于 $4 \sim 6 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,此时暴雨主要落在汉中南部,与水汽通量大值区位置基本一致(图3a);850 hPa 的水汽输送形势与700 hPa 类似,汉中南部处在 $4 \sim 5 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,整体来说水汽输送并不是很剧烈。水汽通量散度分布上,700 hPa 陇南附近存在明显的水汽辐合区,而在陕南附近大概在 $-5 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,辐合较弱;850 hPa 暴雨区反而为水汽通量辐散区,为 $5 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 左右。

4日08:00,随着低涡有所东移以及切变线附近急流作用,700 hPa 水汽通量明显有向北延伸的形势,在汉中、安康交界处存在大小为 $10 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ 的中心(图3b),850 hPa 较之前3日20:00 四川附近水汽通量中心范围扩大,影响陕南水汽输送,增加至 $5 \sim 6 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,此时暴雨达到峰值。而在水汽通量散度分布上,较之前3日20:00 相比形势发生很大变化,700 hPa 全省已经处于水汽辐合区,汉中、安康附近为 $-5 \times 10^{-7} \sim -7 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,而

850 hPa 对应区域水汽辐合程度达 $-5 \times 10^{-7} \sim -10 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,低层水汽的聚集程度十分良好,为该时段暴雨发生提供了有利的湿度条件。

3.2 上升运动 分析4日08:00 沿 108°E 散度垂直分布图(图4a)可见,在 $32^\circ \sim 34^\circ\text{N}$ 低层为一致的宽广辐合区,辐合大小在 $-5 \times 10^{-5} \sim -10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,高度达500 hPa,说明气流在该处聚集上升作用比较好,而高层对应存在一个 $30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的强辐散区,这是由于该处处在高层强风带后部。这种高空强辐散、低层宽广辐合的形势十分有利于上升运动的形成和维持,从4日08:00 垂直速度分布图(图4b)可以反映这一结果,在暴雨区上空明显存在大小为 -25 hPa/s 的上升运动大值区,这十分有利于将低层水汽向高层输送,同时提供暴雨所需的动力条件。

3.3 不稳定能量分析

3.3.1 稳定度参数分析。从K指数的时间分布(图5)可以看出,4日暴雨区附近的K指数并不很高,08:00 汉中、安康附近处在K指数 $>32^\circ\text{C}$ 不稳定中心区域,比较有利于雷暴天气产生,结合水汽条件分析此处处于高温高湿的不稳定状态,后期易触发释放不稳定能量产生暴雨;到20:00 K指数 $>$

32 °C 已经覆盖整个陕南地区,较之前中心消失,综合分析低层切变线急流位置和降水裸区范围,可以看出 K 指数大值区在预报落区分布基本有参考价值,但由于 K 指数在此次过程

中值并不大(与强对流过程中 K 指数相比),预报员容易忽略雷暴等天气的发生。

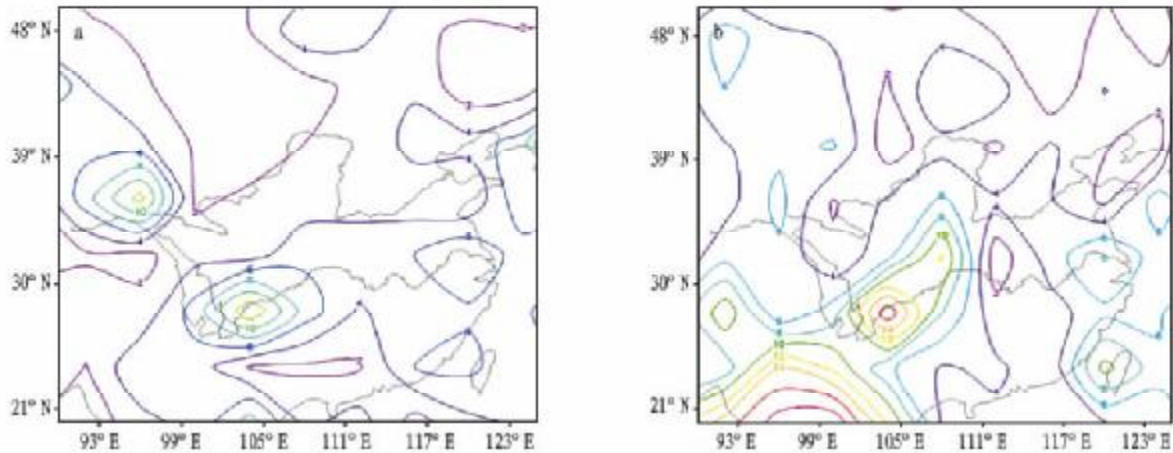


图 3 2011 年 8 月 3 日 20:00 (a) 和 4 日 08:00 (b) 700 hPa 水汽通量场 [单位: $g/(cm \cdot hPa \cdot s)$]

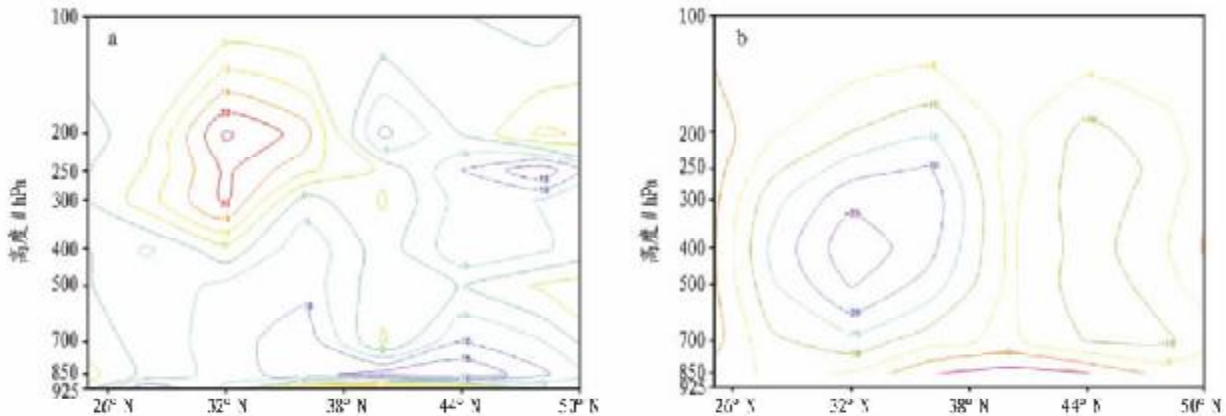


图 4 2011 年 8 月 4 日 08:00 沿 108°E 散度垂直分布 (a, s^{-1}) 和垂直速度分布 (b, hPa/s)

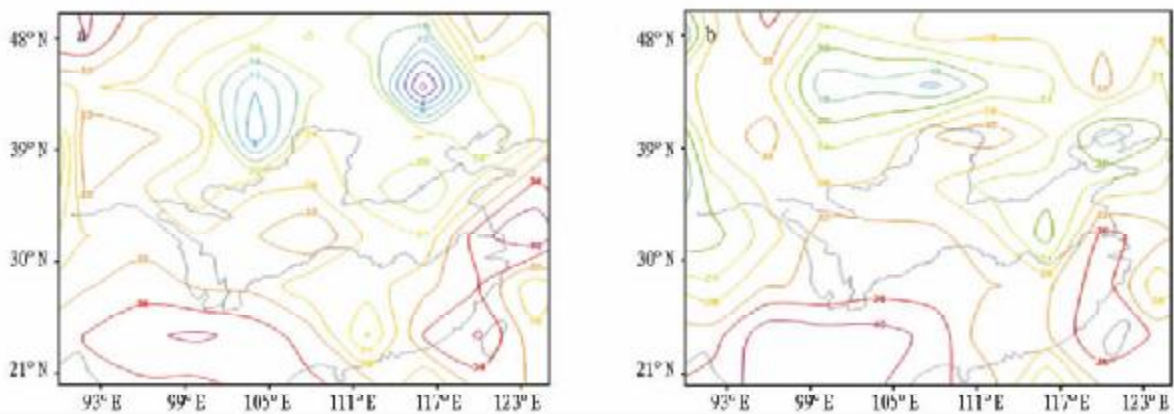


图 5 2011 年 8 月 4 日 08:00 (a) 和 20:00 (b) K 指数分布 (单位: $^{\circ}C$)

3.3.2 假相当位温特征。比较分析 3 日 20:00 和 4 日 08:00 的 θ_{se} 分布可见,在过程发生之前这种不稳定结构已经存在。3 日 20:00 沿 108°E θ_{se} 分布(图 6a)显示,32°N 附近 850 hPa 至地平面之间的 θ_{se} 普遍大于 70 °C,而在 850 ~ 500 hPa 为宽广的低能区 ($\theta_{se} < 70$ °C),可见从地面到 500 hPa 层结均处于不稳定结构中,而此时 700 hPa 水汽较多,850 hPa 水汽聚集

程度大,结构十分有利于对流作用产生,到 4 日 08:00 这种不稳定层结减弱消失(图 6b),但此时暴雨达到最大,说明这种不稳定能量的释放形成的对流天气继续维持并触发暴雨发生。总体来说,3 日 θ_{se} 分布很好地表现了暴雨发生之前的能量结构良好,对于 4 日暴雨产生的位置及时间具有较好的指示意义。

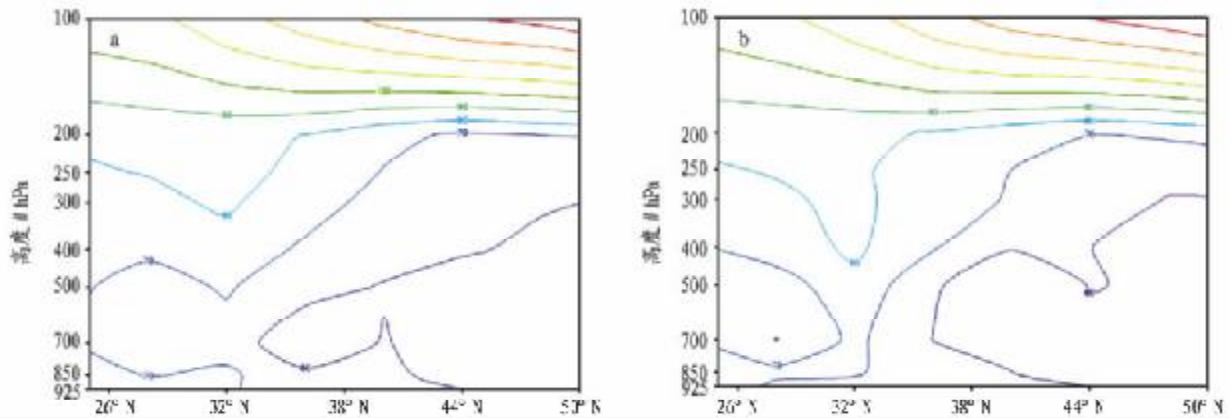


图6 2011年8月3日20:00(a)和4日08:00(b)沿108°E假相当位温分布(单位:℃)

4 云图分析

从过程云图分析来看,4日05:00(图7a),整个陕西除榆林北部外均有不同程度云覆盖,而在镇巴及紫阳南部出现小范围的 $TBB \leq -60^\circ\text{C}$ 的对流云团,分布比较散乱;07:00(图7b),这个云团已经发展到覆盖汉中西南部及安康大部,云团 TBB 最小达 -60°C ,从之前演变来看,云团主要是在向东向北发展,发展的过程中 TBB 中心附近出现逐小时超过 10 mm 降水,云团周围地面出现雷暴天气;08:00~09:00(图7c),对流云团发展到最旺盛,边缘已经比较清晰,但还没有达到 MCC 的标准, $TBB \leq -60^\circ\text{C}$ 覆盖面积大概有 $310\text{ km} \times 350\text{ km}$,

安康、汉中西南部均出现 10 mm/h 的强降水,局地达 18 mm/h;11:00 左右(图7d),整个对流云团开始溃散,影响汉中的云团东移,中心 TBB 由 -70°C 变为 -50°C 左右,而安康南部的云系 TBB 还在 -60°C 左右,此时汉中大部分的降水减弱为稳定性降水,安康减弱趋势较慢,降水中心也趋于东移;后期陇南有新对流云生成,但云团十分分散,且云顶亮温较高,因此没有像之前一样出现局地强降水。总的来说,这次过程中对流云团影响陕西比较大的时段主要在 4 日 05:00~11:00,云团没有达到 MCC 级别,但云团发展最旺盛时刻同时也是暴雨最大时段, TBB 中心对应暴雨中心。

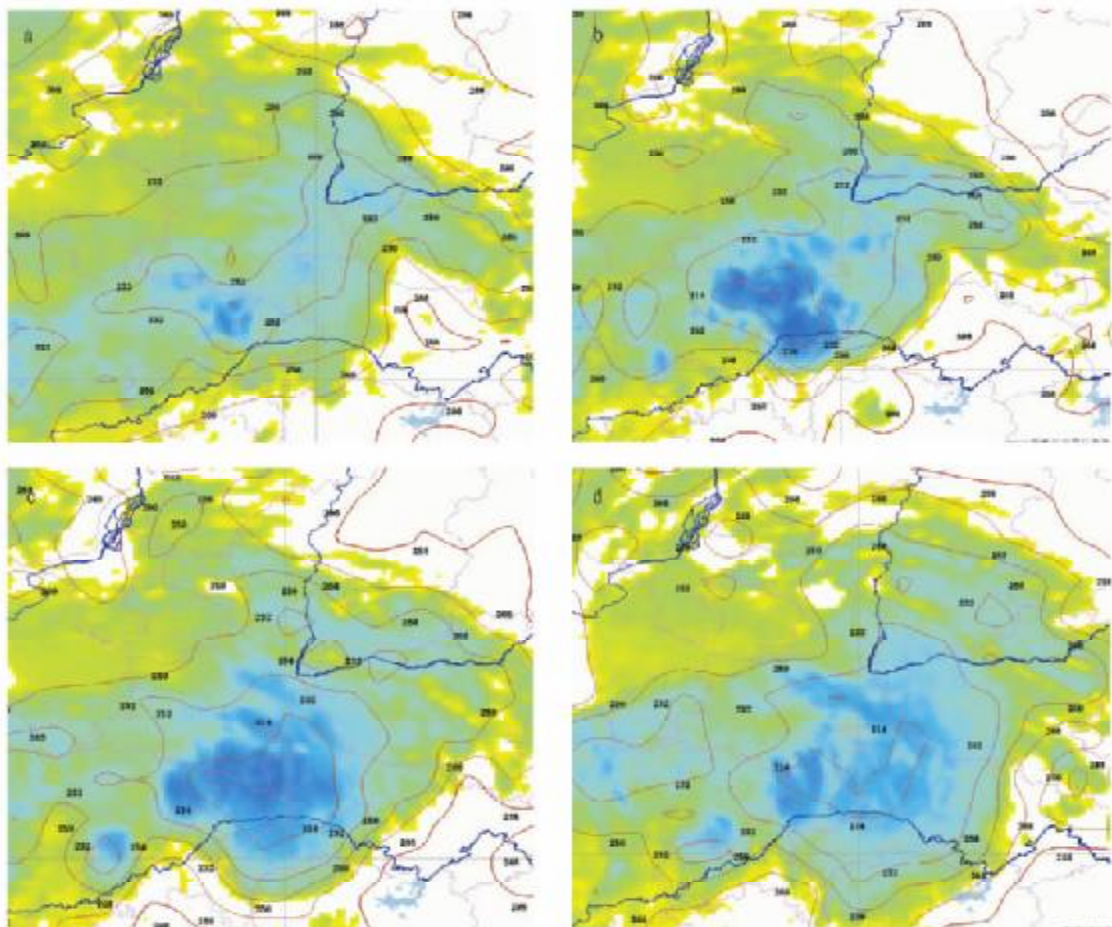


图7 2011年8月4日05:00(a)、07:00(b)、09:00(c)、11:00(d)TBB分布

2.4 硝酸铅对绿豆芽叶绿素含量的影响 叶绿素的含量水平是植物生长能力大小的直接表现。由图 3 可知,绿豆芽叶中叶绿素含量随着重金属浓度的增加而降低,当硝酸铅浓度升至 200 mg/L 时,叶绿素含量降至最低点。叶绿素含量的减少是衡量叶片衰老的重要指标,铅经根系吸收到达叶片后,叶片组织内会产生氧自由基,对叶绿素结构产生破坏。

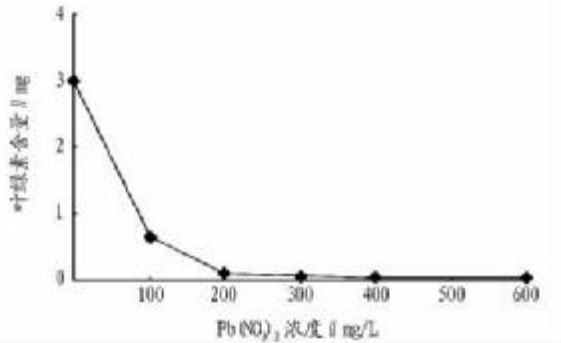


图 3 硝酸铅作用下绿豆芽叶中叶绿素含量的变化

3 结论

(1) 绿豆芽培养 5 d 后,硝酸铅对绿豆芽叶和根的 IC_{50} 分别为 276.33、6.47 mg/L。

(2) 在绿豆芽叶中,PPO 活性先是随着 $Pb(NO_3)_2$ 浓度的升高而降低,当 $Pd(NO_3)_2$ 浓度升至 300 mg/L 时,PPO 活性又随着重金属浓度的升高而升高;在绿豆芽根中,PPO 活性的变化则相反。

(3) 在绿豆芽叶和根中,CAT 活性先随着重金属浓度的升高而升高,当 $Pb(NO_3)_2$ 浓度升至 400 mg/L,CAT 活性又随着重金属浓度的升高而降低。

(4) 绿豆芽叶中叶绿素含量先随着重金属浓度的增加而降低,当硝酸铅浓度升至 200 mg/L 时,叶绿素含量降至最低点。

参考文献

- [1] 董庆霖,林碧琴. 铅对羊角月芽藻的毒性及吸收作用的研究[J]. 辽宁大学学报,1997,24(1):89-94.
- [2] 马海涛,李晓晨,郭志勇. Zn, Pb 和 Cd 对小麦幼苗生理化的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(3):647-648.
- [3] 何翠屏,王慧忠. 重金属镉、铅对草坪植物根系代谢和叶绿素水平的影响[J]. 湖北农业科学,2003(5):60.
- [4] DUANE M, SMITH J R, HOWARD W, et al. Subchronic lead feeding study in male rats[J]. Environ Contam Toxicol,2008,55(3):518-528.
- [5] CHIESA M E, ROSENBERG C E, FINK N E, et al. Serum protein profile and blood cell counts in adult toads bufo arenarum (Amphibia:Anura:Bufonidae): effects of sublethal lead acetate [J]. Environ Contam Toxicol, 2006,50:384-391.
- [6] SONG C A, LEI L Q, YANG Q J. Pb, Cu botanogeochemical anomalies and toxic effects on plant cells in Pb-Zn (Sn) ore fields, Northeast Guangxi Autonomous Region, China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2007,26(3):329-332.
- [7] 王健鑫,王日昕. Pb^{2+} 对中国林蛙蝌蚪生长发育的毒性效应[J]. 浙江农业学报,2008,20(3):203-207.
- [8] 林妙云,郭卫芬. 无机染发剂对绿豆种子萌发的影响[J]. 生物学通报, 2007,42(10):47-49.
- [9] 王盛良,黄洁,黄薇,等. 绿豆芽的富镉效果及影响因素研究[J]. 卫生研究,2002,31(1):67-69.
- [10] 商学芳,张秀玲. 镉对绿豆和蚕豆种子萌芽及幼苗生长的影响[J]. 德州学院学报,2007,23(2):16-18.
- [11] 李彩霞,张芬琴,王光忠. 铅对绿豆幼苗生长的影响[J]. 植物资源与环境学报,2003,12(2):60-61.
- [12] HUSSAIN M, IJAZ S, BIBI M. Accumulation of nutrients and metal ions by two mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] cultivars treated with copper and lead [J]. Environ Contam Toxicol,2006,77:581-589.
- [13] YANG M T, CHEN S L, LIN C Y, et al. Chilling stress suppresses chloroplast development and nuclear gene expression in leaves of mung bean seedlings [J]. Planta,2005,221:374-385.
- [14] SINGH H P, BATISH D R, KOHLI R K, et al. Arsenic-induced root growth inhibition in mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb.) is due to oxidative stress resulting from enhanced lipid peroxidation [J]. Plant Growth Regul,2007,53:65-73.
- [15] 李莉,秦恩华,张榕. 铅胁迫对绿豆芽苗期生理生化特性的影响及缓解作用[J]. 湖北民族学院学报,2006,24(1):94-96.
- [16] 杨敏文. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨[J]. 光谱实验室, 2002,19(4):478-481.

(上接第 9376 页)

5 结论

(1) 这次过程东亚中高纬度始终维持大槽大脊的环流形势,直接影响陕西省的为一从高原上东移下来的低涡环流,陕南大部处在低涡东侧;同时副高 584 dagpm 线在河南一带呈“凸”型,陕南位于“凸”型结构西侧,有利于低涡输送的水汽和能量在此地汇集。

(2) 低层 700 hPa 暴雨区切变线维持存在,850 hPa 陕南形成偏东低空急流,前期水汽条件输送和堆积条件不是特别好,后期水汽逐渐上来,说明低层切变线和偏南风急流有很重要的贡献。

(3) 此次过程发生在夏末秋初,从动力因子方面,高层强辐散、低层弱辐合是主要的动力结构,而这种结构产生的上升运动十分强盛,这可以部分说明高层强辐散与上升运动强弱具有比较大的相关性,但在能量场上表现为比较弱的不稳

定形势,且暴雨发生的时段中并没有明显地体现强对流机制的迹象。暴雨发生之前的能量结构良好,对于 4 日暴雨产生的位置及时间具有较好的指示意义。

(4) 从云图分布上也可以看出,对流发展与强对流过程相比要弱,云团没有达到 MCC 级别,预报员易忽略雷暴天气的发生。但云团发展最旺盛时刻同时也是暴雨最大时段, TBB 中心与暴雨中心对应比较一致。

参考文献

- [1] 黄楚惠,顾清源,李国平,等. 一次高原低涡东移引发四川盆地暴雨的机制分析[J]. 高原气象,2010,29(4):832-839.
- [2] 郭大梅,许新田,刘勇,等. 陕西中南部一次突发性大暴雨过程分析[J]. 气象,2008,34(9):40-46.
- [3] 刘瑞芳,许新田,郭大梅. 安康地区一次突发性大暴雨天气过程成因分析[J]. 陕西气象,2010(2):27-30
- [4] 方建刚,侯建忠,陶建玲,等. 秦岭近邻地区秋季暴雨的天气动力学分析[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2007,43(4):31-36.
- [5] 范俊红,郭树军,王世彬,等. 一次秋季暴雨天气成因分析[J]. 气象, 2005,31(9):62-65.