第22卷 第4期 南京气象学院学报 Vol. 22 No. 4
1999年12月 Journal of Nanjing Institute of Meteorology Dec. 1999

文章编号: 1000-2022(1999)04- 0671- 09

气候变化与昆明粮食生产的研究

秦 剑
(云南省农业气象中心, 昆明 650034)

摘要: 分析了昆明近50年气候生产力变化特征以及气候变化对农业生产的影响。重点对气温、降水与小麦、水稻产量形成的关系进行了研究。结果表明: 12～2月的降水是小麦增减产的关键因子, ≥10 ℃的积温比降水更有利于水稻生产。同时, 计算了逐年的旱涝、冷暖指数, 针对制约我省农业增产的重要气象灾害的发生时期进行诊断, 发现小春作物的主要气象灾害是1～2月的冬旱和2～4月的倒春寒, 大春作物的主要气象灾害是5月干旱和7～8月的低温冷害。

关 键 词: 气候变化; 气候生产力; 气象灾害; 粮食生产
中图分类号: S162.5+3 文献标识码: A

昆明位于中国气候的脆弱带, 同时受到东亚、西南两支季风进退异常和明显年际变化的影响, 气候变率极不稳定, 气象灾害频繁发生[1]。云南是一个农业省, 目前农业生产仍处于 '靠天定年成 '的发展时期, 任何气候变化都将直接影响农业生产的平稳和持续发展, 进而对边疆经济发展、社会稳定、脱贫致富奔小康战略构成严重威胁。加强气候变化对农业特别是粮食生产影响的研究, 是十分重要的。

1 昆明近50年气候及气候生产力变化

随着昆明经济建设的飞速发展, 人口日益增多、生态环境逐渐恶化、耕地面积不断缩小。同时, 气候变化导致气象灾害频繁, 对环境也产生了严重影响, 单位土地面积承载人口强度也呈直线上升。要缓解上述问题最有效的途径之一就是提高自然生产力。因此, 首先必须弄清我省气候及其自然生产力的变化规律。

1.1 近50年的气候变化特征

为了减小气候分析中年际变化的高频振荡影响, 制作了1951～1997年昆明站气温(T)、降水(R)的5年滑动平均(图略)。由此可见, 气温从50～90年代经过了由高到低, 又由低到高的变化过程, 最低值出现在70年代, 80年代至今气温逐步上升, 已达到近50年的最高值。作者在分析近百年气象灾害变化规律时, 认为这种变化与70～80年代初期的强冷空气频繁活动, 以及90年代以来几乎很少有低温冷害的实况是十分吻合的[1]。降水的变化要复杂一些, 80

收稿日期: 1999-03-08; 修订日期: 1999-07-07
基金项目: 国家 '九五 '重中之重科技项目云南专题资助项目 96-908-05-08
作者简介: 秦 剑, 男, 1957年1月生, 学士, 高级工程师

年代中期以后基本还是少雨时期,几乎年年都有旱灾。

对于农业生产来说,冬半年和夏半年的 T、R 变化说明了雨热的不同配置,它对小春和大春粮食产量的形成关系更加密切。图 1a 是昆明冬半年(11～次年 4 月) T、R 5 年滑动平均值变化曲线,图中 T 的变化基本上与年变化的 T 相似,气温偏高的时段出现在 50 年代和 90 年代。冬半年降水分布,主要表现有 3 个少雨时段,分别出现在 50～60 年代、70 年代末期和 80 年代中后期至 90 年代初期。进一步分析可以发现,50 年代是高温少雨,60 年代低温少雨,70 年代低温多雨,80 年代初期低温多雨,到了 80 年代中期以后,气温逐渐升高,雨量在多年平均值附近缓增,到 90 年代中期进入了高温多雨时期。

图 1b 是夏半年(5～10 月)的 T、R 5 年滑动平均值变化曲线。气温变化大致与图 1a 相似,不同的是在 60 年代初和 80 年代初出现了高于平均值的高温时期。雨量的变化与年变化几乎一致,说明了夏季降水在全年雨量变化中是起主要作用的。同样在图 1b 中可以看到,从 50 年代末到 70 年代整个夏季都近于低温多雨时段,80 年代以后才进入了高温少雨期。

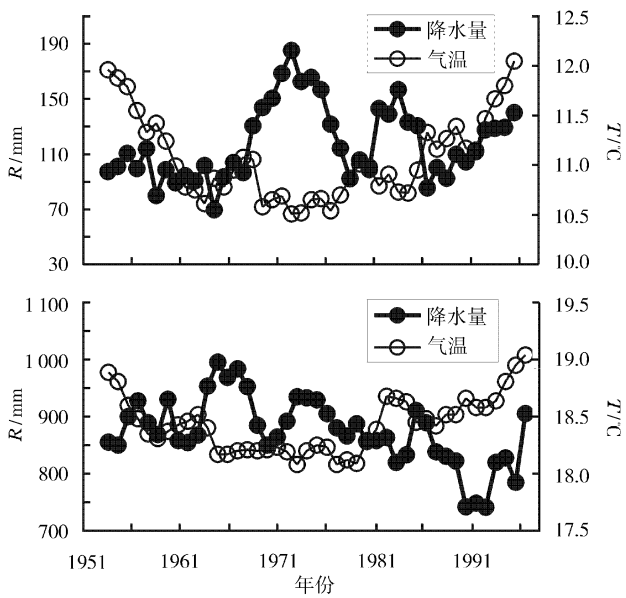

图 1 1951～1997 年昆明冬半年(a)和夏半年(b)气温、雨量 5 年滑动平均值变化

Fig. 1 Five-year moving averages of air temperature and rainfall for winter(a) and summer(b) half year (1951～1997)

上述分析表明,80 年代以来昆明粮食持续丰收多在增温和降水减少的背景下产生的。

1.2 气候生产力的变化

气候生产力是自然生产力的主要内容之一,其计算方法已有较多的研究成果。本文选用了李斯(Lieth)方法来计算作物气候生产力,并试图以此为寻求提高生产力的对策提供依据。

用文献[2]计算模型可算出逐年生产力 P_V。图 2 是昆明地区逐年 P_V 的变化曲线。由图可见,P_V 的年际变化很大,近 50 年来的最高、最低值都出现在 90 年代,它们分别是 1994 年的 14 942.9 kg/(hm^2 · a) 和 1992 年的 11 597.2 kg/(hm^2 · a)。图中的粗线是 5 年滑动平均值的变化,显然 50 年代 P_V 值较高,10 年平均值为 13 463.5 kg/(hm^2 · a),60 年代的 P_V 均值上升到 13 586.7 kg/(hm^2 · a),70 年代的 P_V 均值稍低于 60 年代为13 535.5kg/(hm^2 · a),80 年

代是近 50 年 P_V 的最低时段, 为 13 186.8 kg/(hm^2 · a)。进入 90 年代后, P_V 值又开始迅速回升, 1991～1997 年的 P_V 均值上升到 13 654.3 kg/(hm^2 · a), 为近 50 年来的 P_V 高值期。与全国相比, 我省的 P_V 10 年平均最低期在 80 年代, 而全国的 P_V 10 年最小均值出现在 70 年代[2]。

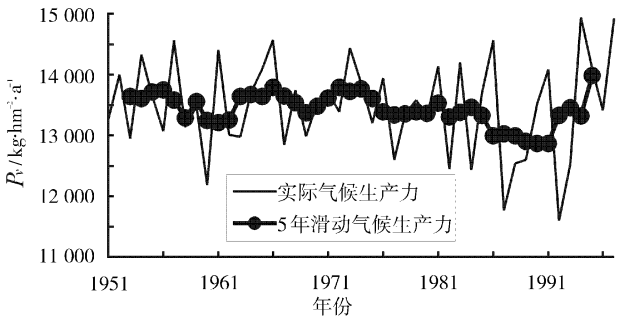

图 2　昆明市气候生产力逐年变化曲线

Fig. 2　Yearly changes of climatic productivity of Kunming

表 1 是气温或降水变化对作物气候生产力 P_V 的影响, 不难看出, 随着气温或降水发生变化, P_V 值随之改变。降水不变气温升高时的 P_V 递增幅度比气温不变降水增加时要大些。然而

表 **1**　昆明气候变化对 P_V 的单一影响

Table 1　Single climate element's impact on P_V for Kunming kg/(hm^2 · a)

	T/℃						
	− 3	− 2	− 1	0	1	2	3
P_V	12 216.9	12 681.1	13 132.3	13 582.6	14 017.4	14 438.8	14 841.8
	R/%						
	− 30	− 20	− 10	0	10	20	30
P_V	11 953.6	12 622.4	13 155.0	13 582.6	13 929.0	14 212.0	14 445.4

当降水和气温分别减小时, 降水的作用又比气温要大些。这里假定的气候变化, 突出了气温或降水单一因子变化的作用。但实际中经常是气温、降水都在同时变化, 如 "暖干型"、"暖湿型"、"冷干型" 和 "冷湿型"。

表 2 是气温、降水同时变化时气候生产力 P_V 值的计算结果。当出现气温升高 1 ℃、降水增加 10 % 的 "暖湿型" 时, P_V 值最大; 反过来, 当出现气温降低 1 ℃、降水减少 10 % 的 "冷干型" 时, P_V 值最小。

表 **2**　降水、气温变化对 P_V 的综合影响

Table 2　Comprehensive climate impact on P_V for Kunming　kg/(hm^2 · a)

R/%	T/℃	
	− 1	+ 1
− 10	12 746.5	13 546.6
+ 10	13 442.8	14 401.3

2　气象产量分析

我们利用昆明市 1970～1997 年逐年实际粮食单产值, 采取文献[3]的直线滑动平均模拟方法计算趋势产量, 然后根据 $Y = Y_t + Y_m$ 分离出气象产量值。式中 Y 是实际产量, Y_t 是趋势产量, Y_m 是气象产量。也可理解为 Y_t 是气象条件正常时农作物所达到的产量, 而 Y_m 是指受气候变化影响时农作物产量变化的波动成分。将气象产量 Y_m 除以趋势产量 Y_t, 就可以得到相对气象产量 Y_{mr}, 即 $Y_{mr} = Y_m / Y_t$。表 3 是昆明地区水稻、小麦相对气象产量 Y_{mr} 逐年变化值。对

水稻而言,我们以 $Y_{mr}< -0.05$ 为减产年,$Y_{mr}> 0.05$ 为丰收年,介于两者之间为平年。由表可见,农业气象丰收年有 1970、1972、1973、1975、1981、1982、1984、1994 年共 8 年。农业气象减产年有 5 年,即 1974、1976、1979、1986 和 1992 年,平均 5～6 年一遇。特别是 1974 年相对气象产量为-25.9 %,为减产年之最。它对应了 1974 夏季严重低温冷害造成了昆明及全省水稻大面积减产。

小麦逐年的相对气象产量变化幅度很大,从 42.3 %～-90.3 %,与水稻相比,小麦产量是极不稳定的。我们取 $Y_{mr}< -0.10$ 为减产年。在 28 年中,减产年有 1970、1974、1979、1985、1986、1989 年共 6 年,平均 4～5 年一遇。其中,1986 年的 $Y_{mr}= -90.3$ % 是历史上最严重的小春减产年。这是因为昆明等滇中地区出现"倒春寒"危害,小麦几乎无收。1989 年的 $Y_{mr}= -26.3$ %,也是由于滇中等地出现了"2.25"严重霜冻,致使小春减产。

表 **3** 昆明历年粮食作物相对气象产量(Y_{mr})

Table 3 Annual relative meteorological yield of Kunming

	1970 年	1971 年	1972 年	1973 年	1974 年	1975 年	1976 年	1977 年	1978 年	1979 年
小麦	-0.14	0.13	0.07	-0.03	-0.16	-0.02	0.11	-0.03	-0.06	-0.12
水稻	0.128	-0.022	0.064	0.219	-0.259	0.138	-0.075	-0.028	-0.021	-0.096
	1980 年	1981 年	1982 年	1983 年	1984 年	1985 年	1986 年	1987 年	1988 年	1989 年
小麦	0.03	0.05	0.17	0.42	0.22	-0.24	-0.90	0.06	0.07	-0.26
水稻	-0.033	0.055	0.081	-0.041	0.105	0.016	-0.101	0.023	0.011	-0.036
	1990 年	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年		
小麦	0.14	0.12	0.20	0.14	-0.03	0.04	-0.05	0		
水稻	0	-0.011	-0.08	0.027	0.05	0.025	0.017	0.02		

3 气象条件与粮食产量的关系

为了进一步揭示水稻、小麦产量与气温、降水的关系,我们分别计算了 5～10 月和 10 月～次年 5 月两个时段内它们之间的相关系数。

3.1 小麦气象产量与降水、气温的关系

由表 4 可见,昆明地区小麦气象产量与降水的关系十分密切,10 月～次年 3 月的降水量与气象产量呈正相关。其中 12～1 月、1～2 月的相关系数通过 = 0.01 显著水平检验,10～11 月、2～3 月的相关系数通过 = 0.1 的显著水平检验。显然,12～2 月的降水量多少是小麦产量形成的关键因子。4～5 月的相关系数是-0.287,也说明小麦成熟后期的雨水对产量是不利的。而≥10 ℃的积温与小麦的产量关系就没有降水那么密切了,相关系数很低未能通过显著水平检验。

表 **4** 小麦气象产量与降水、气温的相关系数(r)

Table 4 Correlation coefficients between meteorological yield of wheat and rainfall or temperature

	10～11 月	11～12 月	12～1 月	1～2 月	2～3 月	3～4 月	4～5 月
$r_{降水}$	0.490	0.319	0.557	0.576	0.418	-0.077	-0.287
$r_{气温}$	-0.157	-0.031	0.074	0.072	0.206	0.135	0.242

昆明 10 月～次年 5 月小春作物主要受干旱制约, 温度条件基本能满足小春作物生长, 且由于这一时段光照条件充分, 尤其是小春作物生殖生长期正处于全年光照最充足的时段, 光温有一定的补偿作用, 故小春作物与≥10 ℃积温的相关性不显著。

3.2　水稻气象产量与气温、降水的关系

水稻气象产量与气温(≥10 ℃的积温) 的关系都是正相关(见表 5), 其中 7～8 月的相关系数最大, r = 0.294, 表明此时它对气温敏感。降水与水稻气象产量的关系不很密切, 相关系数都很小。总的来说, 水稻气象产量与气温、降水的相关系数均没有通过显著水平检验。昆明地处滇中高原, 海拔多在 1 600～1 900 m 之间。近年由于薄膜育秧等高新技术的推广, 水稻栽种节令明显提前, 有效地利用了 5 月份的高温、光照充分的气候资源, 使整个水稻生育期间温度条件都处在适宜温度的下限指标内。温度增高, 更有利产量形成, 故产量和气温是正相关。5～10 月虽属雨季, 但降水特点是阵性降水多, 夜雨多, 连阴雨少, 即使在雨天, 高原的散射光也在光补偿点之上, 水稻仍能正常进行光合作用, 所以降水多少并非产量形成的关键因子。昆明水稻产量的关键因子是最佳移栽期(4 月中旬至 5 月上旬) 是否有水可供水稻移栽。

表 **5**　水稻气象产量与降水、气温的相关系数(r)

Table 5　Correlaton coefficients between meteorological yield of rice and rainfall or temperature

	5～6 月	6～7 月	7～8 月	8～9 月	9～10 月
$r_{降水}$	0.010	0.069	0.076	-0.070	-0.221
$r_{气温}$	0.072	0.095	0.294	0.224	0.194

4　气象灾害对粮食产量的影响

据有关专家计算分析, 近 40 年来自然灾害对云南农业造成的直接经济损失高达 220 多亿元人民币, 其中气象灾害损失就有 150 多亿元[4], 占总数的 68.2 %。

图 3 是全国和云南省农业气象灾害对比, 图中可见云南干旱、洪涝、冷害、风雹这 4 种主要灾害各占 43 %、23 %、19 % 和 15 %, 与全国相比, 干旱、洪涝分别少 15 和 5 个百分点, 但低温冷害却提高了 3 倍还多, 风雹灾害也增加了 50 %。这说明受到东亚和西南两支季风影响, 位于低纬度高原地区的云南省, 旱涝灾害的强度比全国要轻一些, 低温冷害则要严重得多, 它们是云南农业生产中的主要自然灾害。

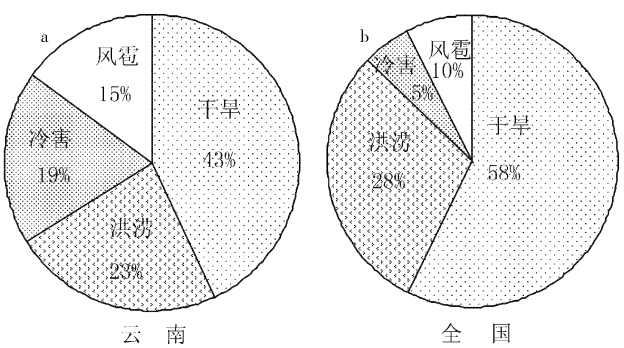

图 3　云南(a) 与全国(b) 的农业气象灾害

Fig. 3　Comparision of agrometeorological disasters between Yunnan(a) and the whole country of China(b)

4.1　旱涝冷暖指数计算

为了客观地划分旱涝冷暖年, 我们利用昆明的气象观测资料, 采取黄嘉佑提出的旱涝、冷

暖指数计算方案[5], 计算得到表 6 和表 7。在旱涝冷暖等级判别时, 根据昆明的情况, 我们分别取经验值 d= 3、5、10。表 6、表 7 分别是昆明地区近 50 年来的旱涝、冷暖年划分结果。可以看出, 昆明的气候变化是剧烈的。旱涝按 7 级划分, 正常年份仅占 21.3 %, 偏旱—大旱年就占 40.4 %, 偏涝—大涝占 38.3 %, 其中大旱和大涝年都是 10 年一遇。同样, 冷暖年的划分大致如此, 正常年占 25.5 %, 偏冷—极冷占 40.4 %, 偏暖—极暖占 34.1 %。要特别注意的是旱涝与冷暖划分在极值附近有所不同, 大旱只出现于 60 年代和 80 年代, 大涝则 70、80、90 年代均有发生。极暖年代与前面气候分析类似出现于 50 年代和 90 年代, 极冷年集中在 60 年代末到 70 年代, 每 5 年一遇。进入 80 年代中期至今已没有冷年出现, 更不见极冷年了。

表 **6** **1951～1997** 年昆明的旱涝年份划分

Table 6 Drought and waterlogging years from 1951 to 1997 for Kunming

旱涝等级	年份										比例(%)
大旱	1960	1963	1969	1984	1987						10.6
旱	1951	1955	1958	1980	1988	1989	1992	1993			17.0
偏旱	1956	1962	1967	1979	1982	1996					12.8
正常	1953	1954	1965	1966	1968	1972	1975	1978	1991	1995	21.3
偏涝	1952	1959	1964	1970	1977	1981	1990				14.9
涝	1957	1961	1971	1976	1985	1986					12.8
大涝	1973	1974	1983	1994	1997						10.6

表 **7** **1951～1997** 年昆明的冷暖年份划分

Table 7 Cold and warm years from 1951 to 1997 for Kunming

冷暖等级	年份												比例(%)
极冷	1967	1971	1974	1977									8.5
冷	1959	1962	1970	1972	1976	1978	1983	1985					17.0
偏冷	1961	1963	1964	1965	1982	1986	1992						14.9
正常	1957	1958	1966	1968	1969	1973	1975	1979	1980	1981	1989	1990	25.5
偏暖	1955	1960	1984	1991									8.5
暖	1954	1956	1987	1988	1993	1997							12.8
极暖	1951	1952	1953	1994	1995	1996							12.8

4.2 农业生产关键期的气象灾害影响

将 1970～1997 年的大春、小春作物粮食产量进行气象产量分离, 并且定义相对气象产量≤－ 5 % 为减产。在前后 28 年中, 昆明地区的小春减产年是 1974、1977、1979、1985、1986、1989、1994 年共 7 年, 大春减产年则是 1974、1976、1977、1979、1983、1986、1988、1992 年共 8 年。为了弄清减产的气象原因, 我们从粮食作物不同生长期对光、温、水的需求角度进行分析, 并在前面相关分析的基础上, 发现小春作物的主要气象灾害是 12～2 月的冬旱和 2～4 月的倒春寒天气, 大春作物的气象灾害则是 5 月干旱和 8 月低温。

对小春粮作而言, 冬季雨水的充沛与否以及后期春季气温高低, 都是小春粮食产量丰收的关键时期的关键因子。前者正值小麦分蘖—拔节—孕穗和蚕豆分枝—现蕾—开花期, 这时节农作物最需要一定量的降水, 大气、土壤干旱是最大的不利气象条件。后者, 小麦处于抽穗开花—灌浆乳熟期, 蚕豆正在结荚, 低温冷害是此时致命灾害。由表 8 可见, 7 个减产年中 5 年发生冬旱, 6 年出现倒春寒, 平均气象产量为－ 438.1 kg/hm^2, 平均相对气象产量约－ 23.4 %。受灾

最严重的是 1986 年, 前期受冬旱影响, 后面又遭倒春寒天气危害, 昆明地区小春实际单产仅有 225 kg/hm^2。

在整个大春作物生长期, 5 月和 8 月前后的气象条件好坏是产量形成的关键。大春的主要粮作水稻、玉米的栽插播种就在 5 月, 此时雨季是否正常开始, 关系到大春产量的基础。而 8 月则是水稻拔节孕穗—抽穗扬花和玉米孕穗抽雄—吐丝灌浆期, 此时作物对气温极为敏感, 最怕低温寡照。在表 9 中的 8 个大春减产年中可以看到, 有 6 年是 5 月少雨干旱, 8 月低温也出现了 6 次。这 8 个减产年平均气象产量达 - 415.8 kg/hm^2, 平均相对气象产量为 - 10 %。大、小春相比, 大春受灾的单产量似乎比小春轻, 但是由于大春产量是全年粮食总产的主要部分, 播种面积大, 单产上的小波动都会造成总产上的巨大损失。

表 8　1970～1997 年小春作物减产年与农事关键期的气象灾害

Table 8　Yield reduction years for summer crops and corresponding weather disasters during the growing season from 1970 to 1997

减产年份	气象产量 (kg/hm^2)	相对气象产量(%)	农事关键期出现的气象灾害
1974	- 466.3	- 25	冬旱、倒春寒
1977	- 90.4	- 5	倒春寒
1979	- 258.7	- 14	冬旱
1985	- 257.0	- 14	冬旱、倒春寒
1986	- 1590.4	- 88	冬旱、倒春寒
1989	- 179.7	- 9	冬旱、倒春寒
1994	- 224.3	- 9	倒春寒

4.3　主要农业气象灾害

我们已经知道干旱和低温冷害是昆明粮食生产关键时期的主要气象灾害, 这里将重点对 5 月干旱、冬旱、倒春寒和 8 月低温进行简要分析。

4.3.1　5 月干旱和冬旱

昆明是典型的季风气候, 全年降水的 88 % 集中在雨季(5～10 月), 干季(11～4 月) 降水稀少, 只有年雨量的 12 % 左右[6]。同时, 年雨量的多少与季风的关系十分密切。

表 9　1970～1997 年大春作物减产年与农事关键期的气象灾害

Table 9　Yield reduction years for autumn crops and corresponding weather disasters during the growing season from 1970 to 1997

减产年份	气象产量 (kg/hm^2)	相对气象产量(%)	农事关键期出现的气象灾害
1974	- 813.9	- 22	8 月低温
1976	- 256.6	- 7	8 月低温
1977	- 387.8	- 10	5 月干旱、8 月低温
1979	- 353.3	- 9	5 月干旱
1983	- 291.9	- 7	5 月干旱、8 月低温
1986	- 373.2	- 8	5 月干旱、8 月低温
1988	- 278.3	- 6	5 月干旱
1992	- 571.7	- 11	5 月干旱、8 月低温

每当夏季风正常时, 昆明雨季在 5 月 20 日前后开始, 对大春作物十分有利。但是, 夏季风的年际变化大, 经常推迟建立, 造成昆明雨季开始晚, 出现 5 月干旱, 大春作物不能适时栽播。从 1951～1999 年, 5 月干旱有 23 次, 差不多每 2 年就有 1 次 5 月干旱。进入 90 年代以来, 由于气温升高、雨水减少, 几乎年年都有不同程度的 5 月干旱发生。

冬季(12 月～次年 2 月) 是昆明全年降水量最少的时节, 它的特点是气温低、蒸发小、土壤底墒足、光照充足, 农业用水有保证。即使冬季降水比常年偏少, 也不会造成大的旱灾。只有当前期夏秋降水偏少干旱, 冬季也露旱象, 才有可能冬旱成灾危害小春作物。从昆明近 50 年来的气候变化来看, 昆明主要冬旱只发生了 9 次, 约 5 年多出现一次。

4.3.2　倒春寒与 8 月低温

倒春寒是春季 2～4 月, 天气回暖后出现的强冷空气过程。8 月低温是指 7 月下旬到 8 月这段时间出现的连续几天低温或连阴雨天气。

50 年代以来, 无论是昆明气温年变化, 还是气温夏半年变化(图 1b), 都可以发现 60 年代

中期以前气温偏高, 昆明很少低温冷害。气温变化最低的 60 年代后期到 80 年代中期, 昆明有 9 次较强的 8 月低温天气过程。80 年代后期到 90 年代, 由于气候变暖, 气温一直处于上升期, 8 月低温似乎绝迹了。

倒春寒天气的情况要复杂的多。这是因为大的气候背景变化虽然对冷空气发生的频率、强度有影响, 但 3～4 月正是大气环流季节转换期, 天气冷暖变化极不稳定, 很容易出现倒春寒。1951～1999 年, 昆明共发生大、小倒春寒天气过程 40 次, 其中严重的有 9 次。统计 50～90 年代的分布表明, 80 年代以前倒春寒天气除 50 年代略少外, 其他年代都相差不大, 只是进入 90 年代以来昆明的倒春寒才明显减少。显然, 这与 90 年代的持续升温有关。由图 2 也可以看到, 90 年代冬半年的气温一直高于 50 年平均值且逐渐上升。

5 结 语

昆明与全球一样, 气候变暖已成事实。气候变暖预测及其对策研究是当前及今后气象学家科研的主流方向。尽管不少国际权威科研机构和专家们认为, 气候变暖对全球的经济是弊大利小, 甚至对有些地区可能带来灾难[7]。但是, 我们应该认真分析气候变暖给昆明带来的利弊。自 80 年代气候变暖以来, 昆明粮食已连续 10 年丰收, 60～70 年代造成水稻严重减产的“8 月低温”已不见出现, 热区农业气候资源面积逐步扩大。由于连续暖冬对农作物越冬更为有利, 但病虫害也日趋严重。加强气候变暖对昆明农业影响的研究, 可以寻求对策克服因此造成的不利影响, 更能抓住机遇, 充分有效地利用这一新生农业气候资源, 保持昆明农业持续、稳定发展。

气候变化对农业粮食产量的影响是一个极端复杂的问题, 本文研究仅是初探, 不少问题有待深入研究。

致谢: 张茂松先生协助资料统计计算, 特此感谢。

参考文献:

[1] 秦 剑. 农业气象灾害分析[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(3): 139～145
[2] 高素华. 中国农业气候资源及主要农作物产量变化图集[M]. 北京: 气象出版社, 1995. 17～18
[3] 杨继武. 农业气象预报和情报[M]. 北京: 气象出版社, 1994. 247～288
[4] 谢应齐, 杨子生. 云南省农业自然灾害区划[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 1～2
[5] 黄嘉佑. 北京地区旱涝与太阳活动的关系分析. 天地生综合研究进展[M]. 北京: 中国科学科技出版社, 1989. 342～348
[6] 秦 剑, 琚建华, 解明恩, 等. 低纬高原天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997. 14～25
[7] 骆继宾. 利用气候变暖趋势大力发展黑龙江省的粮食生产[J]. 气候与环境研究, 1997, 2(1): 23～31

A STUDY ON FOOD-CLIMATE CHANGE RELATIONSHIP IN KUNMING

QIN Jian
(Agrometeorological Center of Yunnan Province, Kunming　650034)

Abstract: Analysis is performed on the features of climatic productivity and the impacts of climate change air temperature and rainfall on agricultural production mainly wheat and rice in the past 50 years in Kunming. Results show that precipitation during Dec. to next Feb. is critical to wheat growth and accumulated temperature of ≥10 ℃ plays a more important role than rainfall for rice production. The time period when weather disasters restricting agricultural production of Yunnan Province happened is diagnosed with the aid of calculated annual dry and warm indices and it is indicated that the major weather for crops sown in late autumn are drought during Jan. to Feb. and cold from Feb. to April, and for those sown in late spring are drought in May and cold from July to August.

Keywords: climate change; climate productivity; weather disaster; food production