

图2 2012年7月29日21:00—30日08:00银川站逐小时降水量
Fig.2 Hourly precipitation in Yinchuan Station from 21:00 July 29 to 08:00 July 30, 2012

日20:00,阻高增强,有利于冷空气的堆积,588 dagpm线有东移入海的趋势,新疆北部的槽在冷空气的作用下已经发生移动,向东南方到达甘肃与宁夏的交界处,宁夏目前在槽前脊后位置的影响下,产生降水。30日08:00,小槽已经发展并移动到宁夏东部,对昨天夜间的持续性暴雨起到了重要的作用;588 dagpm线的西伸部分已经减弱消失,东边部分已经完全入海。30日20:00,槽线已东移离开,宁夏地区由偏西风控制,暴雨结束。

2.2 中、低层环流形势 29日08:00,在700 hPa上,宁夏北部有气旋,空气辐合上升,有利于产生降雨,宁夏南部有东北—西南风向的切变,银川地区风向为南风,有利于南方水汽的输送;850 hPa,宁夏中部存在一条切变线,有气旋式辐合上升。29日20:00,宁夏700 hPa的西北、东北方向出现2条切变线,空气的对流运动强烈,宁夏南部的西南风输送了来自南部海洋的水汽,同时,银川正处于低压的东北部边缘,也利于水汽的输送,充足的水汽条件满足了夜间降水对水汽的需求;850 hPa,切变线依然存在,宁夏南部吹东南风,为暴雨提供了充足的水汽。30日,中、低层的切变线都已移出,宁夏地区已经受到高压东部边缘的影响,降水逐渐结束。

2.3 地面形势 分析地面图发现,随着时间的推移,高原北部的低压向西南方移动,逐渐稳定在宁夏以南、高原以东,因受此低压的影响,28日白天宁夏中北部地区维持34℃左右的温度,高温使不稳定能量累积,为暴雨提供了良好的形式;29日23:00,低压移至甘肃南部,高压维持在高原东北部,冷暖空气在宁夏交汇,气流辐合上升,有利于降水;银川站温度露点差为2℃,空气接近饱和,水汽条件充足。

3 物理量诊断分析

3.1 动力条件

3.1.1 涡度。分析涡度剖面图发现,29日08:00—14:00,银川(106°E,38°N)上空低层大气状态稳定,中高层被强度逐渐增强的负值中心控制,呈现反气旋环流,没有降水;29日20:00,银川上空700 hPa以下受弱的正涡度区控制,高层负涡度中心增强至 $-12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,在低层正涡度、高层负涡度的配合下,为暴雨提供了良好的环境,银川此时有降水。30日02:00,银川上空600 hPa以下在强度为 $18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度中心的控制下,正值区高度上升至400 hPa,高层依然为负值

区,但强度已经减弱,正涡度中心强度增大的过程,银川的雨量也在不断增加。30日08:00—31日02:00,西部负值区逐渐取代正值区,伴随雨势的减弱、停止。

为了更好地看出涡度随时间、高度的变化趋势,绘制涡度的时间-高度剖面图,分析得出,正涡度区集中在500 hPa以下的位置,对流层中高层为负涡度区。29日08:00—20:00,高空为负涡度区,中低层在零值线范围内,即该时间段内,银川地区中低层正处于稳定的大气状态;29日20:00—30日08:00,850 hPa出现最大正涡度中心,强度为 $18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,高层呈反气旋性环流、低层气旋性环流,与暴雨相配合;之后,正涡度值逐渐减少,中低层出现负涡度,强度减弱,显示降水逐渐停止。

3.1.2 散度。29日08:00—14:00,银川上空低层受弱的正散度区控制,呈现辐散的状态,中高层正负值区叠加出现,此时银川没有降水。29日20:00—30日08:00,负值中心强度增强,东移影响到银川地区,负值区上空对应正值中心,低层辐合、高层辐散,并且其强度、影响范围的变化与暴雨实况相对应。30日12:00—31日02:00,银川上空对流层低层正散度取代负散度,中高层负散度控制,降水停止。

分析散度的时间-高度剖面图发现,散度负值的中心位置几乎与涡度正值的中心位置相似;29日20:00—30日08:00,200、400 hPa位置有明显的正值中心,低层700 hPa有负值中心,高空辐散、低空辐合,水汽的输送与空气的上升运动相配合,对于暴雨的出现以及持续非常重要;随着暴雨的结束,逐渐呈现低层正值区、高层负值区的状态,不是暴雨发生的有利条件。

3.1.3 垂直速度。29日20:00和之前时段,银川上空低层受弱的上升运动的影响,中高层有弱的下沉运动,同时银川西部有强度不断增强、高度发展至200 hPa的负值中心正在向东移动,逐渐影响银川。30日02:00,负值区强度减弱,东移过银川,银川上空低层到高层处于强上升运动的控制下,对应29日夜间到30日凌晨的暴雨。30日08:00,银川800 hPa以下已经被弱正值区控制,西侧正值中心下降、强度增强,负值中心已经东移、抬高,降水减弱。30日14:00—31日02:00,银川上空大气趋于稳定,降水停止。

依据垂直速度沿106°E、38°N的时间-高度剖面显示,29日白天,银川地区700 hPa以下被上升气流控制,高层被下沉气流控制,中高层的正值中心强度最大为0.4 Pa/s,有利于之后的低层上升气流的发展;夜间低层上升运动强度不断增强,向上延伸至200 hPa,上升运动强烈、深厚,对流旺盛,这种强上升运动一直维持到30日08:00,对应此时段暴雨强度大,但是从30日02:00开始,800 hPa以下出现正值区,但中低层依然存在上升运动,暴雨有逐渐减弱的趋势。

3.2 水汽条件分析

3.2.1 水汽通量。29日08:00—14:00,银川上空中低层水汽通量增大,西部的中心区域正在东移,接近银川,暴雨之前就有水汽缓慢增加。29日20:00—30日02:00是暴雨强烈的时刻,银川上空维持120 g/(cm·hPa·s)的水汽通量,等值线

向高处发展至 350 hPa,并且更加密集,水汽充足、深厚。之后,中心值减弱,水汽大值区高度下降,不利于持续性的降水。

从图 3 可以看出,在暴雨发生前,低层已经有了 $80 \text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ 的水汽通量,大气已经有了水汽的积聚,水汽大值区主要聚集在 750 hPa 以下,低层的水汽是暴雨的主要来源,水汽在强垂直运动的条件下已经输送到 400 hPa 的高层,水汽条件发展深厚;29 日 20:00 800 hPa 以下水汽通量已经达到最大值,并且对流层中层的水汽也在不断增加,而银川的实际降水量也达到最大;30 日 08:00,低层水汽含量减小,降水也逐渐停止。

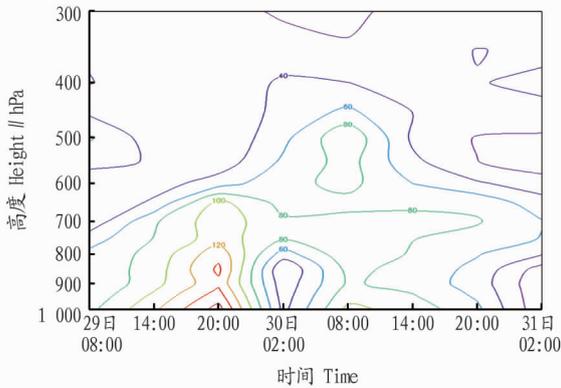


图 3 2012 年 7 月 29 日 08:00—31 日 02:00 沿 106°E 、 38°N 的水汽通量垂直剖面[单位: $\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$]

Fig.3 Vertical profile of water vapor flux along 106°E 、 38°N from 08:00 July 29 to 02:00 July 31 in 2012

3.2.2 水汽通量散度。29 日 14:00,银川上空为零值线控制;29 日 20:00,银川以西的负值中心强度增强东移,银川边缘已经受到影响;30 日 02:00,银川上空对应强度减弱的负值中心;08:00,强度继续减弱,有正值区东移至银川附近,随后,辐散中心控制银川。在暴雨时段内,水汽通量散度的负值区维持在 650 hPa 以下,低层辐合强,强度的变化、中心位置的变化与暴雨的大小、位置相对应。

从图 4 可看出,水汽通量散度的负值区主要集中在 750 hPa 以下,说明水汽主要位于对流层低层;负值中心与暴雨落区、时间相对应,最大值出现在 29 日 20:00,水汽的不断汇聚为暴雨的维持提供了源源不断的水汽条件;30 日 08:00 之前,低层的水汽汇聚基本结束,出现零值线,随后低层被正值区控制,表示有水汽流失,降雨结束。

3.3 能量分析

3.3.1 假相当位温。全过程中,300 hPa 以上的高层一直保持干冷空气控制的状态,29 日 08:00—20:00,500 hPa 以下保持 $\partial\theta_{se}/\partial p > 0$,低层最大为 85°C ,受暖湿气流的控制,大气层结不稳定,暴雨发生前就累积了不稳定能量;30 日 02:00 银川上空 500 hPa 以下仍在 80°C 的高能区控制下,西部低层有低值中心正在东移,低层暖湿、高层干冷,是有利于降水的配置;之后的时间内,银川上空低层的假相当位温不断降低,西部低值中心逐渐到达银川,银川受干冷空气的控制,降水停止。

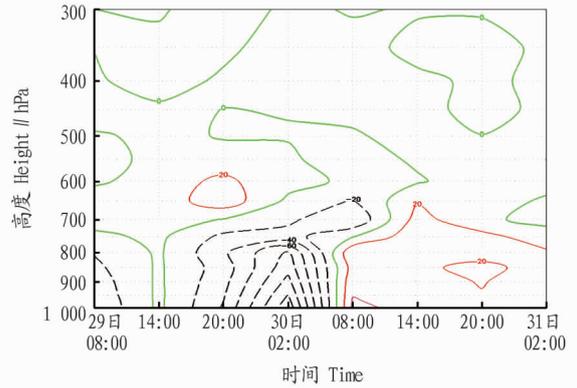


图 4 2012 年 7 月 29 日 08:00—31 日 02:00 沿 106°E 、 38°N 的水汽通量散度垂直剖面[单位: $\times 10^{-5} \text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$]

Fig.4 Vertical profile of water vapor flux divergence along 106°E 、 38°N from 08:00 July 29 to 02:00 July 31 in 2012

从图 5 可看出,700 hPa 以上假相当位温从 80°C 开始,随高度逐渐增加,但在 900 hPa 处 29 日 10:00—30 日 05:00 假相当位温为 85°C ,即该处的大气层结呈现不稳定的状态,不稳定能量高,说明从暴雨开始前就积累了不稳定能量;29 日晚到 30 日凌晨假相当位温最大,对应此时段的暴雨强度最大;随后大气层结逐渐稳定,降水过程也慢慢停止。

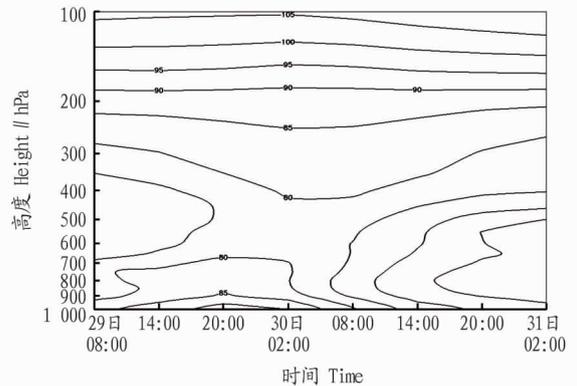


图 5 2012 年 7 月 29 日 08:00—31 日 02:00 沿 106°E 、 38°N 的假相当位温垂直剖面(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig.5 Vertical profile of pseudo-equivalent temperature along 106°E 、 38°N from 08:00 July 29 to 02:00 July 31 in 2012

3.3.2 温度平流。29 日 08:00—14:00,银川低层一直处于弱的冷空气控制下;29 日 20:00—30 日 02:00(图 6),零值线逐渐靠近银川,其东西两侧有暖平流和冷平流交汇,利于降水;随后不断向高层伸展的冷平流控制银川低层地区,并在低层暖空气的作用下,冷暖平流趋于稳定。

分析图 7 可看出,29 日 08:00—30 日 08:00, 0°C 线基本位于 700 hPa 以下的位置,对流层中低层有冷、暖空气在此相遇,产生暴雨;30 日 08:00 之后, 0°C 线向中高层发展至 200 hPa,银川受冷空气控制,结合地面图,冷锋对宁夏地区的影响范围扩大。

4 结论

(1) 高低空环流形势的分析表明,2012 年 7 月 29—30 日发生在宁夏中北部地区的一次大暴雨天气过程是受高层

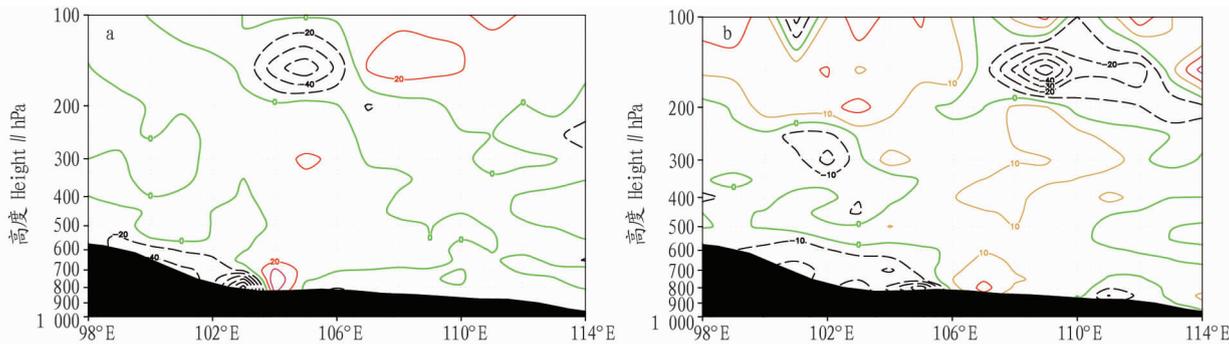


图 6 2012 年 7 月 29 日 20:00(a) 和 30 日 02:00(b) 沿 38°N 的温度平流垂直剖面(单位: °C/s)

Fig.6 Vertical profile of temperature advection along 38°N at 20:00 on July 29 (a) and 02:00 on July 30 (b) in 2012

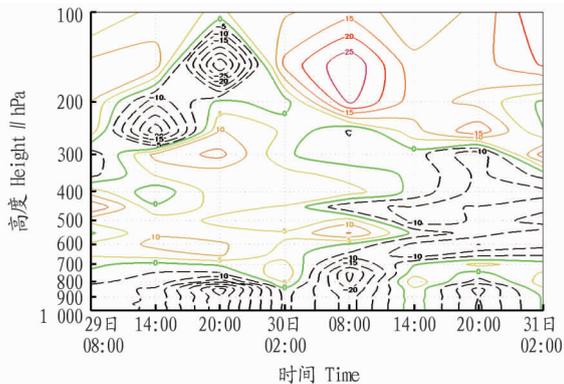


图 7 2012 年 7 月 29 日 08:00—31 日 02:00 沿 106°E、38°N 的温度平流时间-高度剖面(单位: °C/s)

Fig.7 Time-height profile of temperature advection along 106°E, 38°N from 08:00 July 29 to 02:00 July 31 in 2012

500 hPa 从新疆东移至宁夏地区的短波槽和副高边缘带来的暖湿空气的共同影响,短波槽携带槽后的干冷空气和副高西南边缘输送的暖湿气流在宁夏地区辐合,同时在中、低层 700、850 hPa 受切变线的影响,同时地面图上有冷锋从高原北部东移,宁夏地区受到上述大中尺度系统的共同作用,产生了此次暴雨天气过程。

(2) 通过对涡度、散度、垂直速度、假相当位温、水汽通量、水汽通量散度和温度平流的垂直剖面图进行分析,结果表明,在暴雨发生的时间段内,低层辐合、高层辐散的涡度的

状态能够很好地对应暴雨时刻,低层正值中心的大小与暴雨强度相对应;散度的负值中心与涡度的正值中心相配合,低层为气旋式环流、辐合,中高层为反气旋式环流、辐散;垂直速度负值区从低层发展至 200 hPa,强烈并且深厚,有利于水汽、能量等的垂直输送;低层水汽通量增加,大量的水汽发生汇集,在强烈的垂直运动作用下,已经延伸到高层,水汽条件充足、深厚;假相当位温显示,在暴雨发生之前就已经有不稳定能量的积累,随着暴雨的进程,不稳定能量消耗,直到降水停止,其不稳定主要体现在对流层低层;伴随地面冷锋的移动,对流层低层冷、暖空气交汇,大气层结处于不稳定的状态。

参考文献

- [1] 毛文书,曾戟,孙云,等.川渝地区夏季降水变化气候特征分析[J].成都信息工程学院学报,2010,25(2):172-178.
- [2] 毛文书,彭骏,周强,等.基于 Barnes 滤波原理的降水场客观分析及尺度分离[J].成都信息工程学院学报,2008,23(6):668-672.
- [3] 蔡海朝,毛文书,杨群,等.湘中一次大暴雨天气的综合诊断分析[J].成都信息工程学院学报,2011,26(2):215-222.
- [4] 王黎黎,魏婷婷.近 50 年来东北冷涡暴雨过程动力条件诊断和水汽条件分析[J].气象灾害防御,2014(4):10-13.
- [5] 安洁,张立凤,张铭.暴雨中不稳定的动力学诊断方法[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2006,7(4):390-395.
- [6] 曹晓岗.“0185”特大暴雨的诊断分析[J].气象,2002,28(1):21-25.
- [7] 纪晓玲,贾宏元,沈跃琴.2002 年 6 月 7~8 日宁夏区域性暴雨天气过程分析[J].干旱气象,2004,22(2):17-22.
- [8] 钱维宏,单晓龙,朱亚芳.天气尺度扰动流场对区域暴雨的指示能力[J].地球物理学报,2012,55(5):1513-1522.

(上接第 136 页)

产效果。

(4) 临河区食用向日葵最佳经济施肥量纯 N 为 240.8 kg/hm², P₂O₅ 为 108.4 kg/hm², K₂O 为 86.8 kg/hm², 氮磷钾最佳施肥比为 1.00:0.45:0.40。

参考文献

- [1] 郑海春,胡树平,贾利欣,等.内蒙古主要农作物测土配方施肥及综合配套栽培技术——向日葵[M].北京:中国农业出版社,2011.
- [2] 樊秀荣,苏化洲,刘杰,等.临河区食用向日葵施肥指标体系的建立[J].安徽农业科学,2013,41(33):12859-12860.
- [3] 陈新平,张福锁.通过“3414”试验建立测土配方施肥技术指标体系[J].中国农技推广,2006,22(4):36-39.

- [4] 安玉麟,郭富国,杨文耀.河套黄灌区油用向日葵氮磷钾肥料效应分析[J].华北农学报,2007,22(5):147-151.
- [5] 段玉,妥德宝,张君,等.氮磷钾平衡施用对油用向日葵产量及肥料效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(3):767-771.
- [6] 徐卫华,吴雪芬,张远照.基于 Excel 的“3414”田间肥效试验模型的应用研究[J].现代农业科技,2012(7):19-21.
- [7] 梁青,莫大杭,高建民.应用“3414”试验拟探讨不同肥料处理对玉米产量的影响[J].内蒙古农业科技,2013(5):54-55,69.
- [8] 王圣瑞,陈新平,高祥照,等.“3414”肥料试验模型拟合的探讨[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):409-413.
- [9] 吴炳孙,韦家少,何鹏,等.利用“3414”试验确定龙江农场热垦 525 最佳施肥量的探讨[J].热带作物学报,2013,34(2):244-248.
- [10] 李雪冰,闫礼,孔德胤,等.河套灌区油用向日葵施肥量经济效益分析[J].中国农学通报,2010,26(22):201-205.