



# 未来气候变化与中国粮食生产

林而达，居辉，黄焕平

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所

2014年4月20日



# 主要内容

1. 关于气候变化的新认知
2. IPCC AR5 关于农业影响的新认知
3. 气候变化对中国粮食生产的影响
4. 农业适应气候变化的对策

# 1.关于气候变化的新认知

温度

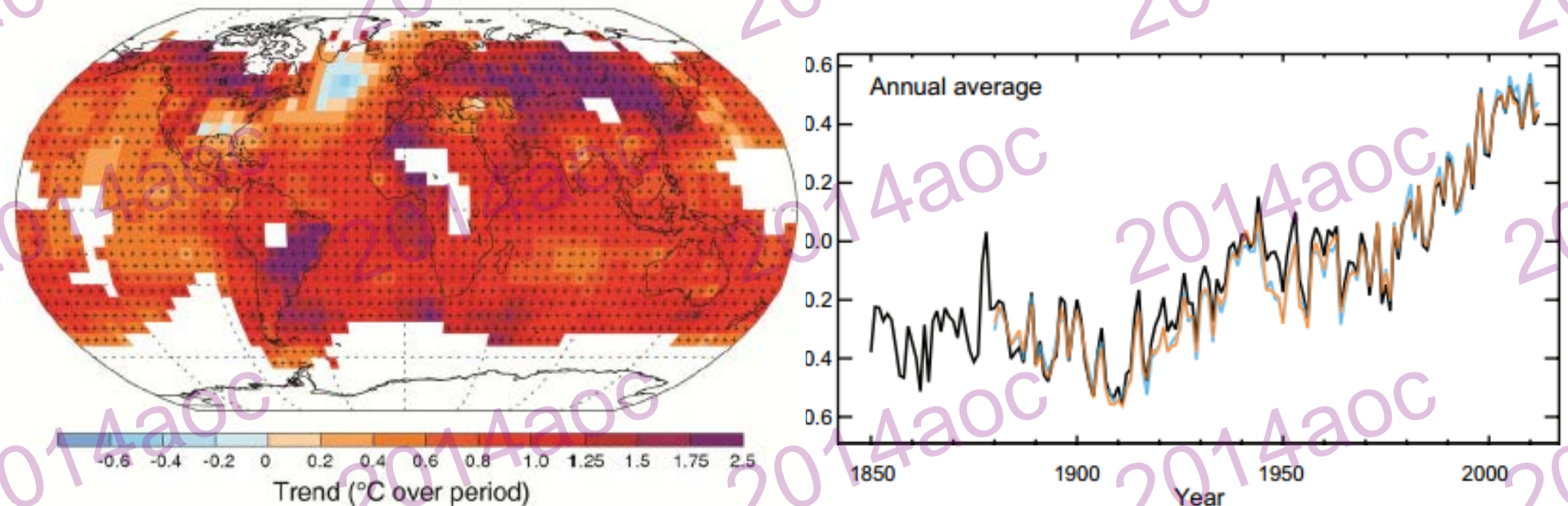


图1 观测到的全球平均地表温度变化（左：1901—2012；右：1850—2012）

近130多年（1880—2012）全球地表平均温度升高了**0.85°C**。  
1983—2012年可能是北半球过去1400年中最温暖的30年。

# 降水

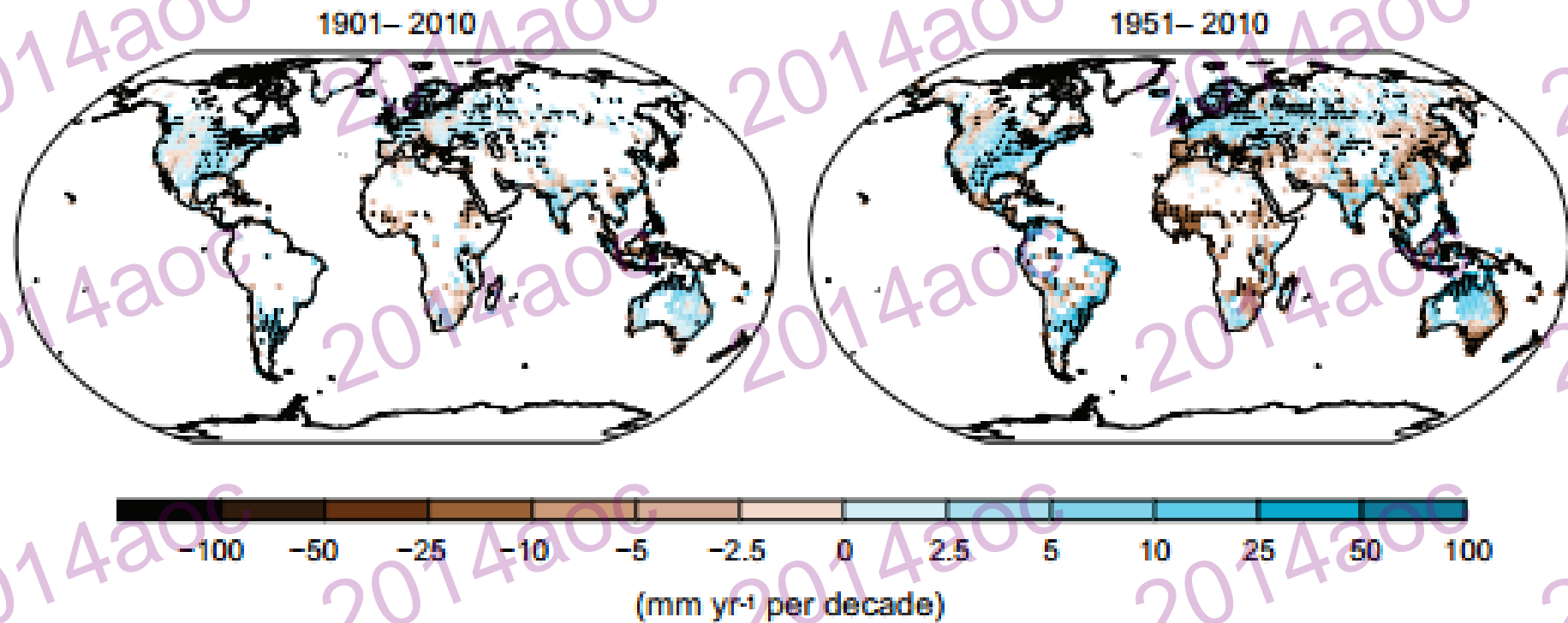
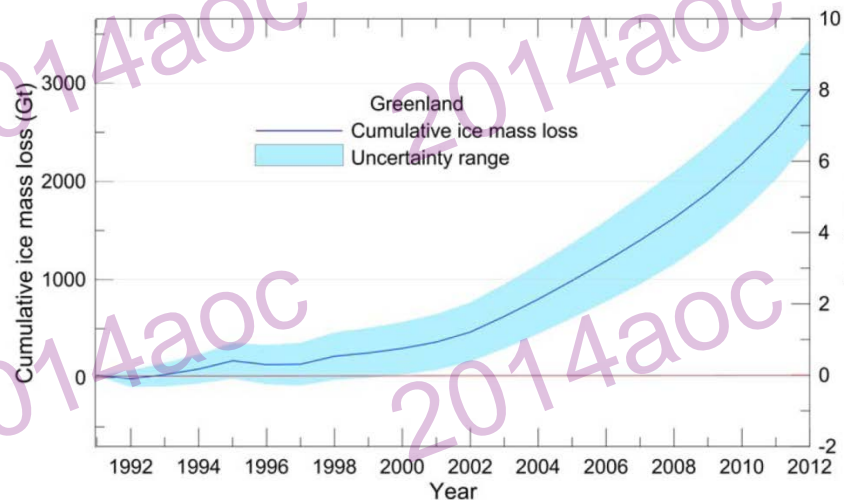


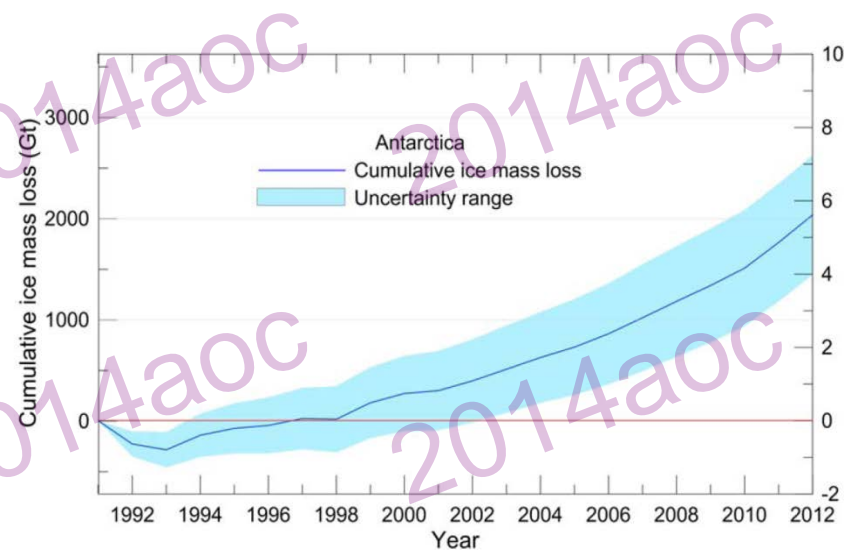
图2 观测到的全球降水变化（左：1901—2010，右：1951—2010）

自1901年以来，北半球中纬度地区降水有所**增加**。  
其它纬度地区的降水变化趋势有正有负，且信度较低。

# 冰冻圈



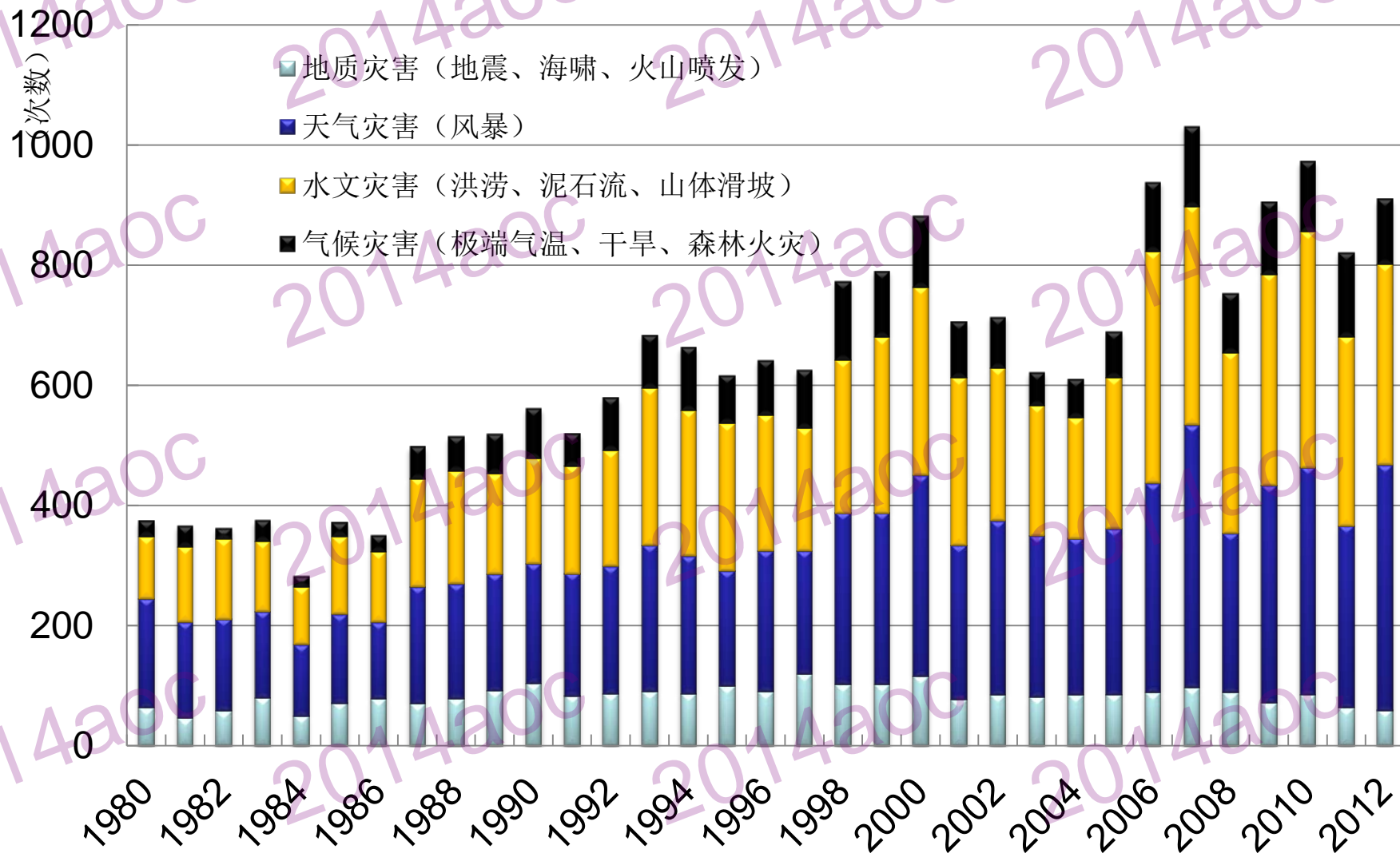
格陵兰冰盖的冰量损失平均速率很可能已从1992-2001年间的每年**34Gt** 大幅度增至2002-2011年间的每年**215 Gt**



南极冰盖的冰量损失平均速率可能从1992-2001年间的每年**30Gt** 增至2002-2011年间的每年**147 Gt**

图3 1992—2011年格陵兰（上）和南极（下）冰量损失变化

# 1980-2012年全球重大自然灾害发生次数



来源：慕尼黑再保险公司和国家气候中心



表1 IPCC预测的全球平均地表气温变化（相对于基准时段1986—2005年）

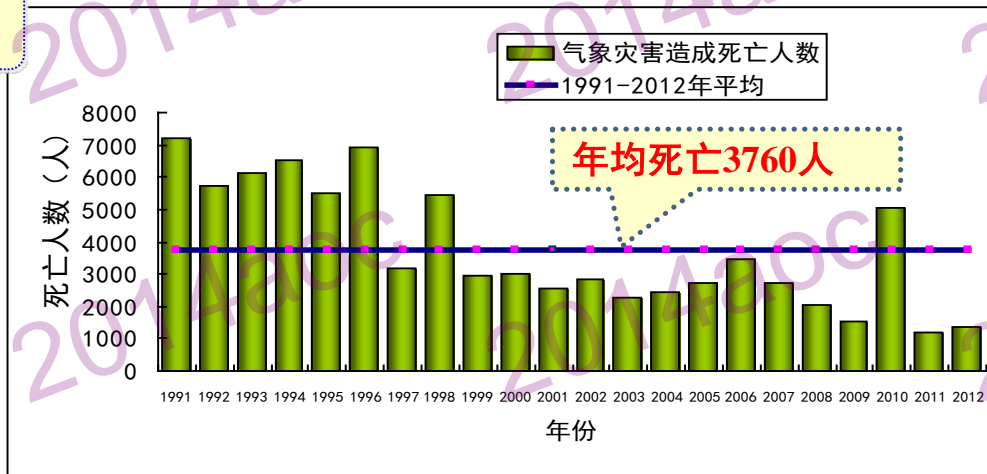
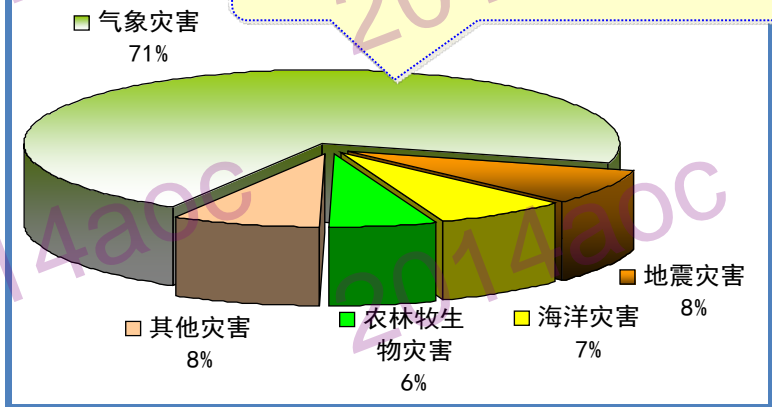
		2046–2065		2081–2100	
	Scenario	Mean	Likely range <sup>c</sup>	Mean	Likely range <sup>c</sup>
Global Mean Surface Temperature Change (°C) <sup>a</sup>	RCP2.6	1.0	0.4 to 1.6	1.0	0.3 to 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 to 2.0	1.8	1.1 to 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 to 1.8	2.2	1.4 to 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 to 2.6	3.7	2.6 to 4.8

继续大量排放温室气体将导致全球进一步**升温**，预估到本世纪末将增温**1.0~3.7 °C**。

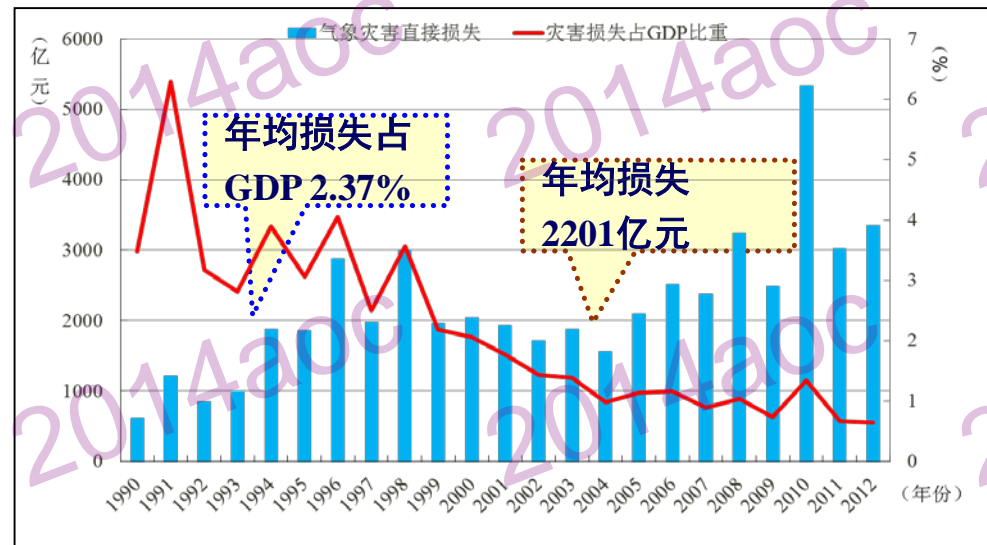
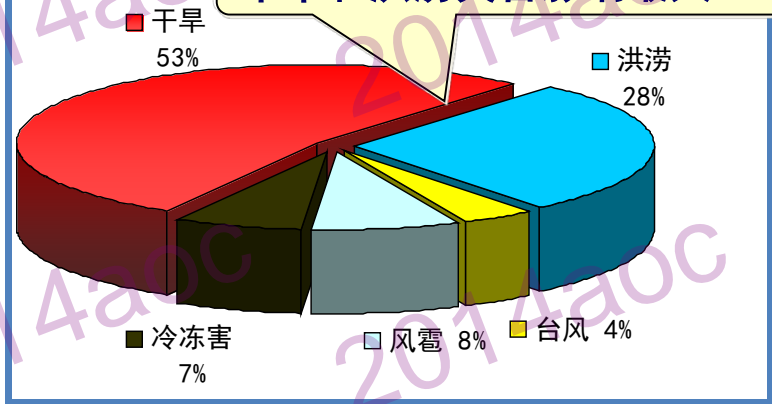
干旱区与湿润区的降水反差将加大，极端降水事件在中纬度地区和热带雨林气候区将很可能变得更加**严重和频繁**。

# 我国是气象灾害最为严重的国家之一

## 气象灾害影响大、损失重



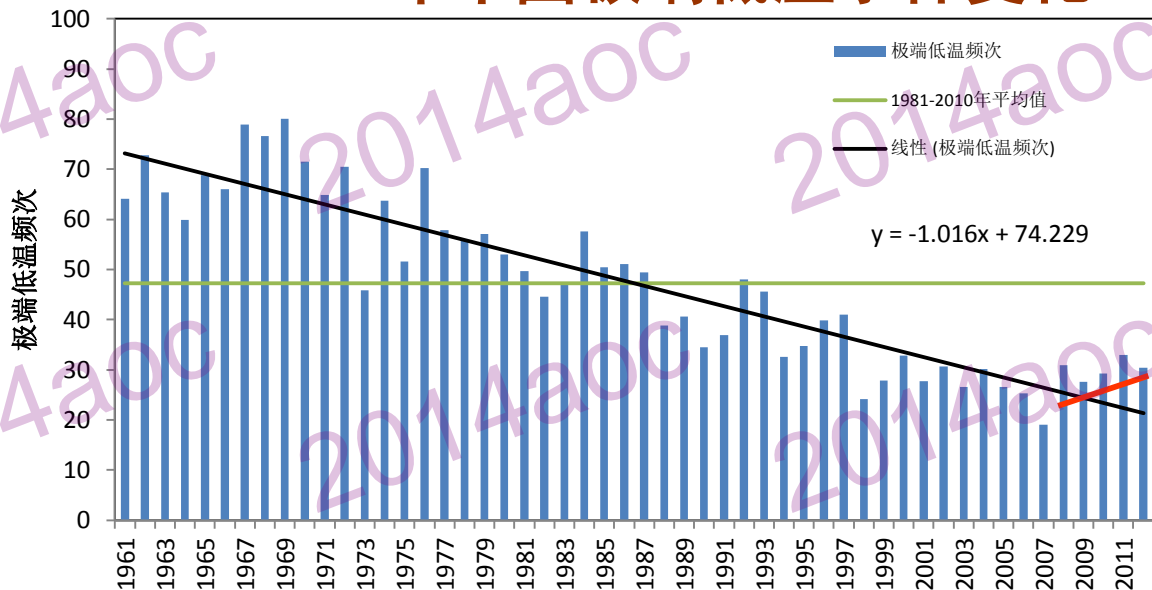
## 干旱和洪涝灾害影响最大



1990至2012年因气象灾害死亡9.0万人,直接经济损失5.1万亿元

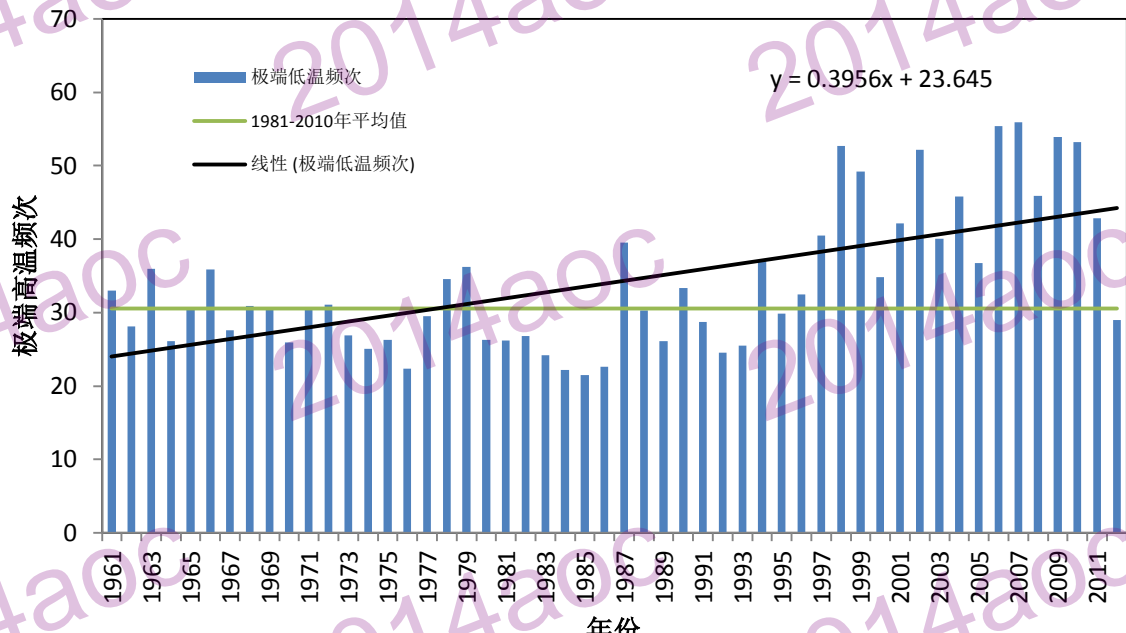


# 1961-2012年中国极端低温事件变化



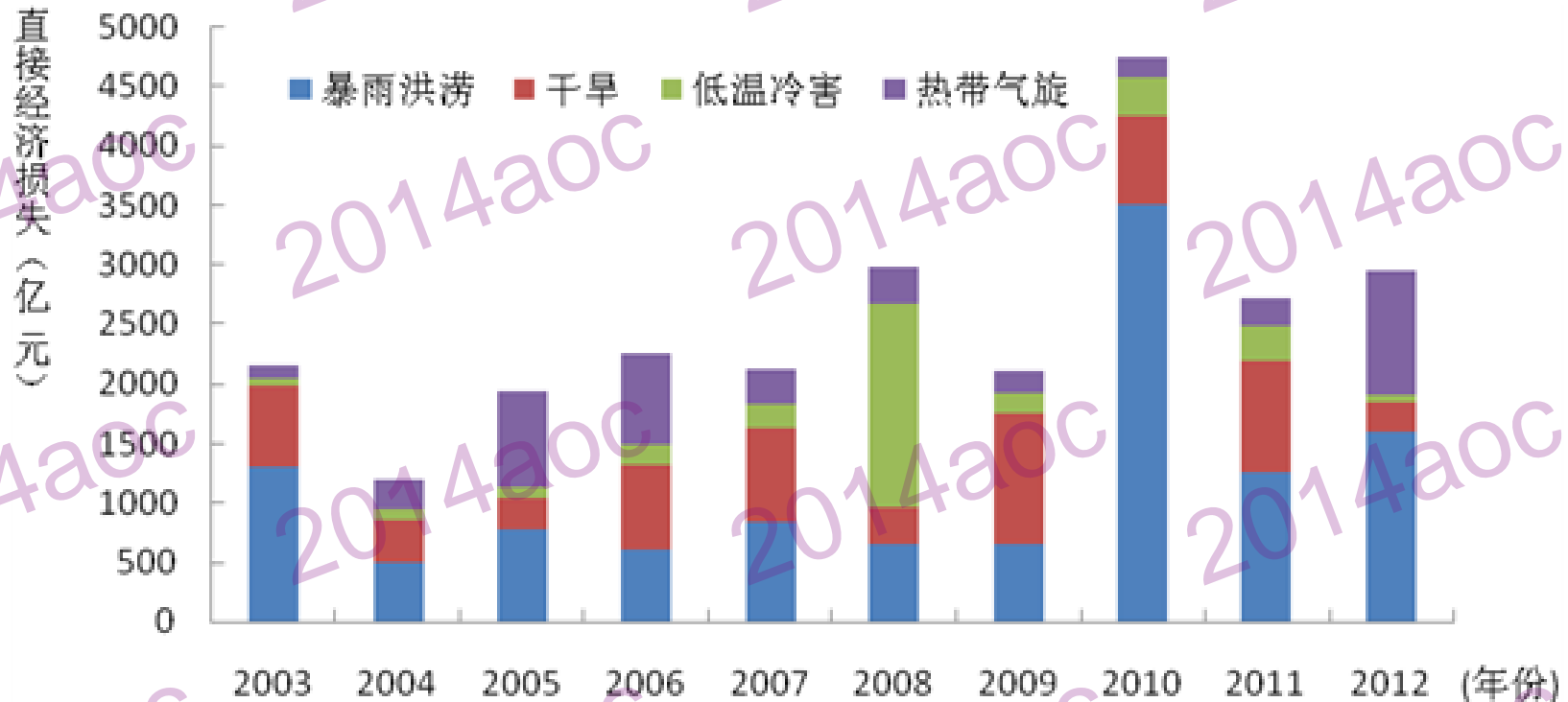
- 减少趋势显著，平均减幅为10次/10年
- 2007年以后极端低温事件出现一个较明显的小幅增加趋势

# 1961-2012年中国极端高温事件变化



- 增加趋势显著，平均增幅为4次/10年
- 20世纪90年代中期增多，21世纪以来的极端高温频次尤其多

## 我国各类气候灾害直接经济损失图



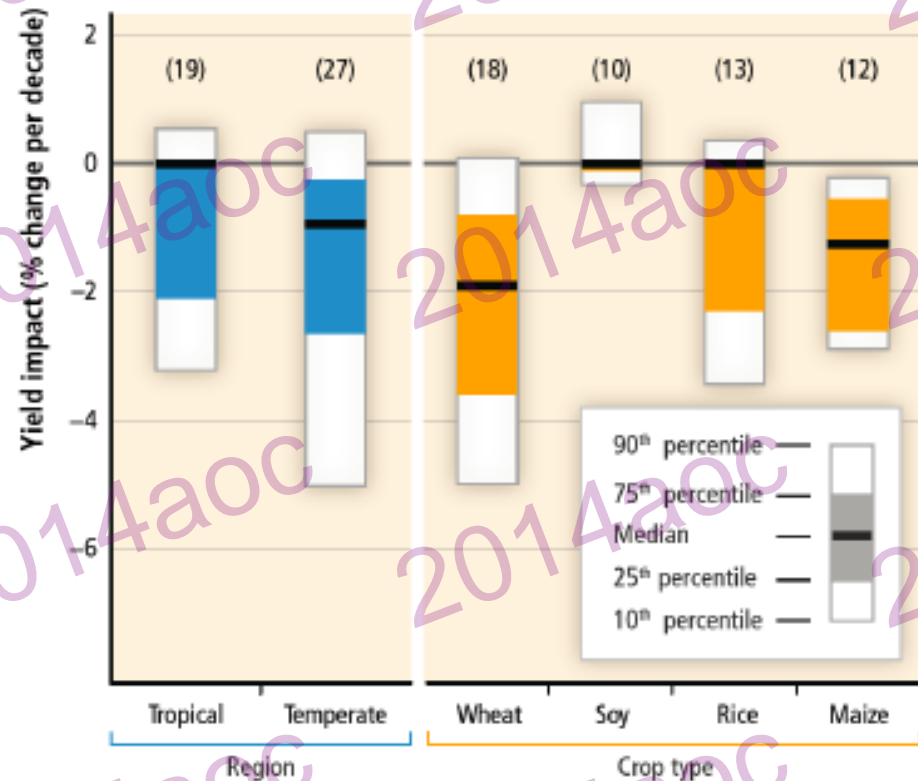
2003—2012年的各类气候灾害损失年际波动大，但总体呈增加趋势。

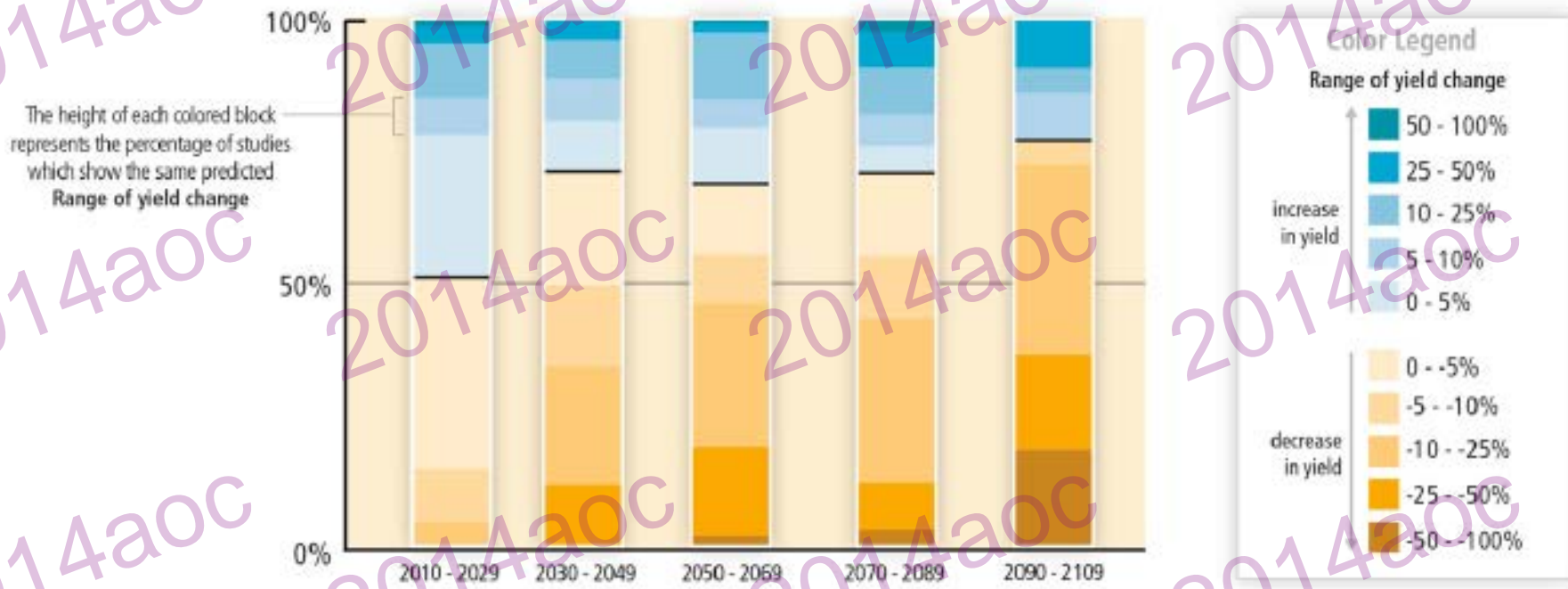
# 本世纪中国极端天气气候事件

- ◆ 2003年，淮河发生仅次于1954年的流域性**大洪水**
- ◆ 2004年，“**云娜**”**台风**造成重大灾害
- ◆ 2005年，西江发生超百年一遇**特大洪水**
- ◆ 2006年，川渝遭受百年一遇**干旱**，南方地区发生“碧利斯”、“格美”、“桑美”**台风**灾害
- ◆ 2007年，淮河再次发生流域性**大洪水**
- ◆ 2008年，南方发生历史罕见**低温雨雪冰冻灾害**，汶川特大地震引发唐家山堰塞湖等一系列重大次生灾害
- ◆ 2009年，川北方冬麦区发生**大旱**
- ◆ 2010年，西南地区发生**特大干旱**，舟曲发生特大**山洪泥石流灾害**
- ◆ 2011年，长江中下游地区**旱涝急转**
- ◆ 2012年，7月21日**特大暴雨**袭华北，给京津冀造成重大影响
- ◆ 2013年，7月至8月上旬南方遭受严重**高温热浪**袭击

## 2. IPCC AR5 关于农业影响的新认知

- ✓ 气候变化对作物产量的消极影响比积极影响要更为普遍（高信度）。少量研究揭示了积极的影响，但主要发生在高纬度地区，而且还不清楚在这些地区的影响在平衡掉之后是正是负（高信度）。
- ✓ 在全球许多地区，气候变化给小麦和玉米产量带来了消极影响，但是对水稻和大豆产量的影响则要小一些（中等信度）。





- ✓ 2030—2049年相对于20世纪末期，约10%的预测认为产量增加会超过10%，另有10%的预测显示产量损失超过25%。
- ✓ 2050年以后，更剧烈的产量变化**风险增加了**，程度大小取决于升温幅度。

- ✓ 粮食安全的所有方面都受到气候变化的潜在影响，包括粮食获取、利用和价格稳定性，但观测到的影响主要集中在粮食安全的生产方面。
- ✓ 伴随着粮食主产区气候极端事件而来的谷物价格上涨，显示了当前市场对气候极端事件的敏感性（中等信度）。
- ✓ 对于热带和温带地区的主要作物（小麦、水稻和玉米），如果不采取适应措施，当地温度增加2 °C或高于20世纪末的水平之后，预计气候变化将消极影响作物生产（尽管个别地方会因此受益）。
- ✓ 气候变化将日益扩大作物产量的年际变率。这些影响是在迅速增加的粮食需求背景下发生的，无疑会给全球和区域的粮食安全带来很大风险。



### 3. 气候变化对中国粮食生产的影响

#### 总体评价:

- ▶ 就历史气候变化影响而言，我国水稻、小麦、玉米、大豆对主要气候变量，如气温、降雨、辐射以及气候总体的变化趋势**敏感性正负并存**。
- ▶ 未来气候变化对农业生产也是**正负影响并存，但以负面为主**，但在2030年以前的时段内，**适应仍可以抵消对粮食产量的不利影响**。
- ▶ 虽然气候变化会改善中国部分地区农业生产的热量条件，但农业用水供需矛盾会更加突出，由于病虫害及化肥用量增加将大幅度增加农业成本和投资，对农业技术和投入的要求更高，气候变化将对**中国粮食生产的稳定性和农业可持续发展带来巨大挑战**。

## 观测到的影响

### 农作制度的变化:

- 气候变化导致热量资源增加，作物生长季延长，中国多熟种植北界向高纬度高海拔地区扩展。

例如：与1951—1980年相比，1981—2007年一年两熟种植北界在山西、河北、陕西省平均北移26 km；一年三熟种植北界在湖南、湖北、安徽、江苏和浙江省北移西扩趋势明显（杨晓光等，2010）。

- 适宜喜温作物和越冬作物以及冷凉气候区的作物可种植面积迅速扩大。

例如：近30年来，内蒙古玉米种植北界向北延伸10 km~150 km（侯琼等，2010），黑龙江地区大面积扩种水稻（李祎君等，2010；张卫建等，2012），甘肃冬小麦北界可向西北扩展100 km~200 km，海拔升高200 m~400 m（王鹤龄等，2011）。

- 适应措施中，作物品种更替向生育期长、抗冻性弱和耐高温的趋势发展。

例如：石羊河流域中晚熟玉米品种种植高度提高了100 m~200 m（刘明春等，2009）；近30年不同冬春性冬小麦的可种植区域均北移，冬性、强冬性冬小麦可种植区域逐渐被春性和弱冬性冬小麦品种取代（李克南等，2013）。

## 产量的变化:

- 气候变暖可促使冬小麦开花和成熟期提前，在一定程度上避免初夏高温对冬小麦生产的影响，但是也因为生育期长度尤其是灌浆期的缩短而产生负面作用；水稻的移栽、抽穗和成熟期总体提前，80%调查站点的水稻生长期缩短（Tao et al., 2013）。
- 长江中下游早稻由于采用晚熟品种，获得了高产；晚稻采用了早熟品种，因此避免了冷害，获得了稳产或高产（Tao et al., 2013）。
- 近年来水稻主要灾害（包括干旱、洪涝、高温热害、低温冷害和病虫害）发生频率的变化主要归因于极端气候的变化。

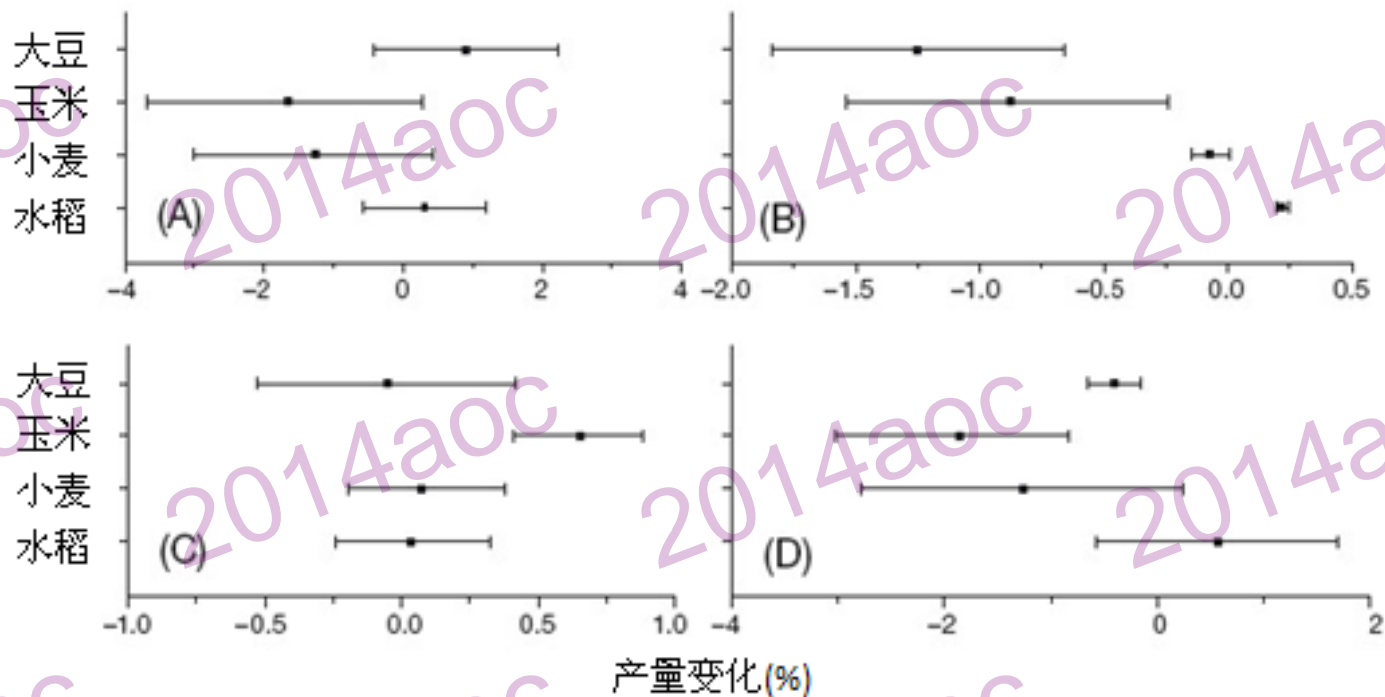


图4 气候变化对1980—2008年中国作物单产影响的贡献程度 (A) 气温变化；(B) 降雨变化；(C) 辐射变化；(D) 气候总体变化

✓ 我国水稻、小麦、玉米、大豆对主要气候变量（气温、降雨、辐射以及气候总体）的变化趋势敏感性正负并存。1980—2008年以来的气候总体变化引起的大豆、玉米、小麦单产分别降低0.41%、1.73%、1.27%，水稻单产增加0.56%，受气候变化影响最敏感的作物是我国北部和东北部干旱和半干旱区的玉米和小麦(Tao et al., 2012b)。

## 预计的影响

### 农业影响的评估方法:

- **观测试验**: 研究大气成分改变和升温对作物生理生态的影响, 包括控制环境 (CE)、开顶箱 (OTC) 和自由大气CO<sub>2</sub>富集 (FACE)
- **统计模型**: 建立作物产量和多种环境因子之间关系的统计方程来预测气候变化对产量的影响
- **作物机理模型**: 借助计算机技术和建立的数学模型对作物生长及产量形成与环境生态因子的关系进行动态模拟。可以设置多种气候变化假设, 年代、年、月等, 但主要是基于气候模型 (GCM/RCM) 与作物机理模型的耦合。

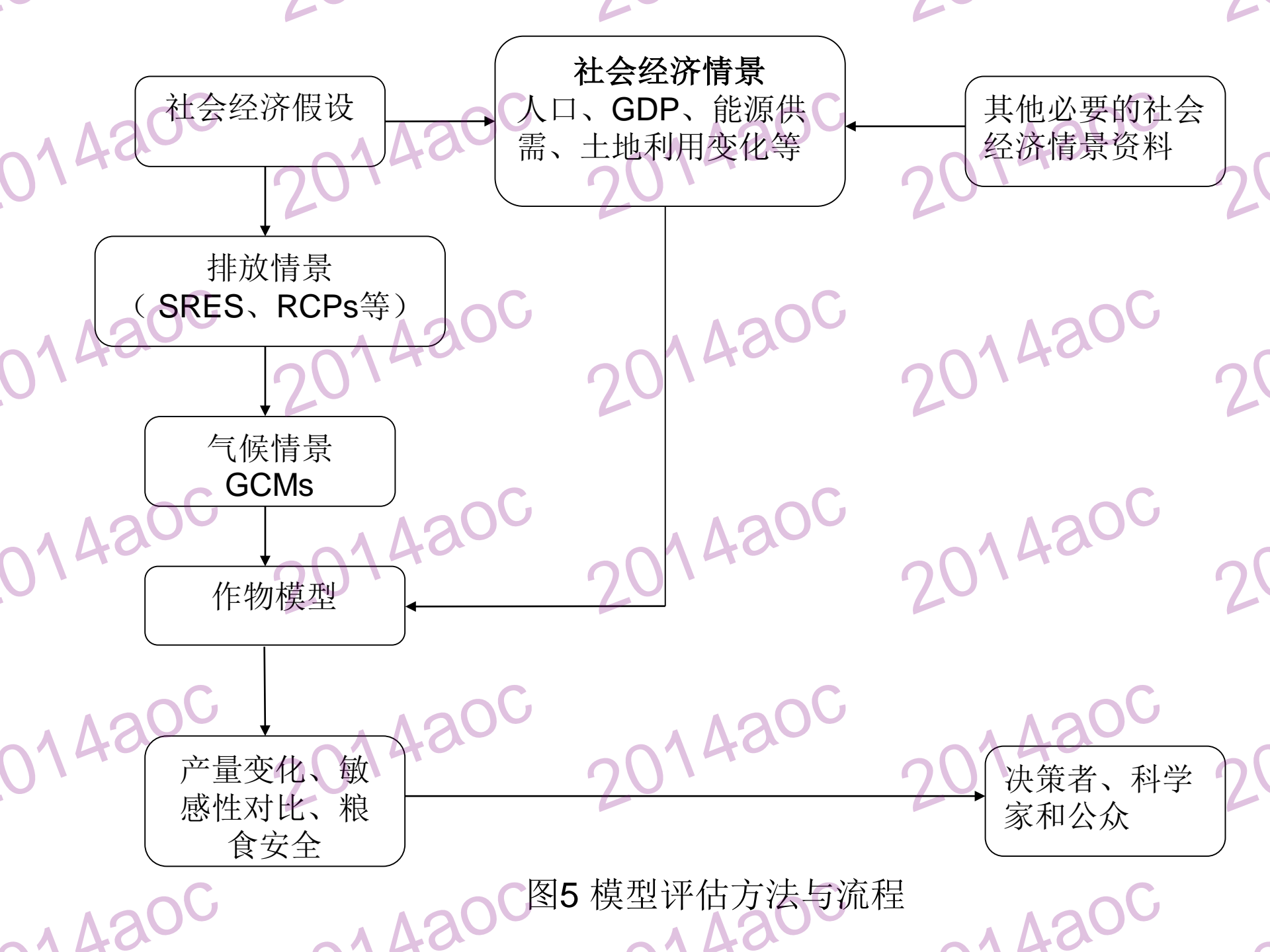


图5 模型评估方法与流程



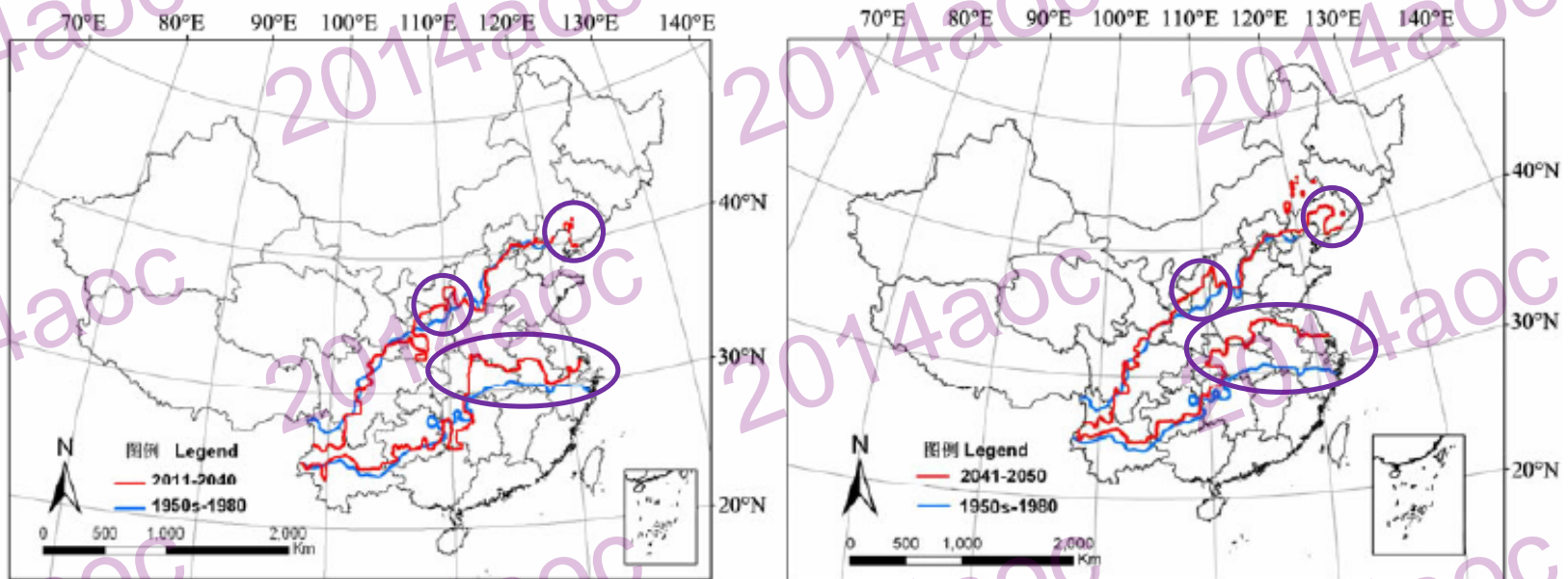
## 预计的影响

### 对作物生育期的影响:

- 田间增温试验表明，夜间增温 $2\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 使冬小麦除了越冬开始期以外的各发育期有不同程度的提前，越冬期缩短，冬前生育期延长，冬后各生育阶段有不同程度前移（Fang et al.， 2012）。
- 观测资料表明，气候变暖背景下黄土高原半干旱区气温每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，冬小麦生长期平均缩短  $17\text{ d}$ （鲜天真等， 2011）。
- 统计表明，在增温 $1、2、3^{\circ}\text{C}$ 下，玉米生育期缩短 $4.3\%\sim 13\%、10.8\%\sim 22.5\%、12.3\%\sim 30.3\%$ ；小麦生育期将缩短 $3.94\%、6.90\%、9.67\%$ （Tao et al.， 2011；Liu et al.， 2013）。

## 对种植制度和种植区域的影响:

- 中国多熟种植北界继续向高纬度高海拔地区扩展，且2041—2050年种植北界北移情况比2011年—2040年更为明显。（杨晓光等，2011）。



左图：2011—2040年，右图：2041—2050年。下同 Left: 2011—2040, right: 2041—2050. The same as below

图 6 A1B情景下全国种植制度零级带北界的可能变化  
(紫色圈内表示空间位移最大的区域)

## 对作物产量的可能影响：

- 大多数模拟结果表明，未来我国三大作物单产将可能以下降趋势为主。到2030s，综合气候变暖和气候灾害的影响，全国主要农作物产量有可能平均**减少5%-10%**（《气候变化国家评估报告》编写委员会，2007）。
- 如果考虑到农业技术对气候变化的响应，粮食总产量在2020s的A2和B2情景下预计将分别**增产14.2%和5.5%**；在2040s则分别增产**13.9%和6.6%**（Xiong et al., 2009）。
- 高纬度地区温度增加明显，热量条件改善较大，受益相对明显（熊伟等，2010），东北增产潜力巨大，华北、西北、西南地区减产，华东和东南地区产量增加不明显（吴文斌等，2010）。

表2 中国小麦平均单产的预估变化(相对于1961–1990年) (Lin et al., 2005)

	change in average yield (%)					
	2020s		2050s		2080s	
	with CO <sub>2</sub> fertilization	without CO <sub>2</sub> fertilization	with CO <sub>2</sub> fertilization	without CO <sub>2</sub> fertilization	with CO <sub>2</sub> fertilization	without CO <sub>2</sub> fertilization
A2: rainfed	15.4 (–85–654)	–18.5 (–96–485)	20.0 (–92–431)	–20.4 (–78–234)	23.6 (–72–331)	–21.7 (–63–144)
A2: irrigated	13.3 (–65–655)	–5.6 (–88–356)	25.1 (–63–558)	–6.7 (–74–145)	40.3 (–53–458)	–8.9 (–64–98)
B2: rainfed	4.5 (–88–389)	–10.2 (–87–213)	6.6 (–88–305)	–11.4 (–76–118)	12.7 (–83–205)	–12.9 (–76–95)
B2: irrigated	11.0 (–89–485)	–0.5 (–86–356)	14.2 (–80–278)	–2.2 (–84–201)	25.5 (–70–378)	–8.4 (–73–109)

表3 中国玉米平均单产的预估变化(相对于1961–1990年) (Lin et al., 2005)

	2020s		2050s		2080s	
	with CO <sub>2</sub> fertilization	without CO <sub>2</sub> fertilization	with CO <sub>2</sub> fertilization	without CO <sub>2</sub> fertilization	with CO <sub>2</sub> fertilization	without CO <sub>2</sub> fertilization
A2: rainfed	9.8 (–85–465)	–10.3 (–98–352)	18.4 (–87–452)	–22.8 (–93–281)	20.3 (–74–392)	–36.4 (–83–224)
A2: irrigated	–0.6 (–100–655)	–5.3 (–96–254)	–2.2 (–81–541)	–11.9 (–96–210)	–2.8 (–94–492)	–14.4 (–96–111)
B2: rainfed	1.1 (–87–287)	–11.3 (–95–214)	8.5 (–94–567)	–14.5 (–97–227)	10.4 (–84–267)	–26.9 (–79–127)
B2: irrigated	–0.1 (–98–531)	0.2 (–89–211)	–1.3 (–94–431)	–0.4 (–90–147)	–2.2 (–90–131)	–3.8 (–92–187)

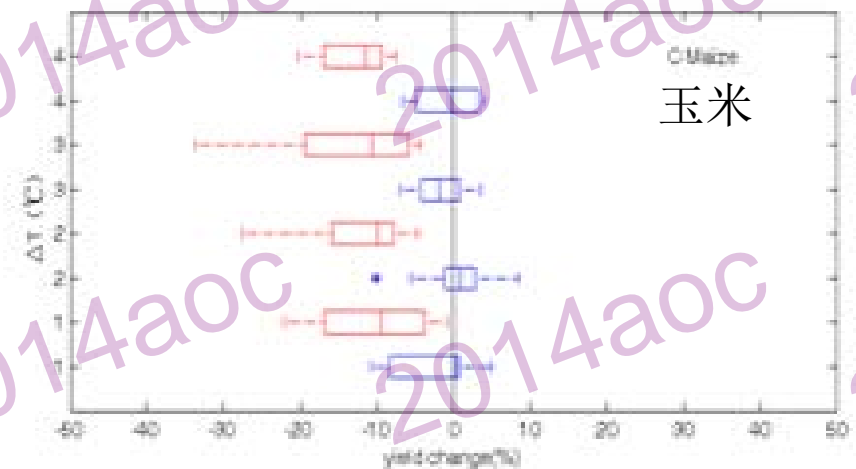
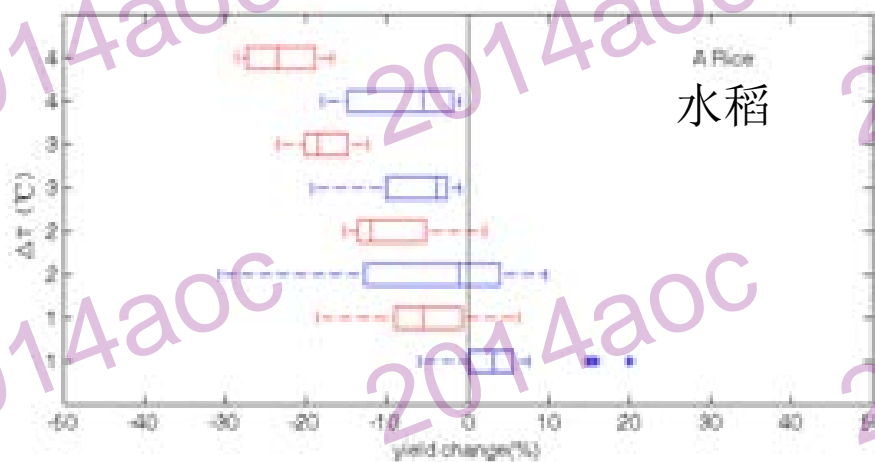


图7 考虑（蓝色）与不考虑（红色）CO<sub>2</sub>肥效时，未来温度升高1、2、3、4°C影响下中国水稻、玉米单产的可能变化

- 不考虑CO<sub>2</sub>肥效，未来升温对水稻、小麦、玉米的单产都以负效应为主；考虑CO<sub>2</sub>肥效，升温的影响则有正有负。
- 由于C3作物比C4作物对CO<sub>2</sub>施肥效应更敏感，因此未来小麦增产潜力最大，水稻次之，玉米的单产变化不大

## 对作物品质的影响:

- 气候变化对作物品质的影响以负面为主。如: CO<sub>2</sub>浓度升高C3类的谷粒作物氮含量将减少9%~16%, C4类的则减少约7% (王友华等, 2011)。
- 气候变暖与CO<sub>2</sub>浓度升高对品质的影响因作物品种而异, 如对4个水稻品种的FACE试验表明, 稻米垩白米率、直链淀粉含量有增加, 整精米率、粗蛋白含量下降, 淀粉粘滞性则有增有减 (杨欢, 2009)。

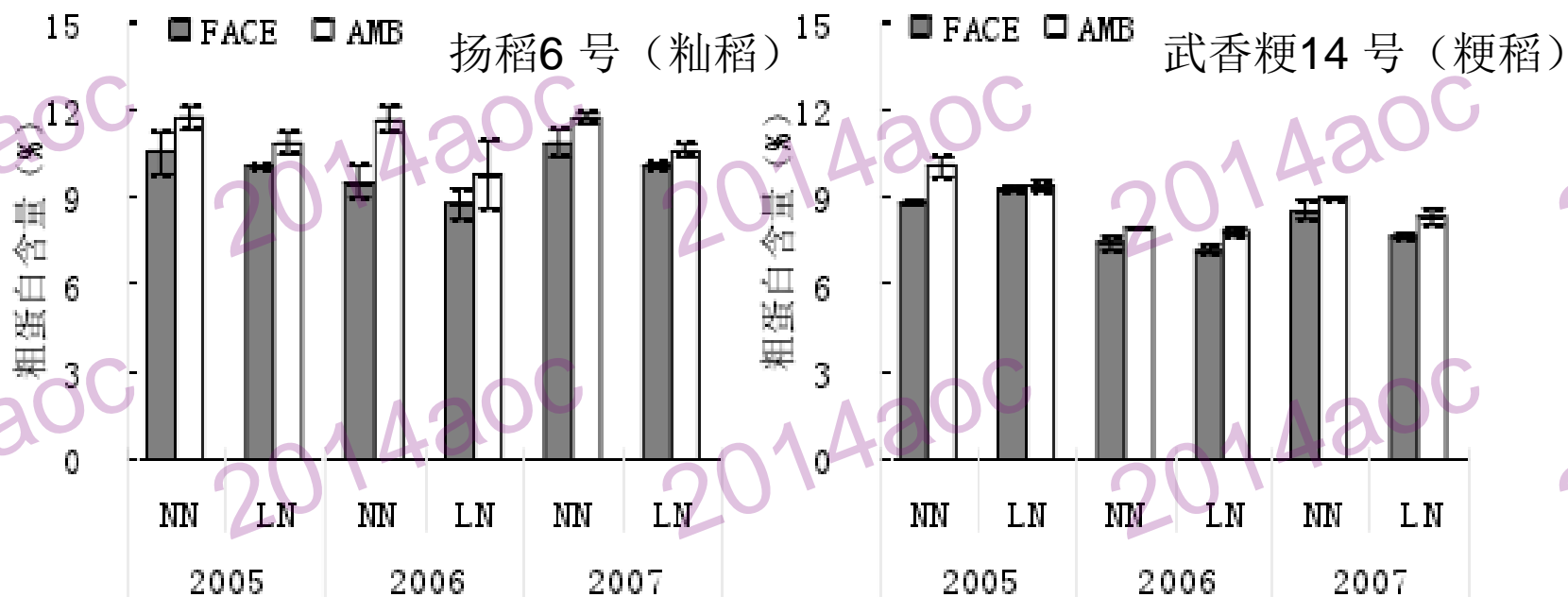


图8 FACE与对照条件下两个水稻品种粗蛋白含量的变化 (杨欢, 2009)



## 对粮食安全的可能影响：

- 如果只考虑未来气温上升导致的粮食单产下降，到2020年我国水稻、小麦和玉米的自给率预计将分别下降11%、7.2%和5.1%；如果采取了综合适应措施，则三大作物的自给率可分别达到99.2%、98.5%和88.1%（周曙东等，2013）。

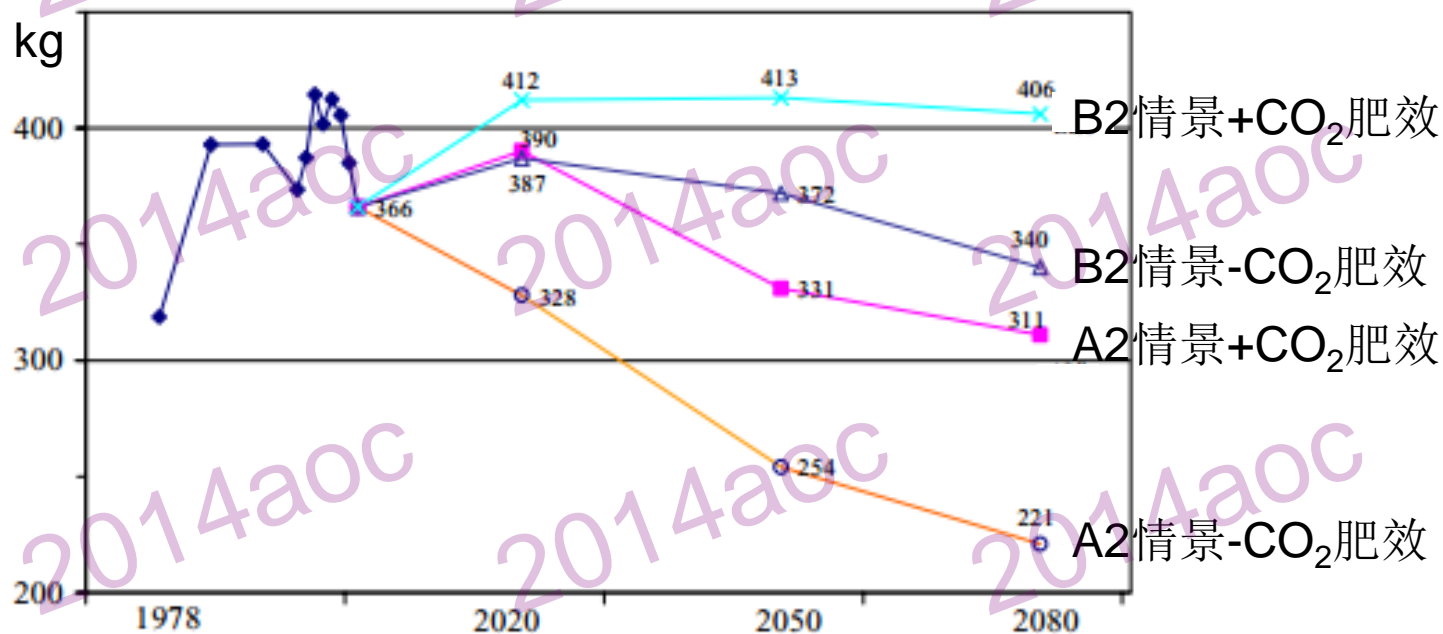


图9 1978—2080年不同情景下我国人均口粮供应的可能变化（Xiong et al., 2007）

## 4. 农业适应气候变化的对策

- ✓ 加强农业基础设施的建设并推动节水农业发展
- ✓ 提升农田适应气候变化的综合管理水平
- ✓ 统筹农产品供给的宏观适应布局
- ✓ 强化农业适应行动并深化脆弱性评估工作
- ✓ 建立健全农业气候灾害的风险管理及响应机制

2014aoc

谢谢!