

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2020.04.003

四川省小麦生长季农业气候资源的时空分布特征

张玉芳^{1,2,3}, 吴冰洁⁴, 陈超¹

1. 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 成都 610072;
2. 南方丘区节水农业研究四川省重点实验室, 成都 610066;
3. 四川省农业气象中心, 成都 610072;
4. 雅安市气象局, 四川 雅安 625000

摘要: 基于四川省盆地及攀西小麦种植区 125 个气象站点 1961—2017 年气象资料 and 全省农区 24 个小麦农业气象观测站生育期资料, 研究四川小麦种植区域农业气候资源的分布特征。结果表明, 四川小麦种植区域光、温、水气候资源存在较大的区域分布差异。平均温度由南至北逐渐降低, 在小麦生育阶段的平均温度总体均呈升高的趋势。全生育期平均日较差攀西农区大都在 11~18 °C 之间, 盆地 5~9 °C。全生育期总辐射量盆地呈现从西北到东南逐步减小的趋势, 攀西农区呈现从西南到东北逐步减小的趋势。全生育期参考蒸散量攀西农区最多, 最少区域集中在盆南及盆东大部。缺水攀西农区多于盆地, 各生育阶段参考蒸散量和缺水量变化趋势总体正常。总体来说, 四川小麦生育期热量资源盆地和攀西农区均是南部高于北部, 而四川农区光照资源相对较少。

关键词: 小麦; 农业气候资源; 时空分布; 参考蒸散量

中图分类号: S166

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2020)04-0025-13

小麦是四川省主要粮食作物, 拥有悠久的栽培历史且种植范围宽广。四川省小麦总产量 413.4 万 t, 播种面积为 108.8 万 hm^2 ^[1], 分别占全省粮食播种面积和产量的 12% 和 17%, 在四川省粮食生产中占有重要地位。农作物生产与自然环境密切相关, 对气候条件的依赖性极高。参考作物蒸散量的增加或减少会造成冬小麦生长季内需水量的相应变化^[2], 四川盆地在冬小麦生长季内发生冬干和春旱概率相对较高, 缺水会导致小麦营养生长和生殖发育失衡, 最终造成产量损失^[3], 生长季内较高的光照和温度日较差对小麦生长发育和产量形成有利^[4]。气候变化引起气温、光照、降水等气候要素的变化, 改变了热量、光能、水分等农业气象资源的时空分布格局, 不仅对农业生态环境及农作物生长发育和产量的形成造成显著影响^[5-7], 还关系到国家粮食生产和安全供应。

前人的研究多从季节、年的降水量、气温、日照时数等气象因子, 分析研究东北、西南、江淮以及各省市等近几十或上百年的农业气候资源变化特征, 如刘志娟等^[8]基于气候变化背景下, 分析了东北 3 省全年及温度生长期内的平均气温、 ≥ 10 °C 积温、降水量、日照时数和参考作物蒸散量等农业气候资源的变化特征。董旭光等^[9]利用山东省近 50 年气象逐日观测数据分析了该区域冬小麦和夏玉米生长季光、热、水等农业气候资源的时空变化特征。周伟东等^[10]应用滑动 t 检验、Yamamoto's 检验、功率谱等数理统计方法分析了上海 1873—2006 年气温、降水、辐射、日照等资料。但针对具体作物且分生育期分析其农业气候资源

收稿日期: 2018-11-28

基金项目: 四川省科技厅应用基础研究项目(2018JY0341, 2018JY0643); 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室项目(2018-重点-05-01)。

作者简介: 张玉芳(1981—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事灾害风险评估及区划的研究。

通信作者: 陈超, 博士, 研究员。

特征分布的相关研究较少,为此,本文利用四川省 125 个气象站 1961—2017 年的逐日气象观测数据,同时结合四川省小麦的生育期资料,分析了四川省小麦全生育期和播种—拔节期、拔节—乳熟期、乳熟—成熟期 3 个分生育期的平均气温、气温日较差、总辐射量、参考作物蒸散量、缺水率 5 个要素的空间分布特征,研究四川省小麦生育期农业资源的时空规律,对指导该区域未来小麦农业生产、提高气候资源利用效率、实现持续增产具有重要意义。

1 资料来源与研究方法

1.1 数据来源

本文所用气象数据来自四川省气象局,四川省盆地及攀西小麦种植区 125 个气象观测站 1961—2017 年的平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数、平均相对湿度和平均风速的逐日数据;小麦生育期的数据来自四川省 26 个小麦农业气象观测站 1981—2017 年的观测资料。

1.2 研究区域

四川省小麦种植区主要为盆地及川西南山地,由于川西南山地小麦种植主要集中在攀西农区,故以下分析均采用攀西农区进行分析。通过种植区形成的现状以及地理地貌类型,现将四川省划分为 7 个小麦种植区及 1 个非种植区(图 1)。利用农业气象试验站和农业气象观测站观测报表的小麦生育期资料,同时结合大田生产调查结果,计算出各种种植区小麦不同生育阶段及全生育期的时间(表 1)。

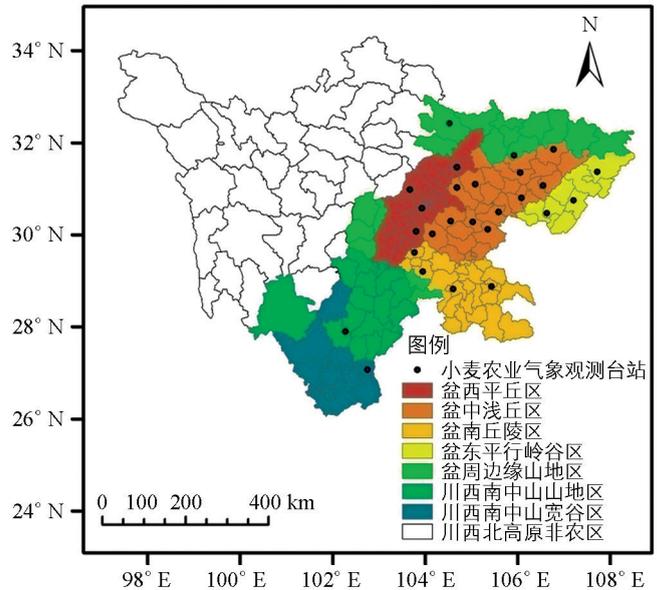


图 1 四川省小麦种植分区图

表 1 四川省小麦不同区域生育期时间划分

区域	播种	拔节	乳熟	成熟
盆西平丘区	11 月上旬	2 月中旬	4 月下旬	5 月中旬
盆中浅丘区	11 月中旬	2 月下旬	4 月中旬	5 月上旬
盆南丘陵区	11 月上旬	1 月下旬	4 月中旬	4 月下旬
盆东平行岭谷区	11 月上旬	2 月上旬	4 月下旬	5 月上旬
盆周边缘山地区	10 月下旬	2 月中旬	5 月上旬	5 月下旬
川西南中山山地区	11 月上旬	2 月中旬	4 月上旬	5 月下旬
川西南中山宽谷区	11 月上旬	1 月下旬	4 月中旬	4 月下旬

1.3 研究方法

1.3.1 有效降水量

有效降水量的计算方法^[11]采用了美国农业部土壤保持局的推荐方法,公式如下:

$$P_i = \begin{cases} P(4.17 - 0.2P) & P < 8.3 \text{ mm/d} \\ 4.17 + 0.1P & P \geq 8.3 \text{ mm/d} \end{cases}$$

P_i 为有效降水量, mm/d, P 为总降水量 mm/d。

1.3.2 总辐射量

本文采用公认效果较好的 Angstron 方程由逐日日照时数推算总辐射量,具体计算公式可参考黄琰等在《多尺度天气数据生成模型研究》一文中的详细分析^[12]。

1.3.3 参考蒸散量

根据FAO推荐的Penman-Monteith公式^[13-14]:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R - G) + 900\gamma \cdot u_2(E - e)/(T + 273)}{k + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

式中: R 是地表净辐射, $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; G 是土壤热通量, $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; T 为日平均气温, $^{\circ}\text{C}$; u_2 是高度在 2 m 处的风速, m/S ; E 为饱和水汽压, kPa ; e 为实际水汽压, kPa ; k 为饱和水汽压曲线斜率, $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$; γ 为干湿表常数, $\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$. 式中 R_n , Δ 和 γ 可通过公式计算, 其余项为气象站观测数据.

1.3.4 需水量

小麦生育期需水量利用FAO推荐的公式^[15]:

$$W = K_c ET_0$$

式中: W 是作物需水量, mm/d ; K_c 是作物系数. 由于四川省大部分地区的实际情况与上述公式中特定标准条件有所差距, 故王明田等^[16]根据四川省当地气候条件和土壤情况对 K_c 值进行了修正, 本文使用修正后的 K_c 值.

1.3.5 缺水率

缺水率为小麦各生育期需水量减去同期有效降水量的差值, 当需水量比有效降水量大时表现为缺水, 表明不能满足小麦对水分的需求, 若需水量比有效降水量小时则表示能满足小麦需水要求^[17].

1.3.6 气候倾向率

在计算变化趋势时, 利用最小二乘法, 建立样本 Y_t 的一元线性回归方程^[18]:

$$Y_t = kt + a \quad t = 1, 2, 3, \dots, n$$

其中, k 是回归系数, 以 k 的 10 倍作为气候倾向率.

2 结果与分析

2.1 小麦生育期热量资源的时空分布

2.1.1 平均温度

1961—2017年, 四川省农区小麦全生育期平均温度区域内平均值为 10.1°C , 盆地和攀西农区分别呈现由南至北逐渐降低的分布特点(图 2a). 近 50 年来小麦全生育期平均温度的变化趋势平均值每 10 年为 0.12°C ; 盆地及盆南局部区域全生育期平均温度呈下降趋势, 其余地区均呈升高的趋势.

从图 2(b)至(d)可以看出, 1961—2017年小麦播种—拔节期平均温度的分布和全生育期类似, 总体呈现南高、北低的分布特点; 拔节—乳熟期分布特征攀西地区呈现南高、北低, 盆地呈现南北高、中间低的分布特点; 乳熟—成熟期攀西地区呈现南高、北低, 盆地大部在 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$. 由于生育期长度的差异, 小麦各生育阶段的平均温度不同, 其中乳熟—成熟期平均温度最高, 播种—拔节期最低.

近 50 年来小麦播种—拔节期平均温度气候倾向率区域平均值每 10 年为 0.08°C , 整体呈升高趋势, 负值主要出现在盆东北及盆中部分区域; 拔节—乳熟期平均温度气候倾向率区域平均值每 10 年为 0.24°C , 负值主要出现在盆南局部; 乳熟—成熟期平均温度气候倾向率区域平均值每 10 年为 0.14°C , 负值主要出现在盆南局部. 由此可见, 1961—2017年研究区域内各生育阶段的平均温度总体均呈升高趋势, 在拔节—乳熟期升高速率最快(图 3).

2.1.2 气温日较差

1961—2017年, 四川省农区小麦全生育期平均日较差区域平均值为 8.9°C , 攀西农区大都在 $11\sim 18^{\circ}\text{C}$ 之间, 盆地 $5\sim 9^{\circ}\text{C}$ (图 4a). 近 50 年来小麦全生育期平均日较差的变化趋势区域平均值每 10 年为 -0.04°C ; 盆南及盆北局部区域全生育期平均日较差呈上升趋势, 其余地区呈下降的趋势; 攀西农区东部及南部部分区域呈现上升趋势, 其余为下降趋势.

从图 4(b)至(d)可以看出, 1961—2017年小麦各生育期平均日较差的分布在攀西地区呈现从西南到东北逐步减小的趋势; 在盆地农区播种—拔节期、拔节—乳熟期、乳熟—成熟期分布特征都是由南至北逐步降低. 由于生育期长度及时段的差异, 小麦各生育阶段的平均日较差不同; 播种—拔节期及拔节—乳熟期

区域内平均值为 8.0℃；乳熟到成熟期区域内平均值为 10.3℃。比较小麦各生育阶段平均日较差的分布情况可知，乳熟—成熟期平均日较差最大，播种—拔节期最小。

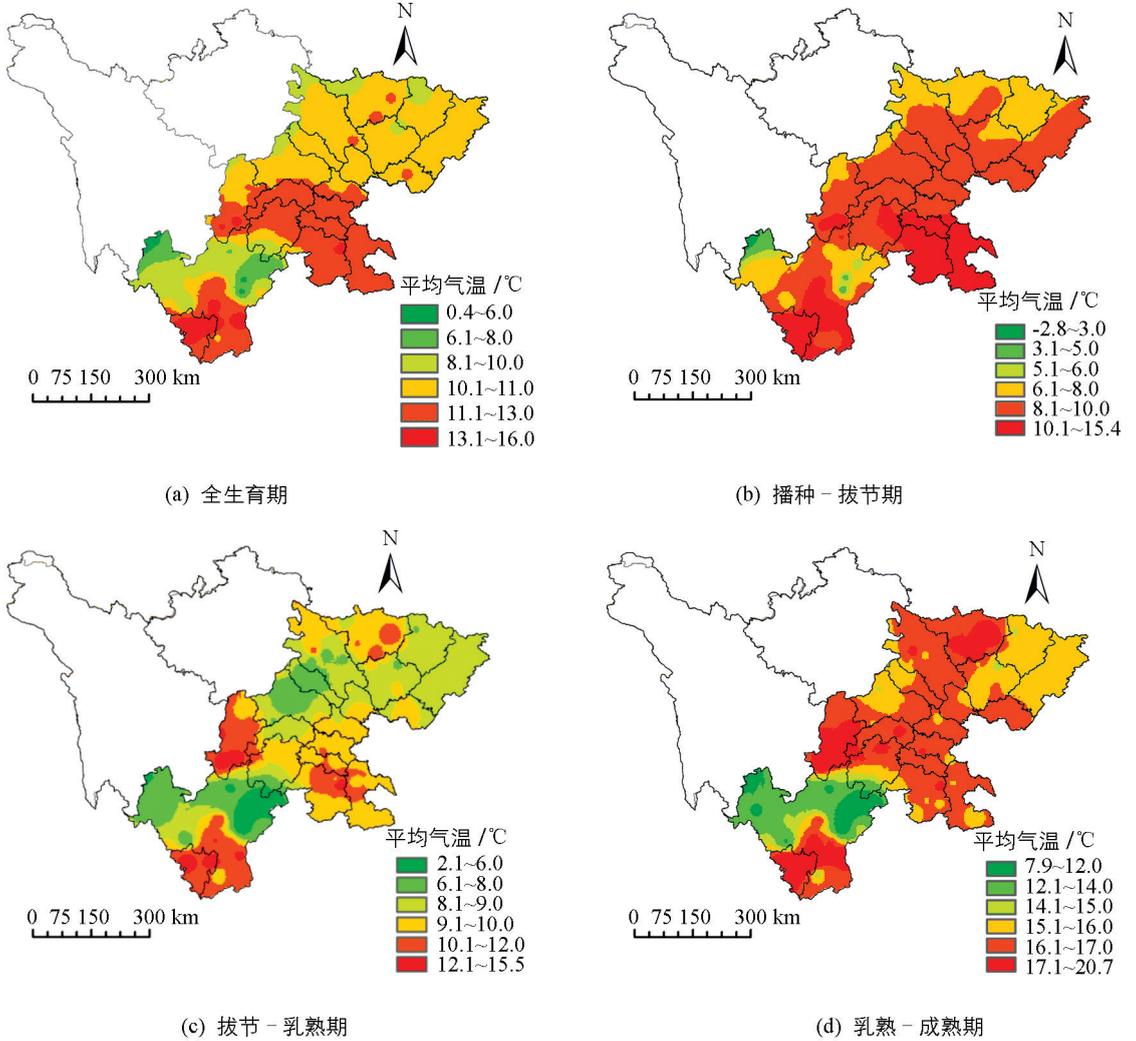
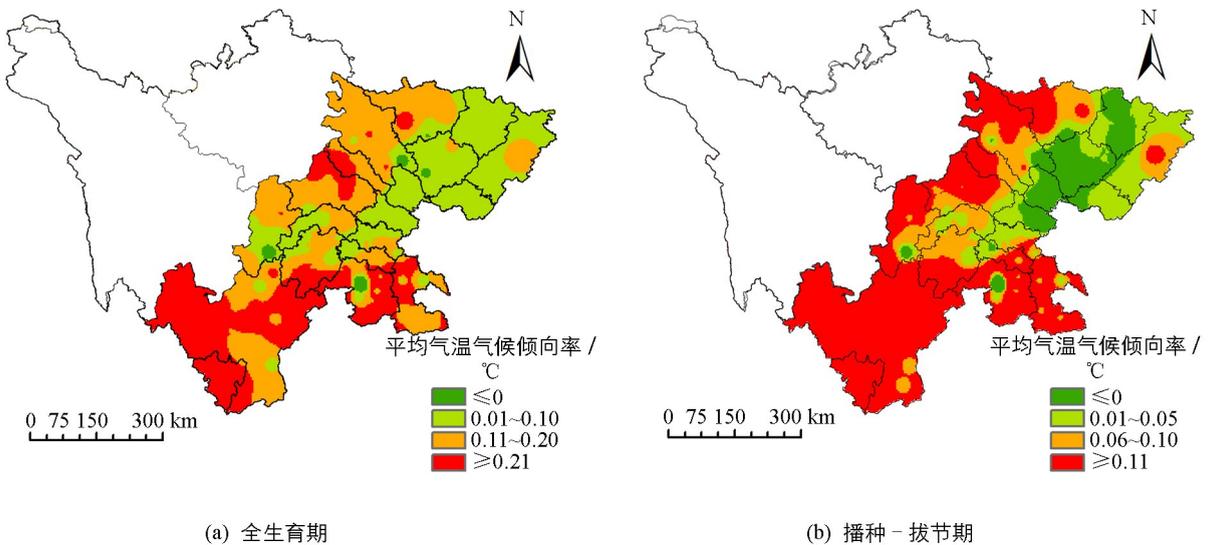


图 2 1961—2017 年四川省小麦生育期平均温度的空间分布



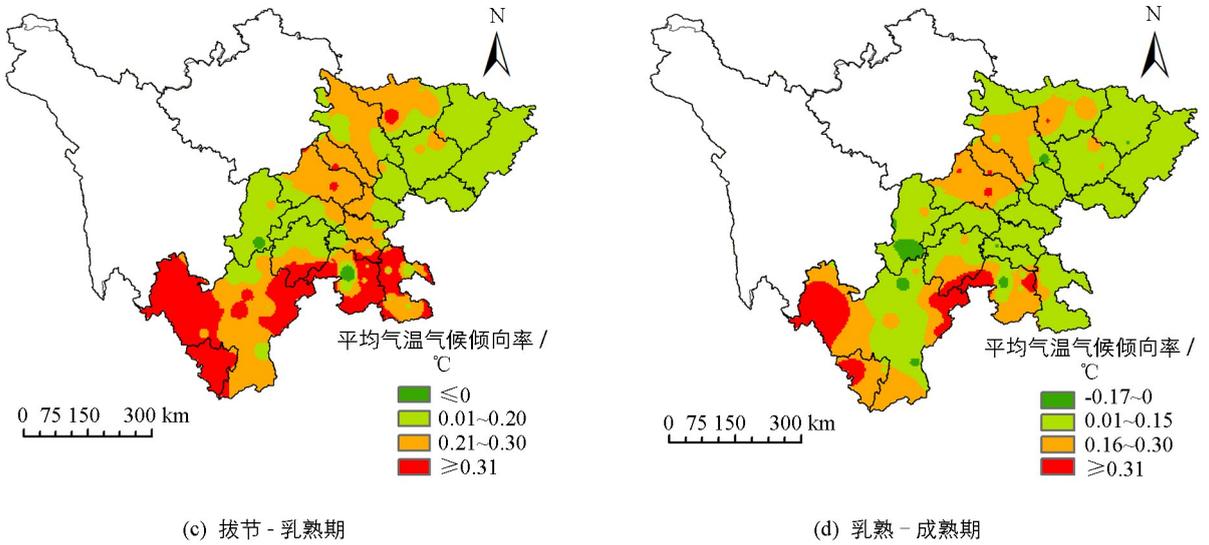


图 3 1961—2017 年四川省小麦生育期平均温度的气候倾向率空间分布 (以每 10 年计)

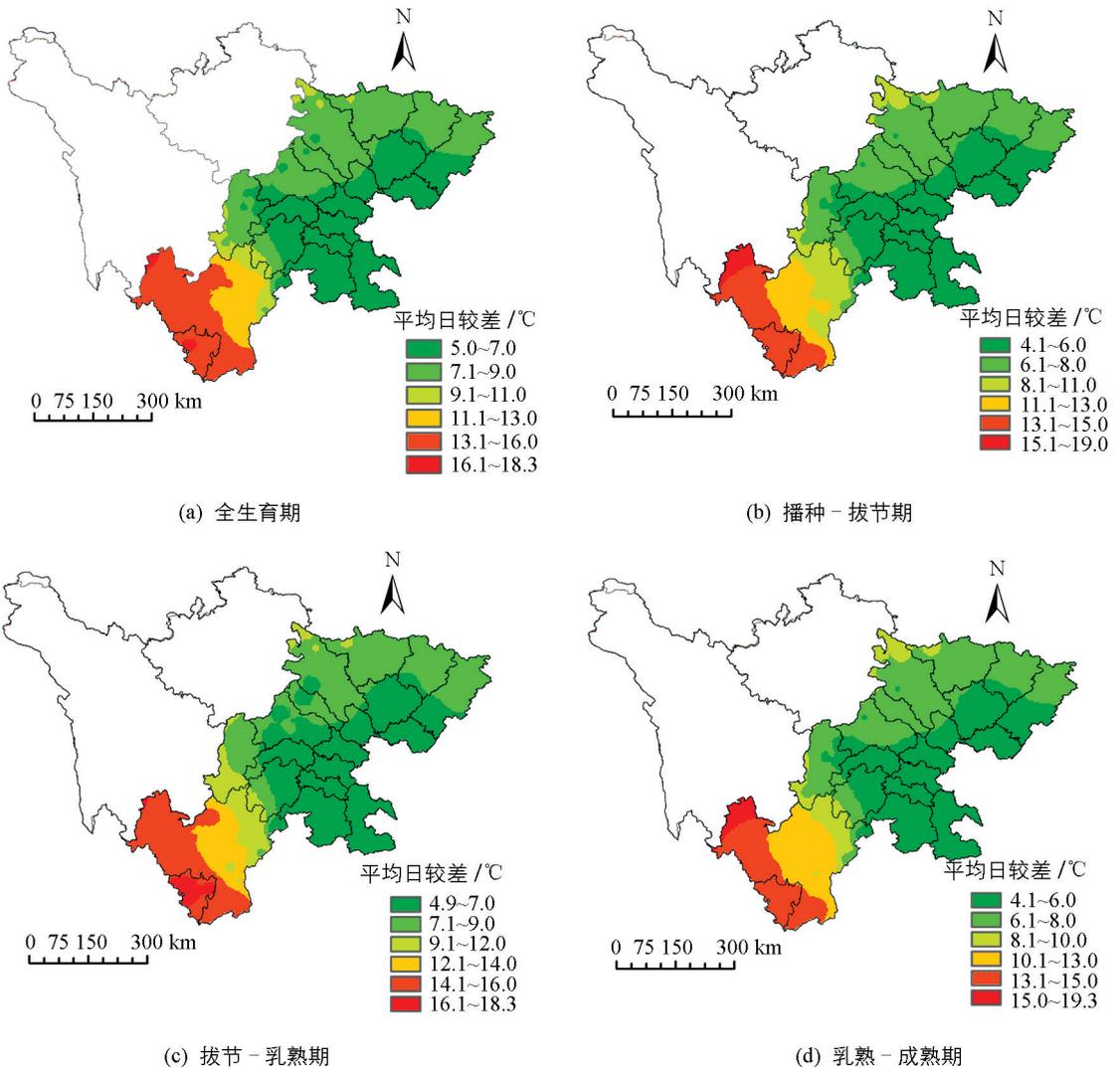


图 4 1961—2017 年四川省小麦生育期日较差的空间分布

近 50 年来小麦播种—拔节期平均日较差气候倾向率在区域内平均值每 10 年为 $-0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$, 整体呈降低趋势, 负值主要出现在盆地大部及攀西西部及南部部分区域; 拔节—乳熟期平均日较差气候倾向率在区域内平均值每 10 年为 $-0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$, 正值区主要出现在盆北及盆南局部; 乳熟到成熟期平均日较差气候倾向率区域内平均值每 10 年为 $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$, 负值主要为盆地南部、中部部分区域及攀西大部(图 5)。

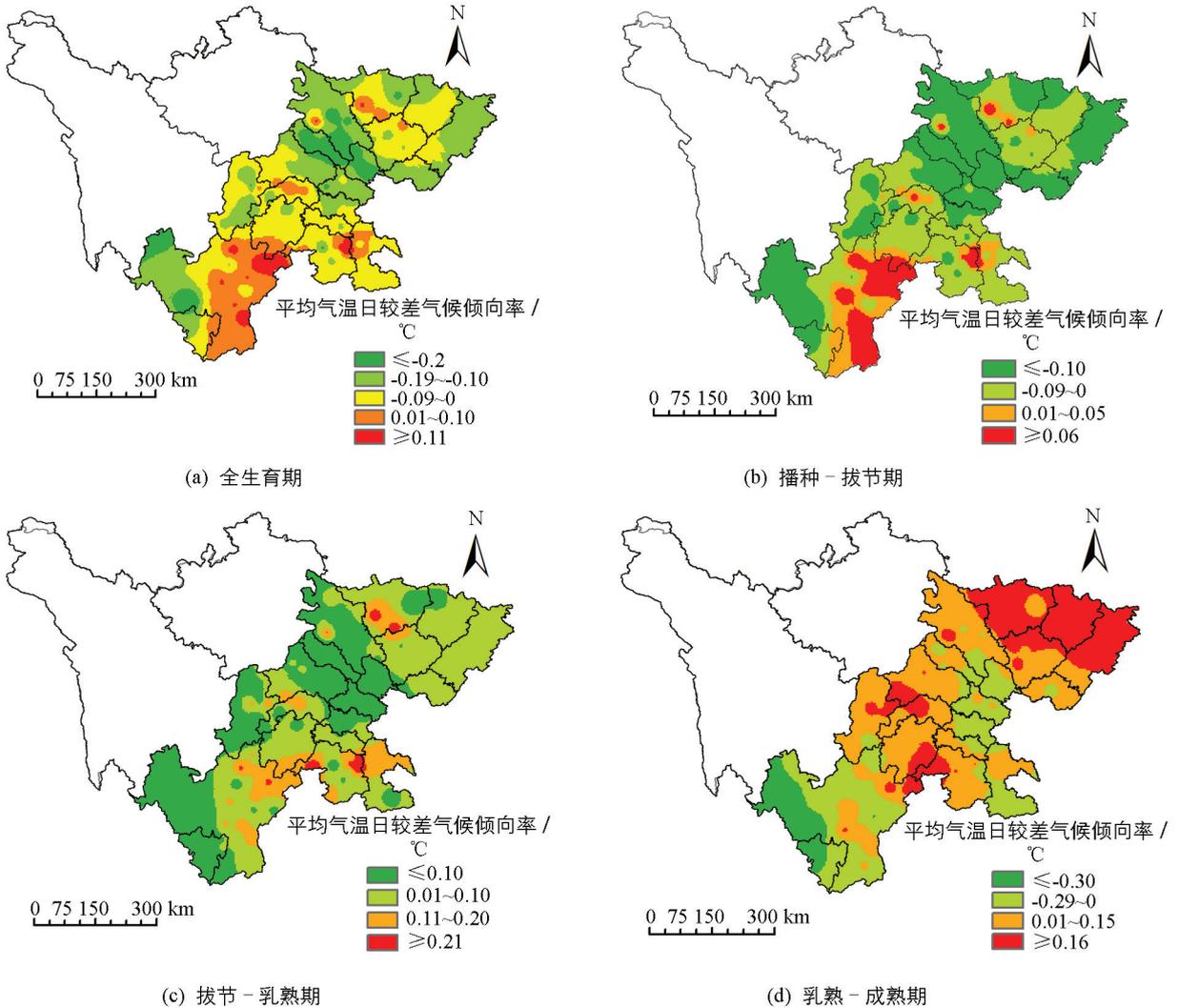


图 5 1961—2017 年四川省小麦生育期平均气温日较差的气候倾向率空间分布(以每 10 年计)

2.2 小麦生育期光资源的时空分布

1961—2017 年, 四川省农区小麦全生育期总辐射量平均为 $2\ 185\ \text{MJ}/\text{m}^2$, 盆地呈现从西北到东南逐步减小的趋势; 攀西农区总辐射量为 $2\ 300\sim 3\ 600\ \text{MJ}/\text{m}^2$ 之间, 呈现从西南到东北逐步减小的趋势(图 6a)。近 50 年来小麦全生育期总辐射量的变化趋势平均值每 10 年为 $-12.9\ \text{MJ}/\text{m}^2$; 盆地农区大部减少, 攀西大部增多。

从图 6(b)至(d)可以看出, 1961—2017 年小麦各生育期总辐射量呈现在攀西多、盆地少的分布特点。播种—拔节期盆西、盆北部分区域及攀西大部较多; 拔节—乳熟期攀西大部较多; 乳熟—成熟期攀西大部相对较高, 其次是盆地北部及西部部分区域。由于生育期长度及时段的差异, 小麦各生育阶段的总辐射量不同, 播种—拔节期总辐射量最大, 拔节—乳熟期总辐射量最小。

近 50 年来小麦播种—拔节期总辐射量气候倾向率平均值每 10 年为 $-9\ \text{MJ}/\text{m}^2$, 整体呈降低趋势, 正值主要出现在攀西大部农区; 拔节—乳熟期总辐射量气候倾向率平均值每 10 年为 $-2\ \text{MJ}/\text{m}^2$, 负值主要出现在盆地大部及攀西北部局部区域; 乳熟到成熟期总辐射量气候倾向率平均值每 10 年为 $-2.0\ \text{MJ}/\text{m}^2$, 负值区范围比拔节—乳熟期更大。由此可见, 1961—2017 年研究区域内各生育阶段的总辐射量略偏小(图 7)。

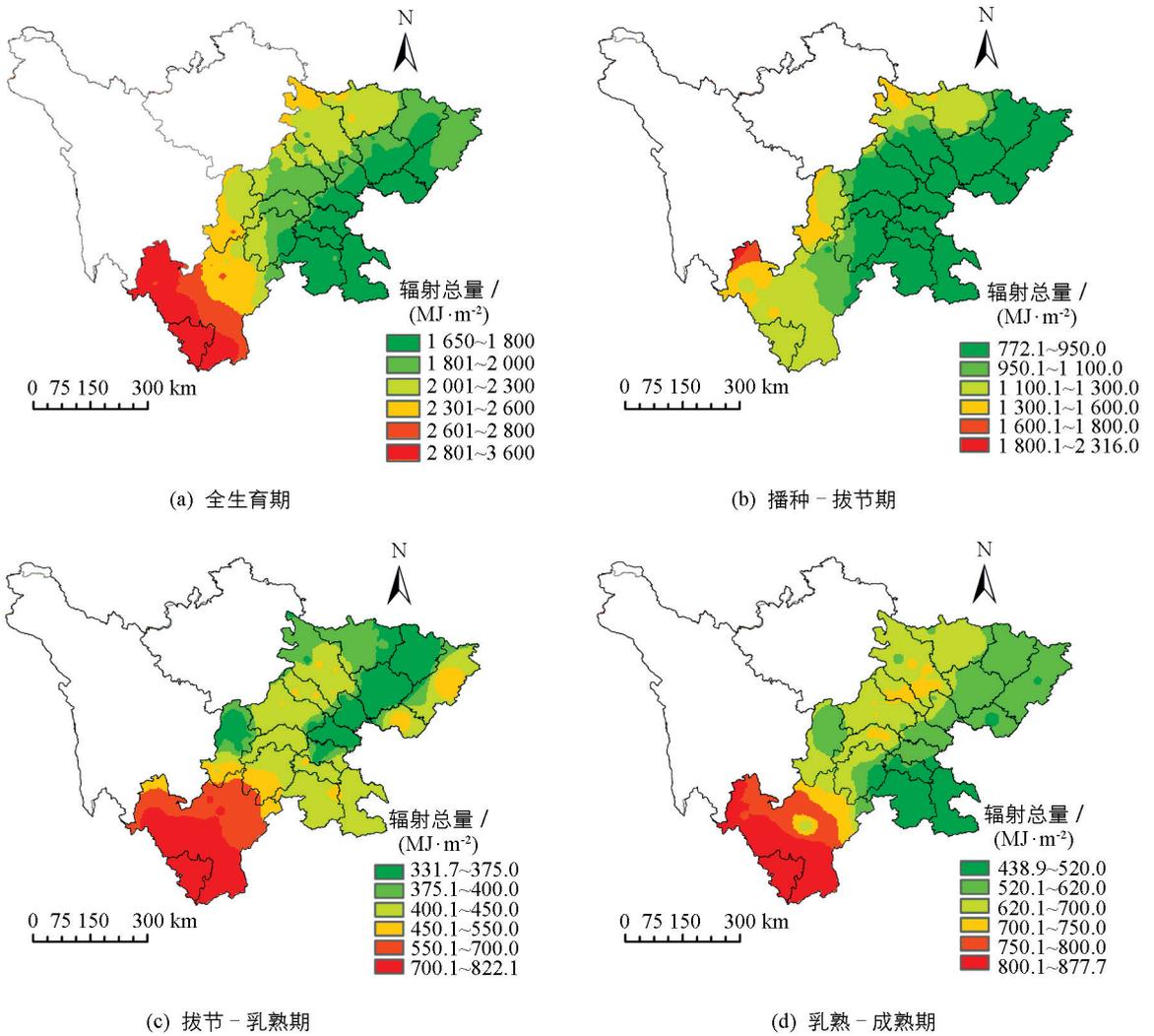
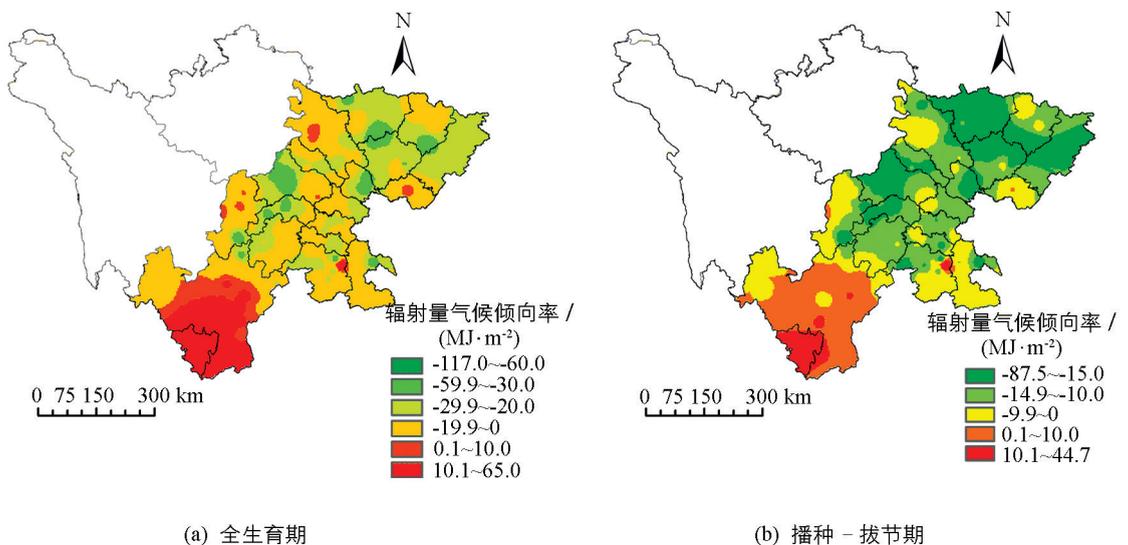


图 6 1961—2017 年四川省小麦生育期总辐射量的空间分布



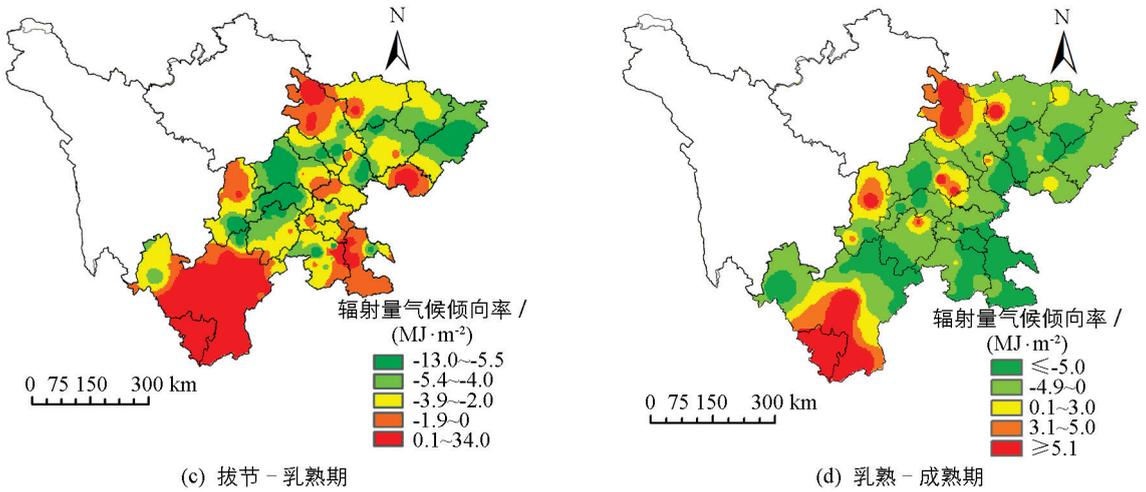


图 7 1961—2017 年四川省小麦生育期总辐射量的气候倾向率空间分布(以每 10 年计)

2.3 小麦生育期水资源的时空分布

2.3.1 参考作物蒸散量

1961—2017 年, 四川省农区小麦全生育期参考蒸散量区域内平均值为 474 mm, 攀西农区作物参考蒸散量最多, 最少区域集中在盆南及盆东大部(图 8a). 近 50 年来小麦全生育期参考蒸散量的变化趋势平均值每 10 年为 0.2 mm; 盆地农区大部呈现减少趋势, 攀西大部增多趋势明显.

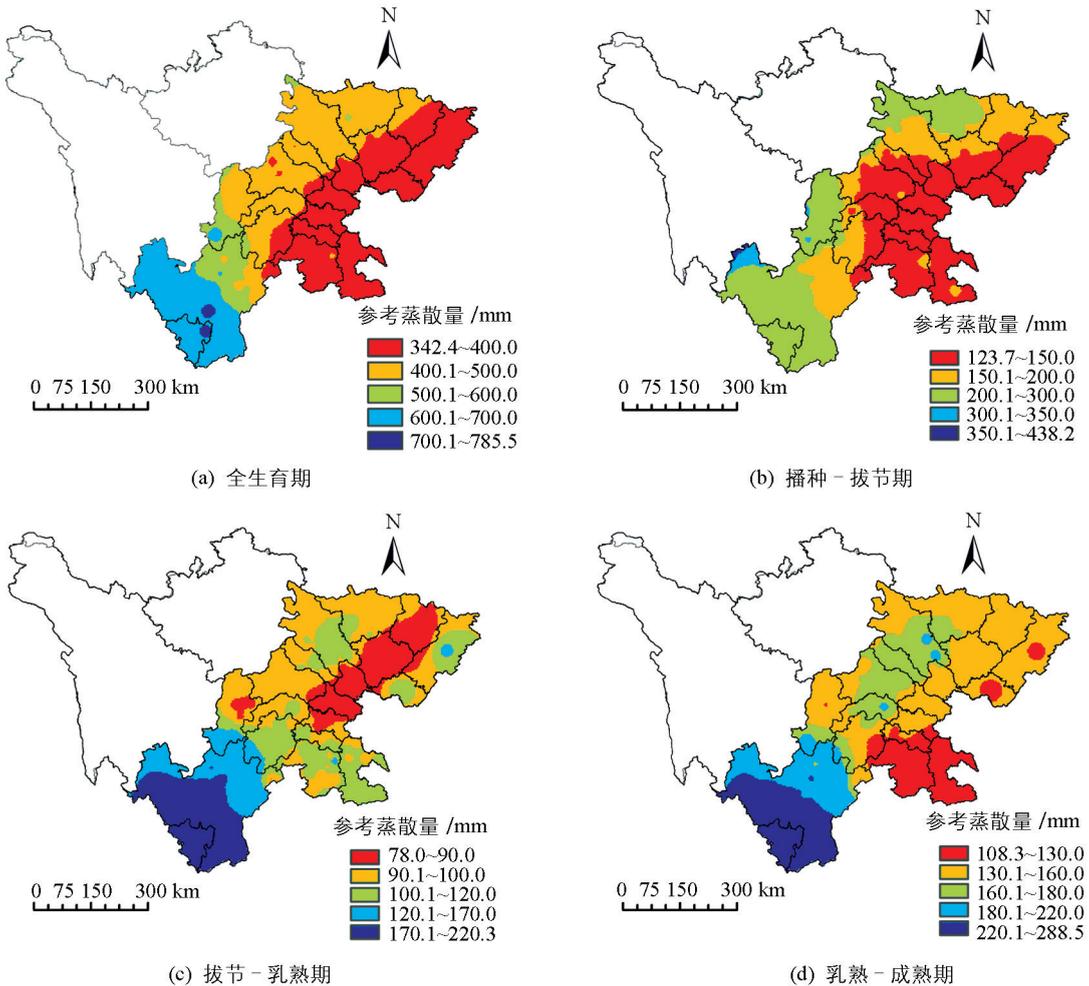


图 8 1961—2017 年四川省小麦生育期参考作物蒸散量的空间分布

从图 8(b)至(d)可以看出,1961—2017 年小麦各生育期参考蒸散量的分布在播种—拔节期盆地大部少于攀西农区;拔节—乳熟期作物参考蒸散量较小区域主要集中在盆东北及盆中局部,较大区域集中在攀西农区;乳熟—成熟期攀西农区值较大,较小值集中在盆南大部.由于生育期长度及时段的差异,小麦各生育阶段的参考蒸散量不同,播种—拔节期参考蒸散量最大,拔节—乳熟期参考蒸散量最小.

近 50 年来小麦播种—拔节期参考蒸散量气候倾向率平均值每 10 年为 -0.3 mm,盆地农区大部呈下降趋势,正值区域主要集中在攀西农区;拔节—乳熟期参考蒸散量气候倾向率区域内平均值每 10 年为 0.5 mm,负值主要出现在盆地大部,正值出现在攀西农区大部;乳熟到成熟期参考蒸散量气候倾向率区域平均值每 10 年为 -0.01 mm,正值主要分布在盆地西部、北部及攀西部分区域.由此可见,1961—2017 年研究区域内各生育阶段的参考蒸散量总体正常(图 9).

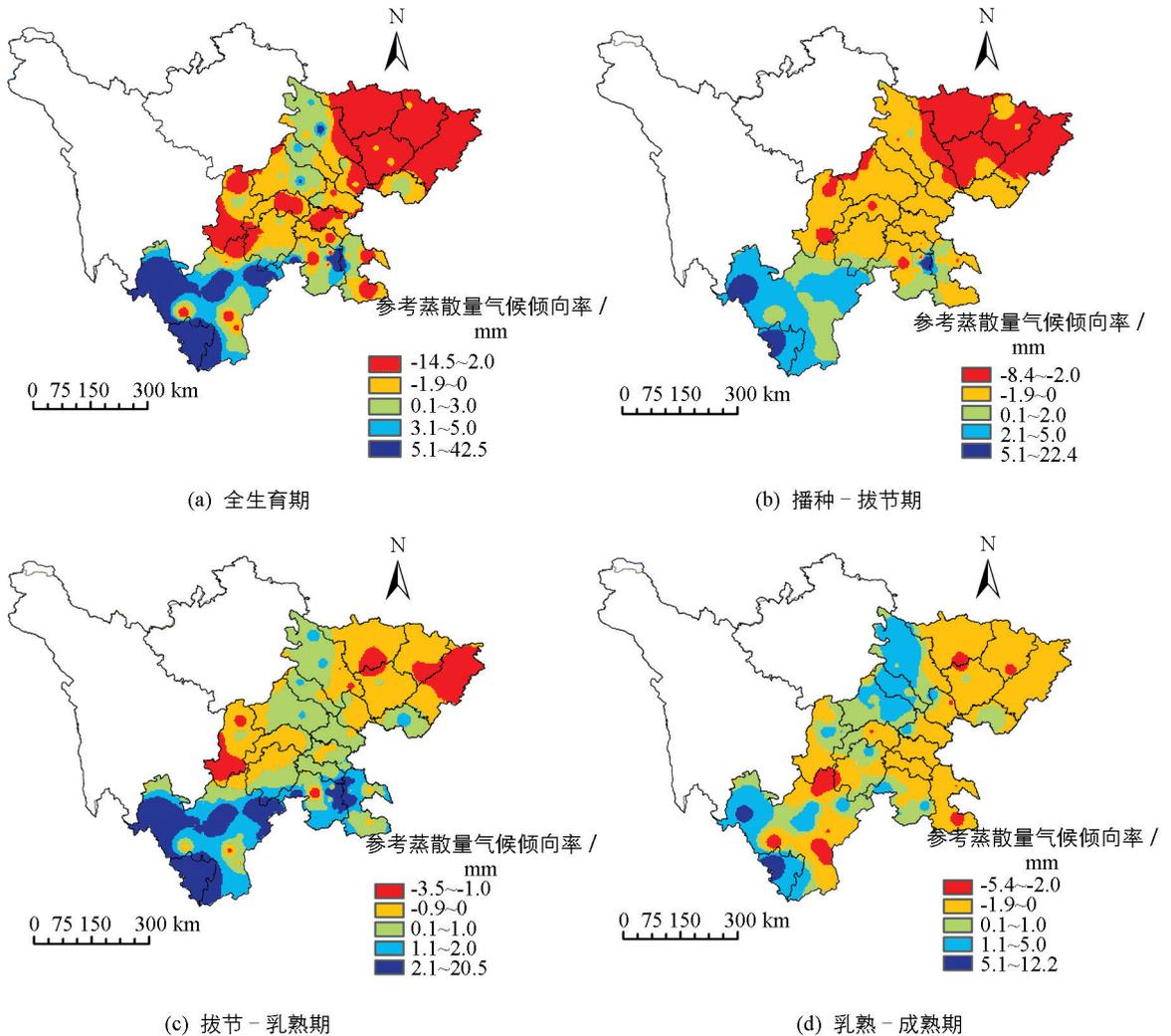


图 9 1961—2017 年四川省小麦生育期参考作物蒸散量的气候倾向率空间分布(以每 10 年计)

2.3.2 缺水量

1961—2017 年,四川省农区小麦全生育期缺水区域平均值为 426 mm,攀西农区作物缺水多于盆地(图 10a).近 50 年来小麦全生育期缺水量的变化趋势平均值每 10 年为 0.09 mm;农区除盆北、盆西

及盆南部分区域为负值,其余大部为正值。

从图 10(b)至(d)可以看出,1961—2017 年小麦各生育期缺水量的分布在播种—拔节期较小值集中在盆地大部,较大值在攀西北部局部区域;拔节—乳熟期作物缺水量较小区域主要集中在盆北、盆中及盆南局部,较大值区域集中在攀西;乳熟—成熟期攀西农区值较大,较小值集中在盆东北及盆西部分区域。由于生育期长度及时段的差异,小麦各生育阶段的缺水量不同,其中播种—拔节期缺水量最大,乳熟—成熟期缺水量最小。

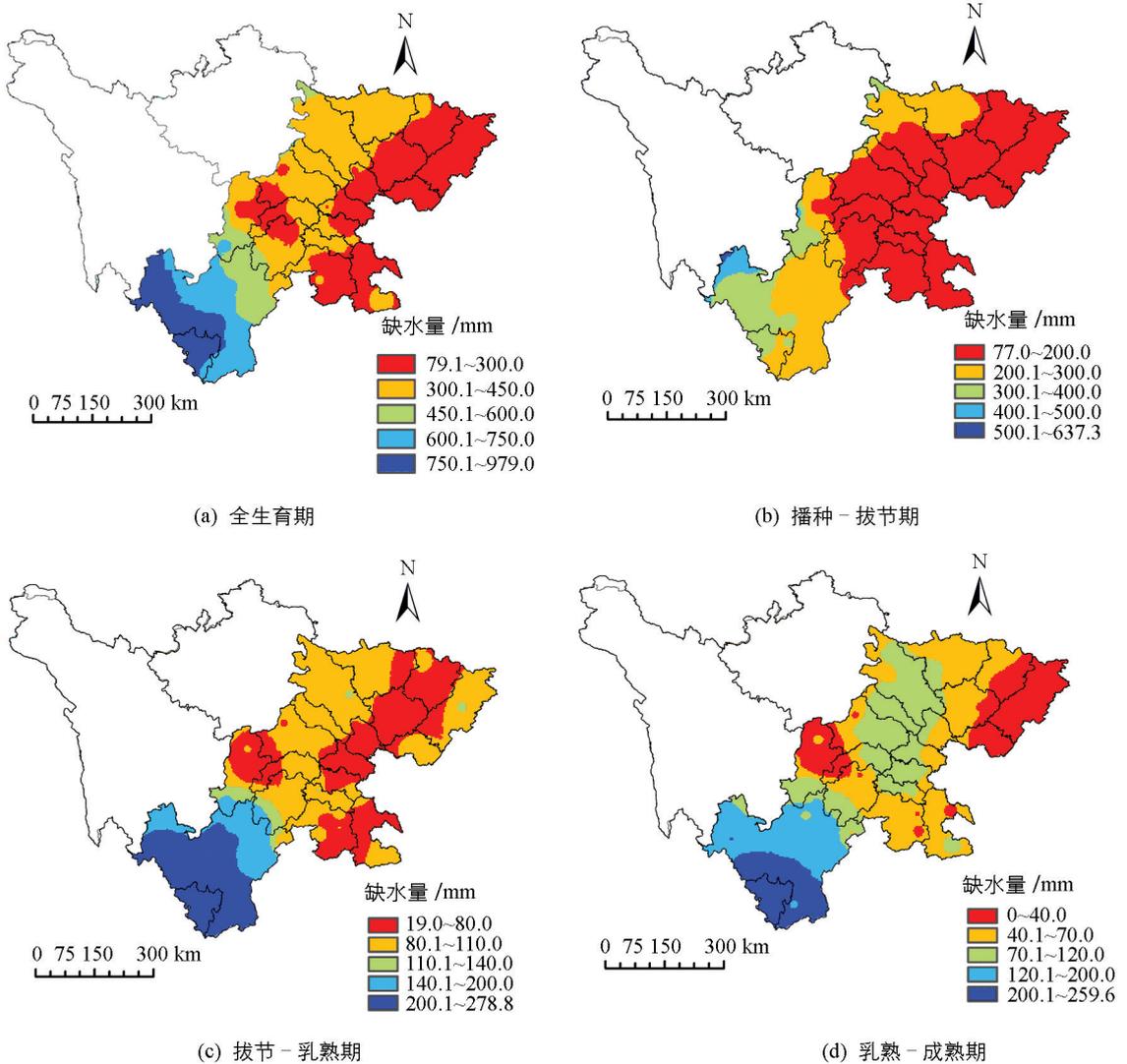


图 10 1961—2017 年四川省小麦生育期缺水量的空间分布

近 50 年来小麦播种—拔节期缺水量气候倾向率区域平均值每 10 年为 0.5 mm,农区除盆西、盆南及攀西大部为正值外,其余为负值;拔节—乳熟期缺水量气候倾向率区域平均值每 10 年为 -0.4 mm,负值主要出现在盆地大部区域;乳熟—成熟期缺水量气候倾向率区域平均值每 10 年为 0.03 mm,正值主要分布在盆地北部、中部及攀西西部及北部部分区域。由此可见,1961—2017 年研究区域内各生育阶段的缺水量总体正常(图 11)。

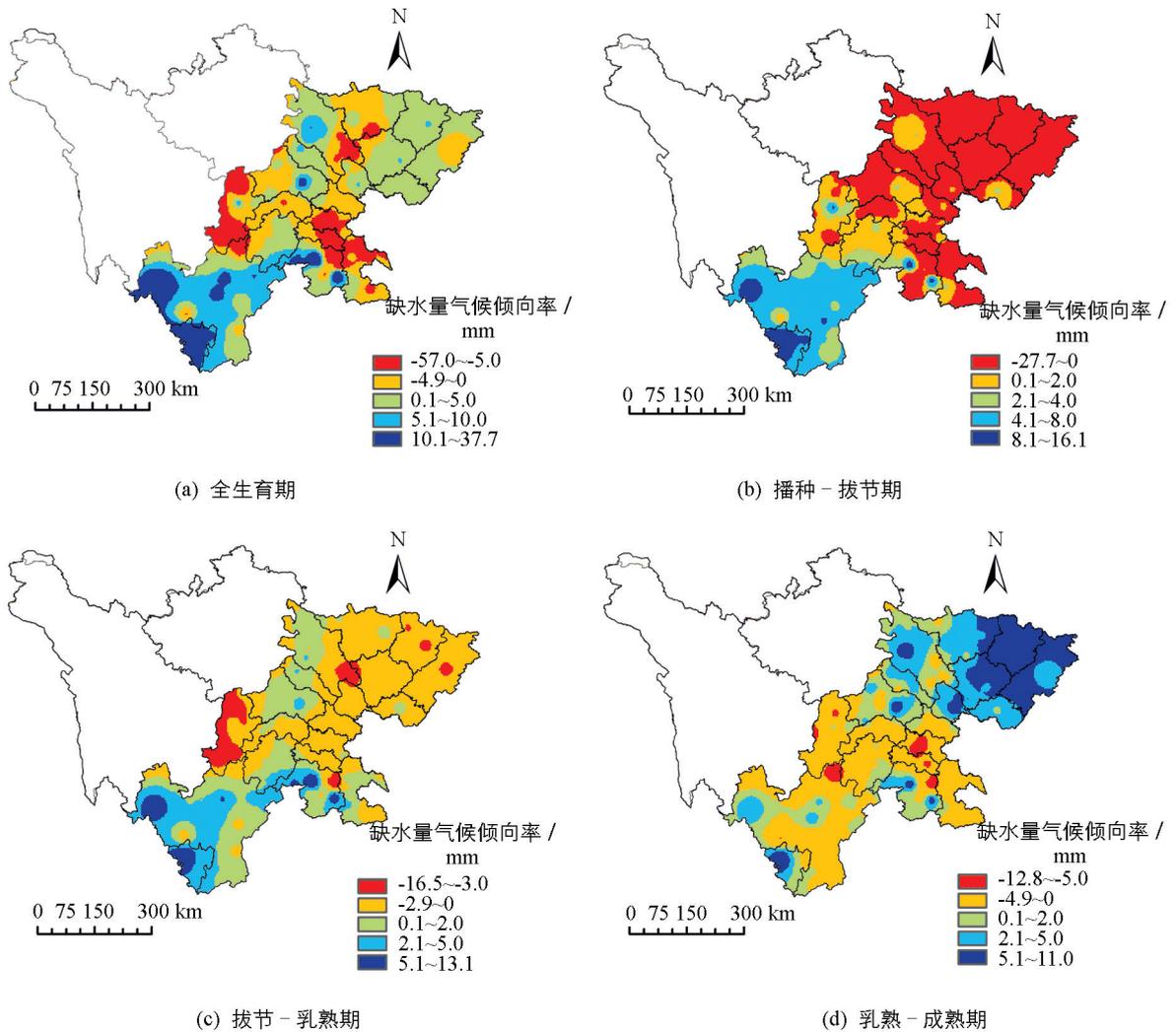


图 11 1961—2017 年四川省小麦生育期缺水量的气候倾向率分布 (以每 10 年计)

3 结论与讨论

本研究利用四川省 125 个气象站 1961—2017 年逐日气象观测数据, 同时结合四川省小麦的生育期资料, 分析了四川省小麦全生育期 and 不同生育阶段温、光、水的空间分布状况, 具体结果如下:

从温度条件来看: 平均温度全生育期盆地和攀西农区均呈现由南至北逐渐降低的分布特点, 乳熟—成熟期最高, 播种—拔节期最低; 变化趋势盆中及盆南局部区域呈下降趋势, 其余地区均呈升高的趋势; 各生育阶段的平均温度总体均呈升高的趋势. 全生育期平均日较差攀西农区明显大于盆地, 乳熟—成熟期平均日较差最大; 变化趋势盆南及盆北局部区域、攀西农区东部及南部部分区域呈上升趋势. 从光照条件来看: 全生育期总辐射量盆地呈现从西北到东南逐步减小的趋势, 攀西农区呈现从西南到东北逐步减小的趋势, 播种—拔节期总辐射量最大; 变化趋势盆地农区大部减少, 攀西大部增多; 各生育阶段的总辐射量略偏小. 从水分条件来看: 全生育期参考蒸散量攀西农区最多, 播种—拔节期参考蒸散量最大, 拔节—乳熟期最小; 变化趋势盆地农区大部呈现减少趋势, 攀西大部增多趋势明显. 全生育期降水量攀西农区多于盆地, 播种—拔节期降水量最大, 乳熟—成熟期降水量最小.

气候变暖将造成小麦生育期缩短, 加快小麦幼穗分化过程, 使小麦单株成穗率下降、穗粒数减少、千

粒质量降低, 应适当调整播期, 同时生产上要早管早促、早追苗肥, 满足小麦幼穗分化对水肥的需求, 促进穗大粒多和千粒质量; 攀西农区小麦缺水较为严重, 因此该区域应提高水利灌溉设施的调节功能, 改善农田基础设施, 减少农田表面径流, 增强保水能力。

参考文献:

- [1] 四川省统计局. 四川统计年鉴 2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [2] 刘 园, 王 颖, 杨晓光. 华北平原参考作物蒸散量变化特征及气候影响因素 [J]. 生态学报, 2010, 30(4): 923-932.
- [3] 庞艳梅, 陈 超, 潘学标. 1961-2010 年四川盆地冬小麦需水量时空变化 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(12): 1-11.
- [4] 郑 娜, 刘秀位, 王锡平. 利用产量差距方法进行华北冬小麦产量受气候影响规律的分析——以河北省栾城县为例 [J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(2): 234-240.
- [5] BOLAÑOS J, EDMEADES G O. Eight Cycles of Selection for Drought Tolerance in Lowland Tropical Maize. I. Responses in Grain Yield, Biomass, and Radiation Utilization [J]. Field Crops Research, 1993, 31(3-4): 233-252.
- [6] 陈 超, 庞艳梅, 张玉芳. 近 50 年来四川盆地气候变化特征研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(9): 115-120.
- [7] 庞艳梅, 刘 佳, 陈 超. 四川省单季稻高低温致灾因子危险性分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(8): 9-16.
- [8] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2199-2206.
- [9] 董旭光, 李胜利, 石振彬, 等. 近 50 年山东省农业气候资源变化特征 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 269-277.
- [10] 周伟东, 朱洁华, 王艳琴, 等. 上海地区百年农业气候资源变化特征 [J]. 资源科学, 2008, 30(5): 642-647.
- [11] Smith M. CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992: 20-21.
- [12] 黄 琰, 冯利平. 多尺度天气数据生成模型研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [13] 史晓楠, 王全九, 王 新, 等. 参考作物腾发量计算方法在新疆地区的适用性研究 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 19-23.
- [14] 张 丹, 张广涛, 王丽学, 等. 彭曼-蒙特斯公式在参考作物需水量中的应用研究 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(18): 4513-4514.
- [15] 张玉芳, 王锐婷, 陈东东, 等. 利用水分盈亏指数评估四川盆地玉米生育期干旱状况 [J]. 中国农业气象, 2011, 32(4): 615-620.
- [16] 王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等. 基于降水保证指数的四川省种植制度优化研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(10): 82-92.
- [17] 李世奎. 中国农业灾害风险评价与对策 [M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [18] 陈 超, 庞艳梅, 潘学标, 等. 气候变化背景下四川省气候资源变化趋势分析 [J]. 资源科学, 2011, 33(7): 1310-1316.

Characteristics of Spatial and Temporal Distribution of Agro-Climatic Resources During Wheat Growing Season in Sichuan Province

ZHANG Yu-fang^{1,2,3}, WU Bing-jie⁴, CHEN Chao¹

1. Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration/Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China;
2. Water-Saving Agriculture in Southern Hill Area Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610066, China;
3. Agro-meteorological Center of Sichuan Province, Chengdu 610072, China;
4. Meteorological Bureau of Ya'an, Ya'an Sichuan 625000, China

Abstract: Based on the daily weather data from 1961 to 2017 of 125 meteorological stations and wheat observation data from 24 agricultural stations of Sichuan province, the distribution characteristics of agricultural climate resources in different wheat-growing areas in the province were analyzed. The results showed that the light, temperature and precipitation resources of the wheat-planting areas in Sichuan varied greatly in different regions. The average temperature decreased gradually from the south to the north of the province. The average temperature in the growing period of wheat showed an increasing trend. The averaged diurnal temperature range of the whole growth period ranged from 11 to 18 °C in Panxi (Panzhihua-Xichang), and 5 to 9 °C for the basin. For the total radiation during the whole growth period of wheat, the basin showed a declining trend from northwest to southeast, and Panxi showed a decreasing trend from southwest to northeast. Panxi had the largest reference evapotranspiration during the whole growth period of wheat, while the southern and eastern parts of the basin had the least. Water shortage was more serious in Panxi than in the basin area. The variation in reference evapotranspiration and water shortage in various growth stages of the wheat crop was generally normal. In general, the heat resource during wheat growth period was higher in the south than in the north of Sichuan basin and Panxi, while the light resource was relatively scarce in the agricultural regions of Sichuan.

Key words: wheat; agro-climatic resource; spatial and temporal distribution; reference evapotranspiration