

气候变化对欧洲农业的系统影响及对策

白崇军

(陕西省科学技术厅, 西安 710006)

摘要: 本文基于欧洲气候变化的历史演进与未来情景, 系统分析了气候变化对欧洲农业的历史和潜在影响, 提供了欧洲农业应对气候变化的适应性措施, 及其对中国未来农业发展的启示和建议。

关键词: 欧洲; 农业; 气候变化; 影响; 适应

中图分类号: S42 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2009.12.001

影响欧洲农业生产的气候要素包括: 大气CO₂浓度、温度、极端天气事件、降雨强度、海平面高度、大气臭氧浓度、热胁迫等。其中大气CO₂浓度的增加会引发农业生态系统以及氮循环的改变, 打破土壤水分平衡, 提高作物和杂草生理用水效率与相互竞争, 增加生物质产量, 但也有可能降低作物增产的速度, 而大气臭氧浓度增加, 通常导致了农作物的减产。由于温度的升高和昼夜温差的变化影响了作物适宜性、生产力和品质构成, 使病虫害发生种类、影响范围和作物需水量相应改变, 而炎热的气候将损害籽粒的形成, 引发某类虫害的盛行。极端天气事件所致的旱涝频繁易造成颗粒无收或减产, 加剧水资源的紧张。降雨强度加大、降雨量时空分布不均形成的强水分循环则会改变土壤侵蚀和冲积模式以及暴雨、洪水的发生规律, 增加雨涝和虫害。海平面上升会淹没沿海农业区, 并加大水分的盐度。

在这些气候要素的协同作用下, 欧洲农业生产环境已经并将继续因此而发生深刻的变化。总体上, 潜在积极影响包括北欧出现的生长季延长和新的种植机会的增多, 以及遍布全欧的光合作用和CO₂肥效作用的增加, 但是, 这些积极影响被农业需水量和缺水期、病虫害的增加以及南欧一些地区种植机会的减少所抵消, 而大气臭氧浓度

的增加还会对欧洲中纬度地区的农业产生重大的负面影响。

虽然气候变化对欧洲农业的经济影响因相应政策、市场作用和持续的农业耕作技术的发展难以确定, 但是, 气候变化使欧洲农业更加脆弱却毋庸置疑。人为的管理措施将在适应气候变化方面发挥重要作用, 而这些措施具有两面性, 既可以抵消也可能加重对气候变化的影响。

一、欧洲气候变化的历史演进与未来情景

政府间气候变化专门委员会(IPCC)研究指出: 近百余年, 特别是近40年来全球气候系统变化, 本质上源于大气中CO₂等温室气体和悬浮颗粒物浓度的人为升高所引发的温室效应导致全球变暖。这种趋势的强化使全球自然生态系统发生了深刻的变化, 欧洲也不例外。

欧洲观测数据表明: 89%的自然系统变化和94%的生态系统变化与地表温度升高的后果相一致, 这些变化因地域和领域的不同而不同, 但皆源于温室效应引发气候变化所导致的梯级连锁放大效应。

IPCC在《排放情景特别报告(SRES)》中, 根据全球气候模型(GCMs)和全世界未来经济社会

作者简介: 白崇军(1969-), 男, 陕西省科学技术厅 副处长; 研究方向: 科技政策与管理。

收稿日期: 2008年12月01日

排放情景, 对全球未来气候格局的变化进行了评估。《报告》所列出的A1、A2和B1、B2四种排放情景, 代表了在没有统一、明确的气候政策情况下, 全球未来最有可能延续的发展路线图。其中A2和B2因更贴近实际、避免了未来人口增长、经济发展和技术突破的极端理想假设而为众多研究所采用:

A2 全球经济发展很不平衡, 世界人口持续增长, 温室气体排放维持高水平;

B2 全球经济社会环境区域性可持续发展, 世界人口缓慢而持续地增长, 温室气体排放维持中、低水平。

在此基础上, 利用《界定欧洲气候变化风险与影响的区域情景和不确定性预测 (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change Risks and Effects, PRUDENCE)》和《气候变化对欧洲各行业经济影响逆向预测 (Projections of Economic impacts of climate change in Sectors of Europe based on bottom-up Analyses, PESETA)》项目成果, 获得高可信度的欧洲2050-2080年气候变化格局降尺度预测结果: 平均温度升高, 夏季特别是南欧变得更加干燥, 而冬季更加潮湿, 强降雨增多引发洪涝灾害上升, 降雪量和覆盖面普遍缩小, 海平面持续上涨等。

根据上述欧洲气候变化的历史趋势和未来情景, 对其各种影响后果进行实证分析与系统把握, 即可确定欧洲农业气候区划的演变格局, 明确气候变化对欧洲农业的具体影响与应对措施。

二、气候变化对欧洲农业的历史作用与未来影响

(一) 气候变化对欧洲农业历史影响的实证分析

1. 农作物生长季

研究表明: 欧洲多种农作物生长季已经改变。延长的生长季既增加了欧洲北纬区粮食产量, 也扩大了昆虫种群, 促进了新品种在以前非适生区的引种。但欧洲南纬区局部却呈现出生长季缩短的趋势, 由于春季霜冻期推迟带来了更高的霜冻灾害风险。

不断增加的气温极大地影响着欧洲大部分地区的作物生长季。一般情况下, 气温持续高于0℃

天数的增加有利于作物生长, 这一无霜期出现的时段和持续的天数对农业至关重要。目前, 欧洲出现了明显的春种提前、秋收推迟的趋势, 这种生长季的延长对适宜物种增殖, 作物产量提高, 昆虫种群扩大, 以及对霜冻极为敏感的新品种在以前非适生温度区的引种提供了有利条件。管理方式的变化, 如适生品种、种植品种及作物历 (crop calendar) 的调整, 可以弥补因生长季延长带来的虫害等负作用而获益。

很多研究发现, 近30多年间, 欧洲一些地方最后一次春季霜冻和第一次秋季霜冻之间的时间间隔不断变长。有关欧洲1975-2007年生长季分析 (见下页图1) 显示出一个全面而清晰的增长趋势。这一趋势在全欧的分布并不一致, 最大的变化发生在西班牙中部和南部, 意大利中部, 大西洋沿岸, 英伦三岛, 丹麦和欧洲中部。生长季的延长要么由于春季霜冻事件的减少, 要么因为秋季霜冻起点的不断推后。而地中海国家、黑海地区和俄罗斯部分地区则出现了生长季减少的现象。发生无霜期缩短的南欧部分地区, 由于最后一次冬—春季霜冻推迟, 作物遭受霜冻灾害的风险大为增加。

随着上述趋势的不断加剧, 辅之以气温增加的预测结果, 可以预见: 早春晚秋将使生长季进一步延长, 物种不断北移, 而生长季长度主要取决于春秋两季气温的升高。

根据IPCC分析, 在所有气候变化情景中, 欧洲一年四季都会变暖, 但西欧和南欧的夏天将更热, 而北欧和东欧的冬天将更暖和。因此, 北欧和东欧地区的生长季将会因此而进一步延长, 而西欧和南欧夏季面临的水分和高温胁迫将阻碍植物生长。

2. 农作物物候 (生育) 期

研究表明: 欧洲一些物种现在的开花期和成熟期比过去提前了2~3周。如果气温继续上升, 这些物候期将进一步缩短。耕作方法的适应是减少或避免作物全生育期 (crop cycle) 缩短负作用的关键。

农作物物候期的变化为近期气候变化的影响提供了重要证据。尽管物候变化常受到管理方式和新的耕作技术的影响, 欧洲近期的变暖无疑已

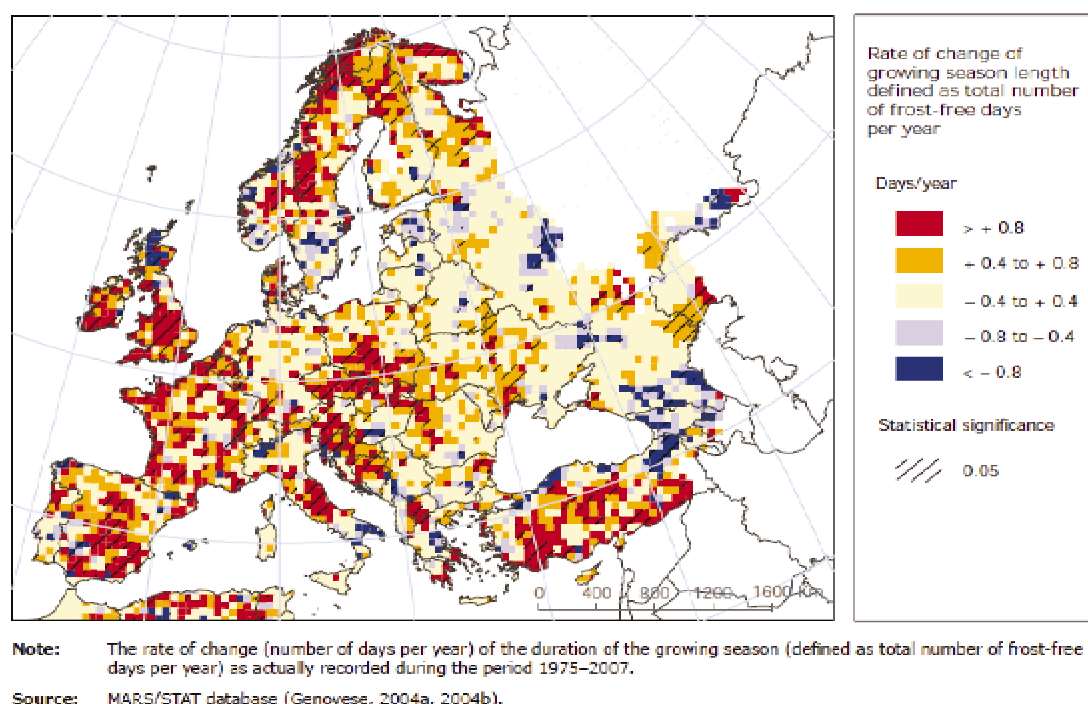


图1 1975–2007年欧洲农作物生长季年均变化天数示意图

上升为农业历法的重要因素。农作物开花、籽粒灌浆等特定生长阶段对气象条件尤为敏感，更是决定最终收成的关键，一般全生育期越长，产量越高，原因是更长的生育期使作物能够最大限度地利用热能、日照和水分。不利的气象条件和极端天气事件之所以对作物的影响差别巨大，在于其发生的时机和作物所处的发育阶段不同。当然，生长季的缩短也可能有利于避免易干旱地区的夏季高温的威胁。欧洲农民已开始通过选择合适的品种或调整作物历来应对气候变化，将来这种作法会越来越司空见惯。

有关研究已根据所收集的数据揭示了欧洲几种多年生作物物候期的变化，例如：德国有些果树生长季起点每10年提前了2.3天，樱桃树开花每10年提前了2天，苹果树开花每10年提前了2.2天，与其年均气温高达1.4℃的增长并行不悖，而法国的杏树和桃树花期则在过去30年中提前了1~3周。另一些作物的播种日期已经提前，其中芬兰的土豆提前了5天，德国的玉米和甜菜提前了10天，而法国的玉米则提前了20天。

如果气候继续变暖，西欧地区的物候变化会持续加速，使其作物的开花期和成熟期所需天数

进一步缩短。但是，由于高温环境下光合作用效率的降低，气温的进一步升高使这些物候期缩减的程度逐步减少。

以欧洲葡萄树的物候变化为例：葡萄酒质量取决于以下因素：葡萄品种、根茎、土壤类型，耕种技术和气候特性。前三者一般不会随时间变化，耕种技术短期内也不会改变，这样一来，气候就成为影响葡萄年度变化、决定葡萄酒总产量和质量的关键。

葡萄酒产区，特别是主产区，仅限于那些局部气候有利于葡萄成分均衡稳定、能充分反映原产地品种特质的生长区。具备这样的小气候需要三个条件：一是充足的热积聚；二是罕见严重霜冻灾害；三是没有极端高温天气。而且，葡萄树夏季要耐旱，而收获期不会下雨，以提高葡萄含糖度并减少病害发生。

由于近些年气温的升高和葡萄成熟期降雨的减少，提高了葡萄含糖量，从而使葡萄酒的潜在酒精度逐步增加，总体质量不断提高。未来可能的影响是：

- 节气变动：由于今后所有物候期时间点的提前，增加了霜冻风险，缩短了成熟期，使收获

期处于高温天气之下,对葡萄酒品质产生负作用;

- 葡萄酒产区向北扩大到更多的高地;
- 水资源减少导致水分胁迫;
- 病虫害变异;
- 葡萄糖分增加导致葡萄酒酒精含量提高、酸度降低,使陈酿酒减少,采后酚含量稀少;
- 自然发酵成分改性。

3. 农作物产量

气候及其变化主导着欧洲农作物的适宜性和生产力。进入新世纪以来,欧洲农作物产量多次受到极端天气事件的影响,如:2003年夏季的高温和2007年春天的干旱,未来这种情况还会因气候变化频率和幅度的增加反复出现。改变耕作方法和土地管理方式是防灾减灾的有效措施。

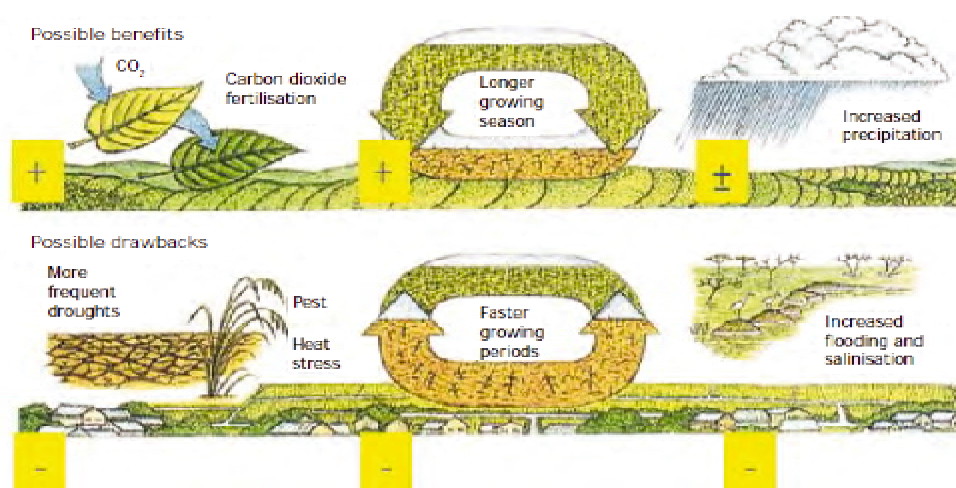
气候变化为未来农业发展带来了新的不确定因素(图2)。水灾、飓风、热浪和严重的旱灾等极端天气频发,使农业气象条件恶化,影响农作物生长所需的光照、温度、降水等能量和水分环境,将最终成为左右农作物产量的主因。其它影响农作物产量的环境和人为因素还有:土壤肥力、作物品种和耕作方法等。这说明,虽然理论上可以通过采取多种适应性措施调整农业耕作方法来应对气候变化,但要做到有的放矢和因地制宜并非易事。

在过去40年里,虽然西欧可耕种面积减少了,但农作物产量基本上一直在增加。进入新世纪,尽管极端天气事件短期内接二连三地发生,但增产的势头仍得以延续。研究发现,近年来,全球降雨强度普遍增加,而气候脆弱性明显的地中海地区则出现了强降雨次数增加但总降雨量减少的现象。总的来看,很难将气候效果从影响农作物历史产量的技术改进等因素中分离出来,调整管理方式仍将是扬长避短,克服气候变化导致农作物减产风险、更好利用气候变化机会的良策。

持续增加的日平均气温对农业产量的影响程度取决于温度增幅和地域范围,欧洲一些农作物如玉米的产区将因此北扩。如果年均气温增加 2°C ,欧洲谷物产量将因此增加,部分原因是 CO_2 肥效作用的增大。如果年均气温升高 4°C 以上,则农作物生育期将缩短,此时, CO_2 的肥效作用将不足以弥补因生育期缩短造成的产量损失。另外,农作物产量还将面临更多的强降雨和长期干旱的威胁,特别是在欧洲地中海盆地周边区域。

4. 农作物需水量

历史趋势表明:地中海等地区需水量大幅增加了50%~70%,而北欧和中欧等地区需水量则大幅减少(图3)。目前的趋势和未来的图景均呈现出农业需水量增加的趋势,预示着未来将出现行



Note: A changing climate will affect agro-ecosystems in various ways, with either benefits or negative consequences dominating in different agricultural regions. Rising atmospheric CO_2 concentration, higher temperatures, changing patterns of precipitation, and changing frequencies of extreme events will have significant effects on crop production, with associated consequences for water resources and pest/disease distributions.

Source: Bongaarts, 1994.

图2 气候变化对农业生态系统正反影响示意图

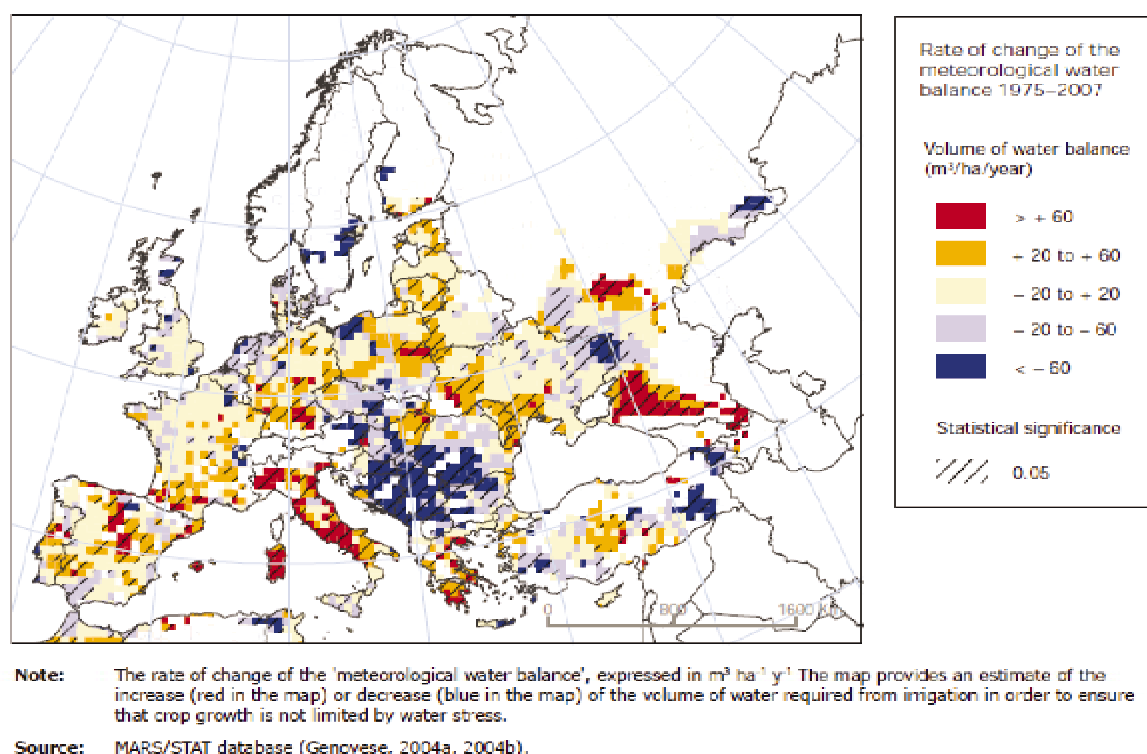


图3 1975–2007年欧洲大气水量平衡变化率（吨/公顷·年）示意图

业间用水竞争加剧的局面。

气候变化主要通过增加大气中的 CO_2 、抬高温度和改变降雨来影响农业。在未来雨量充足的地方，上述气候变化因素会使播种日期提前，作物长势加强，产量增加。但在未来降雨减少的地方，农业对灌溉水需求的增加总体上将对经济和环境产生负面影响。在这些地方，水资源的短缺将导致旅游、农业、能源业等用水竞争的加剧，特别是在农业需水量最大的南欧地区。采取适应性措施会缓解水资源不足的风险，但是，增加灌溉会进一步加重地表水和地下水资源的负担，加大温室气体排放，给缓解带来挑战。

在全欧层面对农业需水量的系统观测还是一片空白，好在现在可以使用气象数据重建局地趋势。从欧洲均衡来看，用水量的需求增速大约为50吨/公顷·年，但在意大利、希腊、西班牙中部、法国和德国南部，这一增幅超过了150~200吨/公顷·年。由于降雨增加，巴尔干半岛、阿尔卑斯地区、斯堪的纳维亚、苏格兰、荷兰、比利时、卢森堡、捷克、斯洛伐克、波兰、匈牙利以及土耳

其很多地方，水量平衡呈上升趋势，而地中海地区则在过去32年中降水严重不足，水量平衡恶化。

目前，对于欧洲灌溉需求的预测还没有量化模型，但很多研究预测：欧洲北部降雨量会增加，而南部会减少，特别是在夏季。

另外，北部出现超强日降雨量的天数将增加，而地中海地区年降雨天数将减少，这使中欧和地中海出现夏季干旱的可能性大大增加。由此对植被生长营养周期的长度和时间安排的改变将直接对农业产生正反两方面的影响。为避免在正常干旱期内农作物在开花、籽粒灌浆等关键发育阶段遭遇水分胁迫，作物管理方式须进行相应调整。

（二）气候变化对欧洲未来农业生产环境的潜在影响

1. 水资源和灌溉

气候变化导致的水文状况的改变将影响农业用水和分布，减少的水源会造成灌溉用水不足，从而使作物的生长受到影响。

对于种植业来说，降雨量的年际变化是作物产量和品质变化的主因，而降雨季节性的改变要

比每年的总降雨量变化影响更大。由于气候变暖、空气变干或多风带来的季节性土壤水分蒸散量的增加,将使农作物的水文情势恶化。如果干燥期发生在关键的发育阶段,就将会导致减产,因为很多谷类作物在开花、授粉和灌浆期对水分充足与否都有较高的要求。由于植被覆盖减少,干旱会加剧风和水的侵蚀,由此影响未来作物的生产力。供水不足还会加大对地下水的抽取,使水资源消耗殆尽。而水分过多的年份也会因涝灾和虫灾的增加而减产。潮湿地区土壤的高墒情也不利于田间劳作,强暴雨则会损伤幼苗并加剧成熟期的作物倒伏。

2. 水质、土壤肥力、盐度和侵蚀

冬季雨水的减少意味着各种残留污染得不到稀释,导致水质的下降,而其它气候引起的作物生长变化,如减产及施肥过多,也将恶化水质。由于干旱或海平面上升导致的盐分增加,将使土地不再适合种植而被撂荒,在极端的情况下还会造成荒漠化。增加的降雨强度会改变土壤侵蚀与冲积的模式,增加的雨洪及暴雨损害,会导致更大的涝害发生。

土壤退化是欧洲土地资源可持续的主要威胁,将伤害欧洲农业成功适应气候变化的能力。欧洲的土壤目前正在经历大范围的水土保持问题,包括高侵蚀率及其对水道的农化污染、土壤有机质的减少与土壤有机碳库的弱化,正在改变不同地区土地管理方式,将随气候变化和极端天气事件的增加而加剧。

土壤侵蚀作为南欧的一大问题,已为小溪与水沟的形成所例证。不过,因片状侵蚀造成大量土壤损失的情况在北欧也已屡见不鲜。而土壤有机质的减少与间作减少有关,特别是与草地及牲畜业与耕地隔离的减少有关。增加有机质,改善土壤品质将仍然是泛欧传统和有机农业的基础。土地使用规划如:休耕政策、植树造林等。管理方式如:施氮、灌溉和深耕等,以及植物对CO₂浓度提高的反应,这些都是影响土壤有机质含量的关键因素。

3. 作物生长条件、生产力与分布

虽然一般而言,温度和CO₂浓度与产量成正向关系,小麦和牧草产量均会因两者的上升而增加,

但并非必然。

更大的大气CO₂浓度具有增加生物质产能以及提高作物与杂草用水生理效率的潜力,但是单靠CO₂的增加并不能等比例提高作物生产力。实验表明:在受控条件下,增加CO₂浓度将显著增产,前提是水分供应、营养、病虫害及杂草竞争均不成问题,且缺一不可。而增加对流层臭氧浓度有可能降低产量,因为臭氧通过叶面张开的气孔进入叶片将产生降低光合作用效率的副产品。

另外,当温度超过作物生长的最佳区间时,植物生长会因此减缓。各物种的最佳适生温度各不相同,且绝大多数不耐高温。在多数情况下,45℃~55℃的高温持续超过30分钟会损伤作物叶片,即使35℃~40℃的低温,只要持续时间足够长,也会损伤叶片。作物还因发育阶段的不同对温度的易损性不同。繁育阶段的高温对作物的杀伤力尤其大。

农业气候区划将随气候变化而改变,这会造成很多本土物种最佳适生区的丧失,特别是传统的树生和丛生水果品种,且这种情况对一些物种和地区而言发生率会很高。另外,高度闷湿、霜冻和冰雹也会影响水果和蔬菜的分布、产量和质量。

4. 畜牧生产

变暖、变干的气候会降低饲草产量,导致最优种植系统的改变,给农牧区带来损失。

在欧洲北部一些地区,气候变暖及生长季的延长,则会增加饲草产量,但因为这些地区冬季的雨水会增多,使其增产潜力不能充分发挥。在欧洲其它一些地方,大豆等新作物将用于加工畜牧饲料。然而,牧草品种的改变与炎热威胁,均会使牲畜圈养的要求增多,从而加大养殖成本。由此所造成的粪便污染,会影响水质。

5. 土地使用

由于特定作物或牲畜生产系统最佳适生区的改变,将导致这些地区原有生产模式难以为继,带来农村收入的减少和土壤的退化。这类原有耕作方法的丧失会造成文化遗产失传,土地撂荒,荒漠化倾向加大。

同时,升高的海平面也会造成土地用途的重大改变。如果海平面上升导致人口中心迁移,无

疑会给当地农业带来间接影响。而迁移的人口需要盖新房,又可能部分造成对耕地的挤占。

6. 农业病虫害

由于新的、更加严重的病虫害的发生,会造成作物减产与品质下降,使农村收入减少。如果采取措施减缓这些风险,又会因杀虫剂的大量使用而造成水质下降。

7. 应急与补救措施支出

为预防或补救极端天气事件造成的损害而被迫加大的支出,将造成农村收入损失及欧洲发达与欠发达地区间经济的不平衡,收入越高的地方,其保险的覆盖面也会越大。这一点在欧洲适应能力差的地区发生的风险很高,而其它地区则风险居中。

8. 生物多样性

气候变化很可能导致物种分布的变化。气候变化发生越快的地方,其自然适应力和多样性丧失的可能越大,特别是地中海地区的物种。由于气候变化导致土地用途改变,将引发生态平衡失调和种群破碎。

三、欧洲农业应对气候变化的适应性措施

目前,欧洲已有25个国家制定或正在着手研究本国农业适应气候变化的国家战略。其中芬兰、西班牙、法国和瑞典的战略已经出台,荷兰、英国、挪威等的战略即将出台,意大利等其他国家则正在着手将这一问题纳入国家气候政策之中。总之,这些已经或将要出台的战略在各级政府层面和各个领域设计,规划了非常宽泛的适应行动,但由于对气候变化的长期性、复杂性,特别是不确定性把握不到位,这些行动计划的实施进展缓慢。迄今为止,多数努力还局限于对洪涝灾害的风险管理以及提高意识、加强研究等方面,并未体现在国家农业政策之中。这些已经提出的适应措施,从适应性质上可分为挑战的应对和机遇的利用措施,从适应类型上可分为管理、技术/设备和基础设施建设措施,从实现途径上可分为提高适应能力、采取适应性行动和自动调节措施,从适应层次上可分为宏观行业和微观农场措施,从空间管理上可分为欧盟、成员国和农业气候区措

施,从时间跨度上可分为近期(5年内)、中期(5-10年)和长期(10年以上)措施。具体分析如下:

(一) 应对气候变化挑战的适应措施

1. 干旱和水资源短缺加剧

应对热胁迫、农作物和牧草产量下降的威胁需要农场层的行动,如变更易受干旱影响地块的用途,改种需水量小的品种和投资雨水收集设备等。

田间管理适应措施包括:混合间作、稀植、引进或改变休耕或覆盖方法等,以最大限度地保持土壤墒情和有机质。由于夏日干旱易引发火情,可采取引入和维护防火道的办法,为火灾易发区提供灭火用水,限制火势蔓延和火灾造成的损失。

农场层投资雨水和家庭杂用污水常年收集设备提供额外的灌溉,有助于维持更稳定的水源供应。采取灌木篱墙、湿地和林地等自然生态恢复措施改进土壤的水分保持、吸收和径流,将有效减缓耕地受强降雨的影响。

夏日牧草的减少会增加牲畜补充喂养次数和成本,对此可通过改变牧草种植和收割作业时间来尽量弥补。

至于因年降雨量季节分布的变化造成冬季降水增加而夏季可用水减少的问题,农场层适应措施包括:改进雨水收集系统,如将屋顶水从地面农肥污染水中分离,改用滴灌等更有效灌溉方法等。这一方面需要培养农户的适应意识,另一方面需要政府提供资金支持,使减少径流的技术与降低补充灌溉需求相统一。国家层面则需要采用收水费或交易许可计划等手段来提高日益稀缺的水资源使用效率。

由于当前的土豆、小麦、甜菜、玉米和蚕豆产量有赖于夏季降水量,未来将因夏季降雨减少而产量下降。农场对此要有准备:一是要改进用水管理,增加灌溉、提高用水效率;二是要增加施肥,降低病虫害对产量的影响;三是要对这类需水作物的种植经济性下降做到心中有数,届时可改种替代作物或新品种。

凡这类地区的农户必须对于干旱增加、供水减少的前景有清醒的认识。考虑到届时其它方面的用水需求也会增加,农口行业需要双管齐下,既

须降低自身用水需求量,又要提高可用水资源的使用效率。

应对单产下降的适应措施与上述抗旱措施相同。以种植新品种为例:更耐热的食用玉米就会比现有品种更适宜未来的种植环境,早种早熟、抢在夏季最高温之前收割也是一种选择,而多样化的轮作活动会更有效。农户对此要心中有数,育种商则需优先考虑培育耐热新品种。

另外,还要考虑市场差异对作物品种的选择作用。如虽然目前土豆品种的主产区将来会因夏季缺水造成的产量下降而不再具备种植的经济性,但届时可采用早种早熟的办法解决降雨不足和热胁迫所致的无利可图问题,甚至可通过早秋复种来增产。

对于畜牧养殖农户来说,传统草料的减产会促使他们种植大豆或三叶草等替代饲料作物。对此,必须给业界提供明确的信息来促成这种转变,而研究机构则需要启动试种或新品种开发项目以寻找当地最佳适应办法。

适应未来水量减少和干旱风险的措施大体可分为三类:一是增加土壤的保水能力以减少灌溉需要;二是增加冬季雨水的收集以增加后续灌溉供水;三是改进灌溉用水的效率。

通过增加土壤中的有机质来改善土壤结构可以增强土壤的保水能力。采取保护性耕作的办法可能会起到既减少耕作又不增加径流的作用,如辅之以等高篱笆种植的等高耕作法或在低田边建缓冲带的办法有助于达到上述效果。而从夜灌到滴灌等很多方式都可减少蒸散作用、提高灌溉效率。

上述措施都是农场主使用现有技术就可以做到的办法。管理机构还可通过经济手段刺激高效用水的创新。

除了农作物生长受到缺水的威胁,产量也会因此而减少,甚至在水分充足的情况下,仅由于温度升高对蒸散效应的加强即可导致减产。农场的应对措施包括秋播和春播提前以使成熟期赶在夏季高温之前,或改种耐旱品种,将现有不耐旱品种移到别处种植,不过这种做法对于未来大面积的干旱难以凑效。

降雨减少、蒸散增加将造成供水不足,而温

度的上升会加大其它行业的用水需求,这将激化水资源的供需矛盾。因此,将来农业要想增加灌溉,必须内部挖潜。这就要靠提高灌溉用水效率的同时在农场配套雨水收集设备或就地建小水库来实现。政府可通过重商抽水许可证或引入消费征收与交易许可机制来提高农户用水效率。

2. 农作物生产力下降

尽管欧洲总体作物生产潜力会因一些地区的生长季延长、耕作区北扩和大气CO₂浓度增加而大大提高,但单产却会因夏季高温导致的光合作用增强、光合作用减少而下降。农场层对此的主要适应战略包括种植更耐旱品种、春秋早种早收避开夏季高温,作物育种机构需要重点对此攻关。

农场从现有冬冻品种改种黑醋栗等低冷品种可避免产量损失。

目前,对土地撂荒风险还缺乏具体应对措施。为减少这种情况的发生,须采取大范围的基础设施建设来支撑传统作物、畜牧的具体保产措施,或吸引新企业。

3. 农作物品质下降

高质量的葡萄酒生产需要低温天气,因为温度升高会造成酿酒所需葡萄品质的下降,而通过增加CO₂浓度改变葡萄的酸甜度也会降低优质葡萄酒的品质。保温膜和温度计等保护性、监测性设备的使用可以更好地控制温度,避免强光直接照射,阻止水果中矿物质的退化,但成本很高。

4. 农业病虫害增强

农场引种相应的耐热旱、抗病品种是减少新病虫害扩散危害的措施之一。开发可持续的新型综合杀虫剂策略是对付科罗拉多甲壳虫或欧洲玉米螟等新害虫的技术措施。有效实施这些措施都需要遗传育种筛选等基础设施来支持。另外,还需考虑新杀虫剂对水质的潜在影响。在温室中使用自动调温器和快速制冷装置可减少病虫害发作。牲畜疾病的适应措施主要是做好家养和野生种群的免疫工作。

气候变暖会导致新病虫害及其目前发作频率和强度的变化。对此,研究机构及其服务部门需识别、评估潜在的风险、开发出针对新的病虫害图谱的新型可持续综合杀虫剂策略,如:相应的耐热旱、抗病品种及最大限度利用生物防治的方

法以及控制计划并传授给农户。现在有很多国家可提供精确的病虫害预警服务，将来会在这方面派上用场。

5. 洪涝灾害加大

为减少雨涝对作物与家畜健康的影响，农场需要提高土壤排水能力。但这样做会增加溪水和河水流量，给下游带来水灾风险。最终解决这一问题要靠最大限度消除雨涝负作用信息的传递，并建议农户不要在雨涝易发地养殖牲畜。

对于建筑物和设备的保护要靠农场购买足够的保险。耕地保护措施主要是通过采取从改进土壤结构等，到高耕作等方法，来增加土壤渗透能力。种植篱笆等隔离防护带可阻断坡面流，增加农场无排水设施的保护性林地面积，有助于缓解峰值雨强，使土壤向河道排水的流速减慢。为此，政府要通过适当补偿鼓励农户保护河滩地。应该说明的是，单靠农场采取管理措施不足以应对这一风险，还需要修建坚固的防御和排水系统等基础设施。

对于极端降雨事件增加引发洪水以及冬季降雨增多的问题，改进的农田排水系统可减少雨涝风险，从而降低农作物减产或家畜患病率。而涝土可成为缓冲器，使土壤排水速度变慢。改进农田排水会增加其它地方的洪灾风险，因此，政府防洪部门需与农业部门协作，增加农场滩地面积，使高涨的河水从人口中心分流出去。

6. 水质退化

水质所受威胁主要是点源污染的增加。农场层措施是减少农地径流，特别是牲畜粪便污染。如果春季施肥后下大雨，也会造成污染扩散，这要求对施肥方法和效率予以改进。

点源污染的增加来自冬季施肥，因此土壤侵蚀径流到河道中沉积，对此农户，一方面需采用最佳方法来施农肥、化肥，另一方面要在河道边种植篱墙、防护林等隔离带，减少养分流失，控制土壤侵蚀。

7. 冰川消退和永久冻土带改变

温度上升会导致阿尔卑斯地区和北极冰川消退、积雪厚度减少。为此，依赖冰雪融化给生活和农业供水的阿尔卑斯和比利牛斯山区须投资建设水捕获与存贮系统，来补偿预计的季节性降水

量变化带来的影响。

北极地区融化的冻结带正在影响建筑物、道路和其它基础设施的稳定性，而且随温度进一步升高，影响的广度和深度都将加剧。目前，结构性修复与维护已在影响最严重的地区展开，其它地方也需就此实施保护性计划。

8. 畜牧生产条件恶化

更湿润的冬季气候以及田野春季仍然水涝的风险意味着反刍牲畜舍养期将延长到春季，而更炎热的夏季也同样要求牲畜舍养以减少热胁迫或牧草退化。解决这一问题的对策是，改变草场剪切和放牧习惯。如果湿润的冬季让草场湿度一直保持到春天，那么更炎热、更干燥的夏日将使农户能够在晚春收获更多的青贮饲料。热威胁使动物进食减少，从而降低生产力和受孕率，由此威胁牲畜的生存。还有，土壤到秋季需要更长的时间恢复地力，青草会持续生长到年底，会使秋季的放牧期延长到早冬，这将部分补偿早春和夏末减少的放牧机会。

温暖期的延长会加重牲畜的热胁迫，这一方面需要增加遮荫、舍养时间，另一方面要选择合适的替代繁育方式。可考虑在牧场南端种植速生杨柳等增加荫凉，加强畜舍和运输途中的机械通风，并把老式自然通风的猪、禽圈舍改造或新建成机械通风的圈舍。

补充喂养，包括增加灌溉、排水和变更目前放牧习惯的措施有：平衡剪草与放牧、延长与改变放牧时间，增喂豆荚，频繁复种等，以应对养羊、猪和奶牛收入的下降。

夏季升温少雨还会减少草场数量，影响夏季放牧机会。这一问题的适应措施包括：种植大豆等多种新型饲料作物，或增加早春和暮秋饲草用量。

上述措施所导致的养殖成本上升、收入下降的问题，也可能通过改变现有放牧模式来弥补。另外，对于不必密集喂养的食谷动物和反刍牲畜，可通过种植速生杨柳遮荫带来降低成本，如改养更耐热的牲畜品种，还需要科研攻关。引种新型耐旱、耐热饲草品种也存在同样的问题。

9. 海平面上升

海平面上升是最需要修建基础设施来解决的

问题。对此,政府要在修建坚固的防洪设施还是弃置土地之间做出抉择。对保护土壤免受盐水侵蚀要加强研究,对因实施沿海农业环境计划导致农民失去土地要预研补偿措施。如修建海防,则要优先考虑对人口中心的保护。还有,这一问题需要放在国家甚至超国家层面来解决。总之,要在充分评估的基础上制定完整的策略,否则代价高昂。

(二) 利用气候变化机遇的适应措施

1. 农作物分布变化导致最佳耕作条件和生产力增加

这方面的机遇需要用管理和技术手段来利用。新品种的引种首先需要管理上采取措施,因为实现更大增产的主要障碍可能是缺乏新作物生产知识和恰当的设备。如用小麦替代大麦可增加总产潜力,但又受到土壤类型的限制,因为小麦适宜在保持水分的土壤中高产,而大麦则适宜在轻质沙土中生长。引种新的作物还需要技术的支持,否则农户会无所适从。霜冻的减少也会改变适生作物范围,但需要了解替代作物耕作的技术信息,如土质条件,施肥要求,病虫害威胁和收贮方法等。

更长的生长季节将为生物质作物种植提供机会,这不仅需要农户掌握相应耕作技术知识,还需要对应产品市场的创建,以确定具体种植规模和销路。另外,改种早熟品种将因生长季延长而获得最大产量。

改种新水果品种替代传统水果需要相应技术支持,如新气候环境下的适生品种,病虫害问题和当地土质评估。如高北区富含有机质的无酸排放土壤适种蓝莓,而黑醋栗则需种在碱性土质中。还有,温度上升、生长季延长会有利于蔬菜和豆类等种植,但前提是政府要事先对气候和土质条件做好评估,筛选出适合的品种,并教会农户如何种植。

2. 畜牧生产力提高

温度升高、生长季延长、饲草产量增加意味着牲畜舍养成本会下降。反刍动物可因此增加放牧时间,食谷动物会因此降低冬季供暖支出。而豆类饲料的扩大种植将进一步减少饲料投放。上述现象在很多地方基本不需要额外投入。

虽然冬季降雨增多会使很多地方雨涝增加,但对其它地方则不成问题。即使易发生水涝的地方,也可因青贮饲草的增加而受益。

另外,温度升高还将改善温室农业生产条件,减少供暖需求,还可能为地热资源的利用提供机会。

(三) 欧洲农业实施适应性措施面临的挑战

1. 制定适应性规划

适应性规划的制定有其内在的挑战:气候变化的不确定性,过长的规划期,正负效应的权衡,地区机会与风险同在,以及适应性措施的经济性,都是适应决策需要考虑的因素。

知识的有效转移是适应性行动的前提。目前,这一领域的知识在科学家、政治决策者和受影响民众之间的转移很弱,已有信息应用不足。存在的问题:一是当事人数量和范围不清;二是气候科学及其影响预测本身的不确定性,让人无从把握、无所适从。

一方面,需要通过科研来充实气候变化的知识基础,另一方面,制定适应政策,采取适应行动决策所需的气候变化科学依据不足,还需要开发出适合的方法来评估影响和脆弱性并据此找出经济可行的适应措施。从农业整体看,给所有当事人提供采取适应性决策的直接信息很重要。另外,对农户行为的更大影响,如需求和市场价格的变化,必须与气候变化一同考虑。

农业不仅涉及作物和畜牧生产,还包括对人、供应链、市场、建筑和运输基础设施、保险等的管理。气候变化对这些领域的间接影响将在农场层伴随作物生产而产生累积效应。

适应性措施的开发还必须考虑未来的社会经济和气候变化情景。决策参与者必须理解未来气候与未来社会的关系,必须将适应性决策置于可信的社会经济情景框架之下。

既然理解气候变化、开发适应措施需要考虑如此众多的竞争性力量和相关因素,农业培训和咨询机构的作用则不容轻视。虽然有很多简单的适应措施,理论上可用于解决某种特定风险,但只有在对应环境下才能行得通。

最后一项挑战是资金。虽然很多适应性措施对单个农户是低成本且技术上可行的,但仍有大

量适应性措施需要长期的执行，为让农户接受这些措施，必须有相应的资金支持此机制。

2. 生态系统平衡与生物多样性保护

农业的适应性措施对生物多样性有正反两方面影响。

食物生产的改变会对生物多样性产生重大影响。新作物品种和耕作方法的引进会产生多种后果，如作物开花的增加有益于采花蜜的物种，而水果生产的加强对野生动物不利。农业生产区划的改变难以预测，如果物候变化与农业耕作方式变化不同步，将对生物多样性产生不利影响。

生物燃料和生物质作物的影响取决于所种植作物类型和生产强度。例如：种在退化土地上的短期轮伐林特别是栽植当地品种的情况下，可带来一些收益，但是密集的单一栽培会减少栖地连结，给物种播迁造成的障碍。

增加栖地连结促进物种播迁是保护生物多样性的主要目标，但实现这一目标的最有效手段还存在不确定性，特别是当不同的物种在不同尺度上扩散时更适用不同的方法。在各种空间尺度上对一系列措施进行测试将为指导未来规划与实施提供依据。

农业活动影响着各种生态系统的运转。维持对农业有益的生态系统服务与生物多样性保护紧密相连。

四、对中国未来农业发展的启示和建议

（一）高度重视并加强气候变化对中国农业影响的战略和对策研究

气候变化是全球和我国农业可持续发展面临的重大问题。不论旨在减缓气候变化的国际温室气体减排进展如何，未来几十年大自然和人类都将不可避免地面对历史和现实排放所造成的气候变化，并努力适应。气候变化导致的农作物生长季延长和全球变暖会给农业带来好处，但减少的水资源与更频繁的极端天气将恶化农作物的生存环境，给我国未来的农业发展带来严峻挑战。

根据中国农科院的研究预测：今后20-50年间，我国农业生产将受到气候变化的严重冲击。按照目前的趋势，全国平均温度升高2.5℃~3℃，将导致我国水稻、小麦和玉米三大主要粮食作物

产量持续下降，加上农业用水减少和耕地面积下降等因素，2050年我国粮食总生产水平将比目前降低14%~23%。

因此，加强对气候变化的基础性、前瞻性研究，建立适合我国国情的区域气候降尺度分析预测模型（RCM），全面把握气候变化对我国农业未来发展的潜在影响，有效制定农业应对气候变化的战略和政策，主动提高农业适应气候变化的能力，做到因势利导，因地制宜，趋利避害，对于引导我国农业可持续发展、保障粮食安全意义重大。

（二）加强农业应对气候变化基本能力建设

农业是国民经济的基础，无农不稳，有粮则安。但是我国农业的基础薄弱，仅每年遭受各种气象灾害的作物面积达5000万公顷。随着未来热浪、暴雨、旱涝、台风等极端天气灾害频率和强度的加剧，我国农业生产可能面临着更大的损失。

面对气候变化的严峻形势，必须全面加大对农业的投入力度，加强管理、改善农业灌溉和排水等农田水利基础设施，优化农业生产条件，提高应对极端气候事件及其衍生灾害对农业影响的监测、预警、分析和防范能力，特别要加强对春季霜冻、夏季热浪、干旱、暴雨、洪涝、台风、大范围低温、雨、雪冰冻等因气候变暖而加剧的灾害预防能力建设。

（三）突出科技创新在农业应对气候变化中的支撑和引领作用

应对气候变化对农业的挑战和机遇必须因地制宜，依靠科技，趋利避害。面对气候变暖对我国农业生产环境造成的系统风险，我国农业在技术方面适应气候变化的能力亟待提高。

对此，要在气候变化战略研究的基础上，根据我国气候变化的历史趋势和演变路线，把握农业气候区划的变动方向，有针对性地加强优良抗逆品种选育和栽培技术研究、推广，适时调整、优化农业种植结构、区域布局和管理、耕作方式，开发适应气候变化的新技术、新方法，确保农民能够不误农时、根据耕地情况种植相应的最佳作物品种，增强依靠科技适应气候变化的能力，将农业损失减少到最低程度。■

参考文献:

- [1] Impacts of Europe's changing climate— 2008 indicator-based assessment, Joint EEA-JRC-WHO report, September 2008.
- [2] Report to European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development: Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector, AGRI-2006-G4-05, AEA Energy & Environment and Universidad de Politécnica de Madrid, December 2007.
- [3] China-UK collaboration project: Investigating the impacts of climate change on Chinese agriculture, April 2004.
- [4] Impacts of Europe's changing climate— 2008 indicator-based assessment, Joint EEA-JRC-WHO report, September 2008.
- [5] Report to European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development: Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector, AGRI-2006-G4-05, AEA Energy & Environment and Universidad de Politécnica de Madrid, December 2007.
- [6] China-UK collaboration project: Investigating the impacts of climate change on Chinese agriculture, April 2004.

Systematic Impacts of Climate Change on European Agriculture and Adaptation Options

BAI Chongjun

(Shaanxi Provincial Science & Technology Department, Xi'an 710006)

Abstract: Based on the historic evolution and future scenarios of climate change over Europe, the article systematically analyzed its past and potential impacts on European agriculture and provided corresponding adaptation options of Europe and its revelations suggestions on Chinese agriculture.

Key words: Europe; agriculture; climate change; impact; adaptation.