

# 气候变化与 中国粮食安全

居辉 熊伟 马世铭 谢立勇等著



---

中国农业科学院 林而达 居 辉 熊 伟 马世铭 杨 修 马春森  
马占云 王贺然 李迎春 韩 雪 郝兴宇  
沈阳农业大学 谢立勇  
内蒙古农业大学 李立军

---

摄 影           ○绿色和平 / John Novis 匡 钢 马美艳 黎民富  
耿云生 张 涛 杜 江 部分图片由 CFP 提供

---

绿色和平协调员 潘文婧 李 雁 罗媛楠 郑明清

**GREENPEACE** 绿色和平

# 目 录

## 1

### 摘要

## 5

### 第一章 中国农业与气候变化

- 1.1 观测到的气候变化对我国农业的影响 /6
- 1.2 预估未来气候变化对农业影响 /11
- 1.3 气候变化与未来粮食安全 /16

## 25

### 第二章 生态农业与气候变化

- 2.1 生态农业的特点 /26
- 2.2 生态农业模式的内涵与类型 /28
- 2.3 生态农业与气候变化响应的关系分析 /29
- 2.4 生态农业模式案例分析 /32

## 37

### 第三章 生态农业与气候变化的减缓和适应

- 3.1 生态农业与减少 GHG 排放 /38
- 3.2 生态农业与固碳 /42
- 3.3 生态农业与病虫害防治 /46
- 3.4 生态农业与生物多样性保护 /50
- 3.5 生态农业与农民生计多样化 /53

## 62

### 第四章 生态农业应对气候变化的案例

- 4.1 辽宁省冬麦北移 /63
- 4.2 内蒙古旱地保护性耕作 /65
- 4.3 农田林网生态农业模式 /71
- 4.4 农业适应的区域发展案例 /72

## 75

### 第五章 生态农业适应气候变化的对策与建议

- 5.1 开展气候变化条件下的生态农业建设 /76
- 5.2 普及低成本的生态农业适应技术 /76
- 5.3 提高公众的生态农业和气候变化适应意识 /77
- 5.4 制定适应行动的激励政策 /77
- 5.5 适应的行动建议 /78

# 摘要



全球气候变化已经成为人类面对的一个重大挑战,将对人类活动的各个方面产生影响,其中包括对人类赖以生存的农业生产的影响。对于中国而言,农业一直是和社会经济发展的基石,但由于我国农业人口多,资源压力大,地域类型复杂、各地气候差异明显等特点,致使我国农业成为气候变化影响最敏感的领域之一。在此背景下,生态农业显示出明显的优势。分析气候变化对我国农业与粮食安全的影响,规避气候变化风险,制定与实施正确的应对措施,特别是大力发展生态农业,对我国农业可持续发展和国家安全稳定均具有重大意义。

## 气候变化威胁粮食安全

气候变化主要通过温度、水资源、极端天气事件、土壤、病虫害等因素影响农业生产,并因区域和季节而异。总体而言,气候变化对我国农业的影响利弊并存,但以负面影响为主。气候变化将造成我国未来粮食生产波动增大,甚至对我国的粮食安全构成威胁。

气候变化以温度上升为主要特征,而温度升高能够直接影响作物的生长发育,从而影响粮食生产能力。预测显示,今后20~50年间,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℃之后,气候变化将导致我国三大主要粮食作物(水稻、小麦和玉米)产量持续下降。最新研究的初步结果显示:温度升高、农业用水减少和耕地面积下降会使中国2050年的粮食总生产水平下降14%~23%。<sup>①</sup>

受气候变化影响,在我国北方地区,温度的升高将加剧水资源短缺,特别是在北方干旱和半干旱区情况更为严重,沙漠化趋势进一步恶化;在长江中下游等地区,强降水事件频率将有所增加,洪涝灾害加重。干旱或降水的发生直接影响或终止农业生产进程,使

一些作物受灾减产或绝收。

在气象灾害面前,我国农业相对脆弱。中国每年因各种气象灾害造成的农作物受灾面积达五千万公顷。随着未来热浪、暴雨、旱涝、台风等极端天气灾害的频率和强度的加剧,农业生产可能遭受更大的损失。

气候变化导致土壤微生物活性提高,加速土壤中有机质和氮的流失,从而加速土壤退化、侵蚀、盐渍化的发展,削弱农业生态系统抵御自然灾害的能力。

气候变化带来的环境变化会加剧病虫害的流行和杂草蔓延。目前我国农业因病虫害造成的损失大约为农业总产值的20%~25%。冬季增温将使北方许多害虫和病原体容易越冬,一年中害虫世代数增多,农田多次受害的机率增大,农业生产将可能面临更多来自病虫害的威胁。

另一方面,气候变化使我国长期形成的农业生产格局和种植模式受到水热条件变化等冲击,特别是纬度较低的地区,但却为中高纬度和高原区发展多熟种植制度带来了可能,比如黑龙江省的水稻种植,还有东北地区的冬麦北移。

为了减少气候变化对农业的负面影响,农药、化肥的施用量和灌溉用水量均相应增大,加上进行土壤改良和水土保持的费用也在增大,都使农业的投资增加,提高了农业生产成本。

目前,受需求增长的影响,特别是严重自然灾害导致世界粮食减产和粮食储备连续下降等因素影响,加上生物燃料异军突起,全球粮价飞涨,而气候变化将有可能使这种局面进一步恶化。对我国来说,气候变化将给粮食生产带来冲击。结合未来粮食需求增长分析,未来气候变化将会影响我国粮食的供需平衡。在温室气体高排放情景下,我国未来社会发展的基本

---

<sup>①</sup> 与2000年的5亿吨粮食生产水平相比。

粮食供给将有可能在2030年前后出现粮食缺口；在中低排放情景下，未来社会发展的基本粮食供应将不存在问题，而社会长期可持续发展的粮食需求将可能无法得到满足。

在此情况下，发展合适的适应政策尤为重要，除了有效利用良好的灌溉条件、调整播种日期、适当更替品种之外，应当更大力度地发展生态农业这种既有助于实现农业减排，又能够保证农业生产的一举两得之选。

## 生态农业的优势

本书提出，与现有的过度依赖化肥和农药的农业生产模式相比，综合的生态农业体系既可以有效地减少温室气体的排放，而且也由于其本身的特点，它在气候变化带来的温度升高、水资源匮乏、极端天气事件频发、土壤变化和病虫害频发等情况下，能够更好地适应和保证我国农业生产和粮食安全。

生态农业的主要特点是通过生物措施保持土壤肥力，尽可能减少外部投入，最大限度减少对人工合成的化肥、农药的依赖，更多地利用自然的调控机制，合理利用和保护自然资源，建立因地制宜的多样化生产模式。

生态农业模式具有减排和固碳功能，可以减少温室气体的排放。

首先，生态农业系统能够减少甲烷等温室气体的排放。报告指出稻-鱼生态农业系统改善了土壤的氧化还原状况，显著降低了甲烷排放通量，而稻-鸭系统也有利于改善田间小气候，减少甲烷的排放；发展农村沼气可以减少有机肥处理过程中的甲烷排放，在2010~2050年间，沼气替代生物质能和煤炭可使CO<sub>2</sub>年排放减少307.77~4592.80万吨，SO<sub>2</sub>年排放减少13.11~98.87万吨，使用有机肥还能减少对氮肥

的依赖，降低氧化亚氮的排放。

其次，生态农业具有固碳作用。本书说明实施退耕还林还草、减免耕、秸秆还田等保护性耕作的生态农业方式，能够极大地增加我国的碳储量，改善生态环境，减缓气候变化的影响。

生态农业作为一种综合的、系统的、因地制宜的农业生产方式，与其他方式相比能够更好地应对气候变化。本书通过辽宁省冬麦北移和内蒙古自治区保护性耕作等具体案例说明了生态农业适应气候变化的潜力。

生态农业能有效控制病虫害，减少农药投放量。比如增加农田的物种多样性，利用物种间相生相克的自然规律，能够有效地减轻植物病害的危害，可大幅度减少化学农药的施用和环境污染。

在我国云南省进行的试验表明，净栽易感的糯稻品种，稻瘟病的平均发病率为20%，而与其他品种混栽，稻瘟病发病率则仅为1%。杂交稻与糯稻混栽减少了因稻瘟病和倒伏引起的产量损失，增产6.5%~8.7%。综合使用物理的、农业的及生物的防治措施也可以达到更好的控制农业病虫害的目的。

本书指出通过在保护地黄瓜间作茼蒿，采用稻-鸭、稻-鱼等综合种养模式可以实现病虫害的综合防治，不仅增加了农民收入，而且降低了除草剂和杀虫剂对自然生态系统的人为干扰。有研究表明，稻-鸭共作对稻飞虱的综合防效达到65.5%，连续4年稻-鸭共作，对田间杂草的控制效果甚至高达99%，可使水稻纹枯病病率减少56.0%，病株率减少57.7%。气候变化有可能导致病虫害加剧，而生态农业模式下，既能保证一定的粮食产量，又有利于减少农业污染。

辽宁省和内蒙古自治区案例具体分析了生态农业模式在应对气候变化中的重要作用。冬麦北移能高效的利用土地和气候资源，改进间套作模式，增加复种

指数,为生态农业的发展和气候变化的适应起到积极的作用。保护性耕作通过免耕、少耕、地表覆盖等措施,可以增加天然降水渗入,大幅度减少地表径流和蒸发,增强抗旱节水能力,有效缓解气候变化带来的不利影响。保护性耕作可以调节旱作农田的温度和水分变化、降低农田呼吸和增加土壤碳储量、防止风蚀水蚀和防御沙尘暴、改善农户生计和增加农民收入,对提高气候变化适应能力具有一定的实施潜力。另外,农田林网是农林结合的复合农业系统,具有防止风沙干旱、调节气候、改善农业条件、保障农业高产稳产等功能,也能够更好地适应和减缓气候变化。

## 政策建议

面对严峻的气候变化的挑战,制定适宜的应对措

施,对于保障粮食安全推进中国的可持续发展具有十分重要的作用。

在适应气候变化方面,本书认为应积极开展生态农业,以促进环境发展和农业稳定。具体建议为:

1. 开展气候变化条件下的生态农业建设;
2. 普及低成本的生态农业适应技术;
3. 提高公众的生态农业和气候变化适应意识;
4. 增加农资补贴,保证农民利益和种粮积极性;
5. 加强农业基础建设和农业科技创新,因地制宜地开展各种适应措施。

在开展农业适应措施的同时,大力调整我国能源结构,提高能源使用效率并发展可再生能源,以控制温室气体排放,从而从源头上减缓气候变化也是必不可少的。



# 第一章 | 中国农业与气候变化





全球温室气体增加导致的气候变暖已成为人们关注的焦点。政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第四次评估报告明确指出,最近一百年 (1906~2005年) 全球平均地表温度上升了  $0.74^{\circ}\text{C}$ , 自 1850 年以来最暖的 12 个年份中有 11 个出现在近期的 1995~2006 年 (除 1996 年)。多模式多排放情景的研究预估,到 21 世纪末,人类活动造成的温室气体增加将使地表平均气温比 1990 年增加  $1.1\sim 6.4^{\circ}\text{C}$ , 平均海平面增高  $18\sim 59\text{cm}$ , 尽管预测的结果中还有一些的不确定性,但气候变化对人类的影响已成为公认的事实。

农业一直以来都是我国社会发展的基础,但我国农业人口多,生产面积大、地域类型复杂、气候差异显著,因此也是气候变化最敏感的领域之一。同时,我国几亿人依赖农业生存,气候变化会造成我国大多数主要作物水分亏缺,生育期缩短,产量下降;使我国现行的农业种植制度发生改变;未来农业气象灾害会更加频繁,农业生产的不稳定性加大,农业在气候变化下变得更加脆弱。中国是一个农业大国,也是一个人口大国,气候变化对农业的影响由于作物种类、区域、环境条件等因素的不同而不同。农业生产特别是粮食生产直接关系到社会的稳定和可持续发展,明确气候变化对我国农业与粮食安全的影响,规避气候变化风险,把握发展机遇,对农业持续发展和国家安全稳定都具有重要意义。

## 1.1 观测到的气候变化对我国农业的影响

气候变化以温度上升为主要特征,我国近 100 年来增温  $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ , 近 50 年以增暖尤其明显,且主要发生在 20 世纪 80 年代中期后。1951~2001 年,我国年平均气温整体的上升趋势更加明显,51 年间平均气温上升了约  $1.1^{\circ}\text{C}$ , 四季平均气温都呈上升趋势,其中

冬季上升趋势最明显,其次是春季(气候变化国家评估报告, 2007)。我国近百年来年降水量变化不明显,仅有微弱的减少,但年际和年代际间存在一定的振荡。从 1902~2001 年季节降水量变化来看,秋季和春季分别减少了  $27.3\text{mm}$  和增加了  $20.6\text{mm}$ , 而夏季和冬季的变化趋势则不明显。从近 50 年来看,我国年降水量呈现小幅增加,但地区差异明显,东北东部、黄淮海平原和山东半岛、四川盆地以及青藏高原部分地区的年降水量出现不同程度的下降趋势,其余地区降水量出现不同程度增加(气候变化国家报告, 2007)。

### 1.1.1 对农业生产环境的影响

气候变化主要通过温度、降水、 $\text{CO}_2$  浓度、极端天气及气候事件等影响农业, 并因区域和季节而异。总体而言,气候变化对我国农业的影响利弊并存,但以负面影响为主。

**温度** 气温上升改善了农业热量条件,我国北部地区表现相对明显,高温使区域的低温冷害减少,种植期延长。例如,辽宁省苹果生产中遭遇  $\geq 4$  级冻害的频率已由上世纪 50 年代的 80% 下降到 20%, 冻害程度明显降低(李丕杰等, 2001), 吉林省的玉米品种熟期较以前延长了  $7\sim 10$  天,且中晚熟品种种植面积增长迅速(潘铁夫等, 1998)。温度升高也改善了西北地区的作物生长有效积温,甘肃省日平均气温  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  期间活动积温 1987~2003 年与 1961~1986 年相比平均增加  $161^{\circ}\text{C}$ , 该地区  $< 0^{\circ}\text{C}$  期间负积温绝对值的年代际变化呈持续减少趋势(刘德祥等, 2005)。抗寒能力低的水果产业在西北地区得到发展,以往仅是小范围家庭种植的葡萄、苹果现在大规模种植,促进了区域酿酒和水果加工经济发展(居辉等, 2007a)。

但地表温度的上升也给我国农业发展带来诸多不利条件。对于作物个体来讲,温度升高会增加农作物的呼吸消耗,影响光合作用的进行,子粒灌浆不充分,

导致作物减产。此外,较高的温度还可能加快农作物的生育进程,甚至中断或终止作物的正常生育过程(杨永岐等,2001)。高温胁迫也会导致作物的水分胁迫更加严重,使水分成为农业生产的重要限制因子,导致缺水干旱严重,农业生态环境更加脆弱。气温的升高对农作物害虫的繁殖、越冬、迁飞等习性产生明显影响,使作物和家畜病虫害的地理范围扩大,尤其是目前受热量限制的病虫害会向较高纬度地区扩散,使中高纬度地区的病虫害加重(蔡运龙等,1996)。如果作物无法适应其生长地区的温度变化,人们不能根据温度上升的幅度和当地气候特点及时调整种植结构和制度,温度上升的负面影响可能会抵消其为改善农业生产环境所带来的正面影响。

**降水** 由于气候变暖导致水分蒸发量增加,降水量相应增加。在20世纪,全球陆地降水增加了约2%(Jones P D, et al., 1996; Hulme, M et al., 1998),但我国降水的有效性区域差异明显。在我国北方地区,由于温度的升高,积雪融化提前,雨季提前,夏季干旱较为明显,北方干旱和半干旱区情况更为严重,沙漠化趋势进一步增加(王铮等,2001;叶柏生等,2006)。近20年来,中国黄土高原土壤湿度下降、华北地区有暖干化趋势,导致北方地区可用水量减少(陈少勇等,2008;居辉等,2007b)。尤其近10年来,南涝北旱现象尤为明显,不仅洪灾受灾面积增加,而且旱灾受灾面积也在增加,突出表现为1998年长江流域大水和2003年的淮河流域大水,以及上世纪90年代中后期黄河下游愈演愈烈的断流问题(叶柏生等,2006)。与降水相关的极端气候事件变化具有明显的区域性,近50年来长江中下游流域和东南丘陵地区夏季暴雨日数增多较明显,西北地区强降水事件频率也有所增加。中国西北东部、华北大部和东北南部干旱面积呈增加趋势。干旱或强降水的发生直接影响或终止农业生产进程,导致一些作物受灾减产或绝收。

**大气** 气候变暖主要是由于人类活动向大气排放的温室气体增加所致,其中CO<sub>2</sub>是主要的温室气体之一,其增温贡献占到全部温室气体的一半以上。CO<sub>2</sub>浓度的增加,使绝大部分作物的CO<sub>2</sub>交换速率、净同化速率、生物量和产量增加,而气孔导度、蒸腾却相应降低,所以其直接效应有利于作物光合利用率提高,对作物有增产作用,一般而言,C3作物(如小麦、水稻、大豆等)较C4类作物(如玉米、高粱等)增产表现明显(吴志祥等,2004)。CO<sub>2</sub>浓度的增高,导致植物的光合作用增强,还会使作物根系吸收更多的矿物元素,有助于提高作物产品的矿物元素含量。气候变化后植株代谢过程中含碳量增加,含氮量相对降低,蛋白质会降低,粮食品质有所降低,经济系数也可能下降;对豆科作物而言,CO<sub>2</sub>增加可通过光合作用速率提高而增加其固氮能力,但温度的升高又会减弱固氮作用和增加固氮过程中氮的能量消耗,气候变化会使豆类的含油量和油分碘值下降,而蛋白质含量有增加的趋势(吴志祥等,2004)。因此,在农产品加工过程中,对于不同作物及其品质特性需要加以考虑。

**土壤** 气候变化导致土壤微生物活性提高,增加了土壤有机质和氮的流失,加速了土壤退化、侵蚀、盐渍化的发展,削弱了农业生态系统抵御自然灾害的能力。在内蒙古草原区,近20年来冬季增温明显,春旱加剧,沙尘暴现象日趋明显和严重,经常埋没农田、草场等,使草原的生产力和载畜量下降,给畜牧业带来严重损失;东北地区的降水变率增大,极端气候事件(旱涝灾害)的频率和强度明显加强,干旱的现象已经使有些地区出现了土壤盐碱、荒漠化现象,降低了农业生产环境质量;独特的地形和气候使我国西南地区山地灾害频繁,水土流失严重,灾害导致当地土壤质量下降,土壤肥力损失较大,粮食减产严重,四川省坡耕地因为水土流失每年减少粮食产量490万吨,严重影响当地农业经济的发展。土壤有机质分解产生的



干旱影响了春耕



干旱影响了春耕

CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>等温室气体也会改变全球碳循环(居焯等, 2007a)。

### 1.1.2 对农业生产模式的影响

种植制度调整 由于区域热量条件的改变, 气候变化使我国长期形成的农业生产格局和种植模式受到冲击, 特别是目前纬度较低的地区, 但却为中高纬度和高原区发展多熟种植制度带来了可能(徐斌等, 1999; 邓可洪等, 2006)。1986~1995年的10年间, 中国耕地复种指数增加了9.5%, 东北地区耕地复种指数达102%(杜鹃等, 2007)。近20年来黑龙江省水稻种植面积扩展迅速, 以前由于温度限制的水稻禁区伊春、黑河, 如今也可以种植水稻(潘华盛等, 2002)。温度的升高虽然为农业生产提供了更多的热量资源, 但同时也存在诸多的不利方面。由于气候条件的改变, 一些传统的技术正在失去以往的优势, 例如以往北方地区为第二年保墒、疏松土壤, 冬季田间

灌水用以杀死病虫害,但由于气候变暖,冬水的作用逐渐减弱,反而增加了水资源的损耗。所以应注意,在温度升高的同时,土壤水分的蒸散量也将加大,一些作物的可利用水资源量会减少,这种热量资源增加有利因素可能会由于水资源的匮乏而无法得到充分利用(居焯等,2007a)。如在蒸发大于降水的西北地区,即使热量改善,但要增加熟制,水分供给依然是主要的限制因素。

**病虫害加剧** 气候变暖会加剧病虫害的流行和杂草蔓延,目前在我国北方地区出现一些以前没有或是较少的病虫害,尤其是春、秋发生的种类、数量、面积都较过去增加。气候变化(尤其冬季增温)使北方许多害虫和病原物容易越冬,使病原和虫源基数增大;温度升高使害虫发育起点提前,越冬休眠期推迟,一年中害虫世代数增多,农田多次受害的机率增大; $\text{CO}_2$ 增高使植物含氮量下降,引起害虫采食量增大,以满足其对蛋白质的生理需求,农作物的改变和复种指数的增加可能更有利于害虫和病原物的传播和危害(吴志祥等,2004)。如1987年长江三角洲地区稻飞虱大规模爆发,其成因与前期南方地区暖冬少雨有着密切关系;此外,气温升高对农作物害虫的繁殖、越冬、迁飞等习性产生明显影响,使作物和家畜病虫害的地理范围扩大,病虫害的治理难度将加重,环境危害增加,利用生态农业的理念,采用生物防治措施是一个可行的治理病虫害途径。

**农业成本和投资需求增加** 气候变化导致农业投入增加,以减少负面影响,改善农业生产环境。农业病虫害加重,杂草蔓延,土壤有机质分解加快,化肥释放周期缩短,可使农药的施用量增大,加上气候变化还会提高灌溉成本,进行土壤改良和水土保持的费用增大,都使农业的投资增大,提高了农业成本。另一方面,农业生态环境向不利的方向发展也使农业成本增大。

**极端气候增加且损失增大** 温度上升在全球是不均匀的,从而影响到全球天气系统的热动力机制,由此造成极端天气事件时间和分布的改变,灾害频率和强度加大。极端气候是造成我国农业大幅度减产和粮食产量波动的重要因素。据1950~2001年的旱灾资料统计,我国年均受旱面积2000多万公顷,其中成灾930万公顷,全国每年因旱灾损失粮食1400多万吨,占同期全国粮食产量的4.7%(成福云,2002);1950~2006年,我国年均洪涝受灾面积967多万公顷,成灾542多万公顷,其中2006年是我国创纪录的暖年,同年特大干旱、登陆台风和超强台风强度明显提高(秦大河等,2007)。极端气候对畜牧业生产也会产生致命危害,我国牧区在一般年份牲畜死亡率在5%左右,但在寒潮、暴风雪、急剧降温等灾害年份的死亡率可高达24%(吴孝兵,2001)。我国每年因各种气象灾害造成的农作物受灾面积达五千万公顷,受重大气象灾害影响的人口达4亿人次,造成的经济损失平均达2000多亿元人民币,相当于国内生产总值的1%~3%。气象灾害中影响最大的是旱灾,其次是洪涝和风雹灾害。2008年初,我国长江中下游至江南地区发生了历史罕见的低温雨雪冰冻灾害,灾害发生区域的最大连续低温日数、最大连续降雪量和最大连续冰冻日数均为1951年以来历年冬季的最大值,综合各种指标统计其强度为百年一遇(王遵娅等,2008)。据民政部统计,2008年冰冻雨雪灾害受灾人口达1亿多人,直接经济损失超过1500亿元,为近50年来同类灾害之最。极端气候灾害对热量资源、农作物种植结构与种植方式、病虫害害、农作物生长发育、产量和品质都会产生影响,甚至导致我国农作物气候适应性脆弱、农业病虫害加剧,最终导致沙漠化、盐碱化等(魏瑞江等,2007)。

从以上的叙述和分析可以看出,气候变化给某一地区带来的总体影响是正面还是负面,要综合考虑,

可以说气候变化给我国农业不仅带来了机会,也带来了挑战,如何应对气候变化已成为亟待解决的问题。因此气候变化条件下,及时调整农业生产结构,开发新的适应技术,发展生态农业建设,是农业持续稳定发展的必要途径。

## 1.2 预估未来气候变化对农业影响

### 1.2.1 主要粮食生产能力和农业环境的预测

气候变化对农业生产影响评价的一个重要研究内容,是气候变化对我国粮食生产和农业环境的影响,这一直受到学术界和有关政府部门的广泛关注,对此国内外学者开展了大量的研究工作。

未来CO<sub>2</sub>浓度增加,气温升高,在生理上直接影响作物的生长发育,从而影响粮食生产能力。研究认为,较高的CO<sub>2</sub>浓度可以提高作物的水分利用效率和光合作用效率,有利于粮食生产,其中CO<sub>2</sub>浓度升高对C3作物(如小麦、水稻、大豆等)正效应更明显(白莉萍, 2003; Nowak, 2004; Kimball et al., 2002)。然而温度升高又给作物产量带来负面影响,

会抵消CO<sub>2</sub>肥效作用,特别是异常高温会导致不育(Matinez, 2005)。国内外学者利用模拟方法评价了现有的不同气候变化情景下未来(2010~2100年)全球三大作物(小麦、玉米和水稻)产量变化,结果表明,在CO<sub>2</sub>浓度倍增时,高纬度地区温度增加较明显,北半球发达国家的小麦、水稻、玉米将不同程度增产,在中纬度的谷物地带,如美国中部、西北欧等地区,小麦等将会减产;在北欧,小麦、玉米和其他谷物的产量将依赖于降水的变化。

就我国而言,今后20~50年间由于受气温升高的影响(对应着IPCC颁布的最低稳定浓度450~500ppm和600ppm两个情景,具体见表1-1),作物生育期将缩短,农业生产将要受到气候变化的严重冲击(表1-2),如果不采取任何措施未来气候变化将导致我国水稻、玉米和小麦大面积减产(张建平, 2007; 杨修等, 2004, 2005; 孙芳等, 2005; 熊伟等, 2005a; 居辉等, 2005),到21世纪中叶,小麦、水稻、玉米几种作物的产量最多将下降23%(Lin et al., 2005);而且不同区域产量变化存在差异(图1-1),主产区减产明显,个别非主产区减产幅度相对较小,甚

表1-1 气候变化情景(与基准气候1961~1990年的比较值)

| 时段                    | A2(中-高排放情景) |         |  | B2(中-低排放情景) |         |  |
|-----------------------|-------------|---------|--|-------------|---------|--|
|                       | 温度上升(°C)    | 降水增加(%) | CO <sub>2</sub> 体积百分含量(10 <sup>-6</sup> v) | 温度上升(°C)    | 降水增加(%) | CO <sub>2</sub> 体积百分含量(10 <sup>-6</sup> v) |
| 2020s<br>(2011~2040年) | 1.4         | 1       | 440  | 1.5         | 3       | 429  |
| 2050s<br>(2041~2070年) | 3.0         | 5       | 559  | 2.7         | 5       | 492  |

(气候变化国家评估报告, 2007。A2: 中高温室气体排放情景, 反映区域性合作, 对新技术的适应较慢, 人口继续增长; B2: 中低温室气体排放情景, 方案假定生态环境的改善具有区域性。)

表 1-2 预测的未来中国三种主要粮食作物单产的变化情况（与 2000 年的产量水平相比）

| 气候情景 | CO <sub>2</sub> 肥效作用 | 耕作方式 | 水稻单产变化率 (%) |       | 小麦单产变化率 (%) |       | 玉米单产变化率 (%) |       |
|------|----------------------|------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
|      |                      |      | 2020s       | 2050s | 2020s       | 2050s | 2020s       | 2050s |
| A2   | 不考虑                  | 雨养   |             |       | -18.5       | -20.4 | -10.3       | -22.8 |
|      |                      | 灌溉   | -8.9        | -12.4 | -5.6        | -6.7  | -5.3        | -11.9 |
|      | 考虑                   | 雨养   |             |       | 15.4        | 13.3  | 9.8         | 18.4  |
|      |                      | 灌溉   | 3.8         | 6.2   | 20.0        | 25.1  | -0.6        | -2.2  |
| B2   | 不考虑                  | 雨养   |             |       | -10.2       | -11.4 | -11.3       | -14.5 |
|      |                      | 灌溉   | -1.1        | -4.3  | -0.5        | -2.2  | 0.2         | -0.4  |
|      | 考虑                   | 雨养   |             |       | 4.5         | 6.6   | 1.1         | 8.5   |
|      |                      | 灌溉   | -0.4        | -1.2  | 11.0        | 14.2  | -0.1        | -1.3  |

(Lin et al. . 2005)

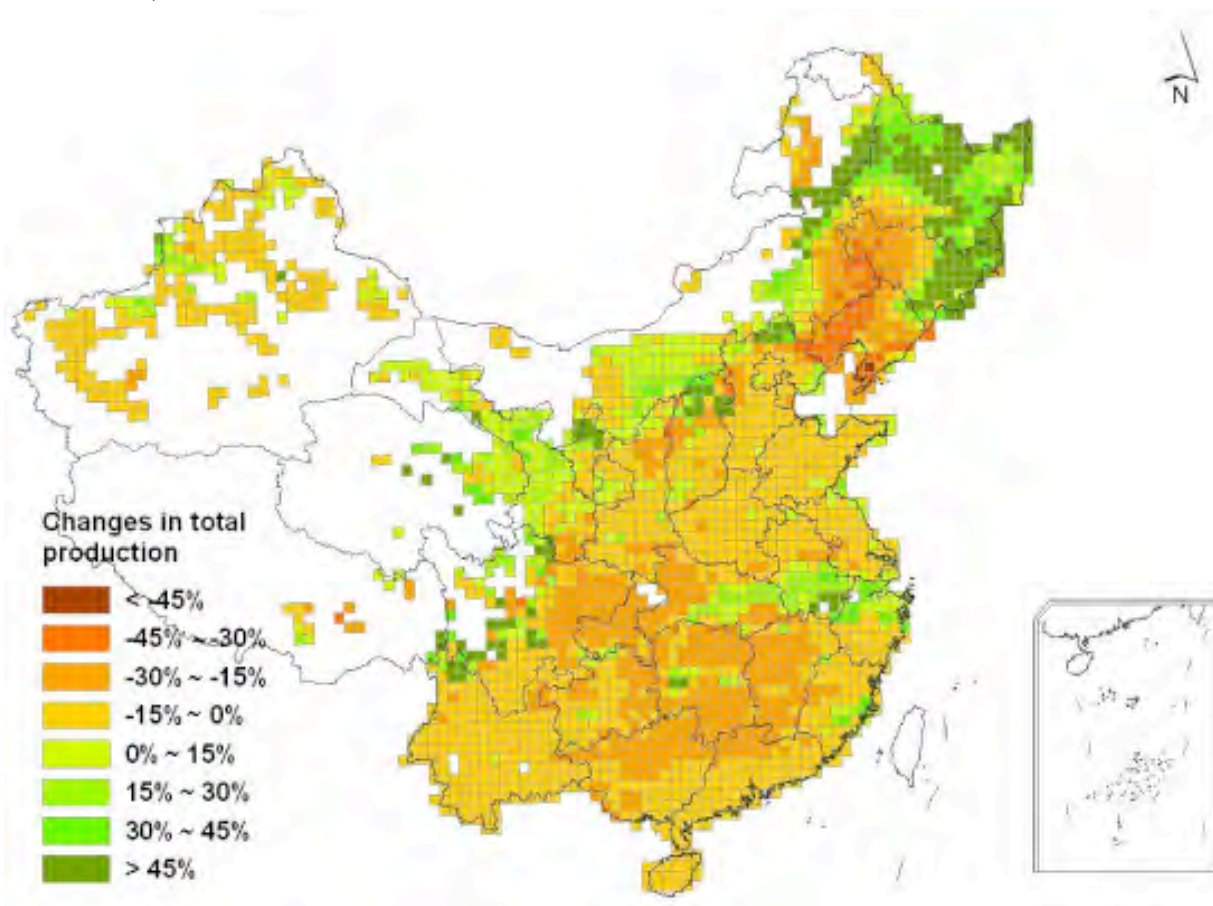


图 1-1 不考虑 CO<sub>2</sub> 的肥效作用时，未来中远期（2041~2070 年）气候变化（温度增加 2.0°C；CO<sub>2</sub>561ppmv）的全国谷物总产量变化情况

至有少许增加；东北地区北部玉米和水稻表现增产，华北地区的小麦和玉米则受益于未来降水的增加而表现为增产。如果考虑CO<sub>2</sub>浓度的肥效作用，将会缓解减产幅度(熊伟等, 2005b)，在未来CO<sub>2</sub>浓度倍增时，这种缓解作用对小麦单产的影响最大可达30%以上。然而目前有关温度和CO<sub>2</sub>浓度对产量的共同影响效果研究较少，CO<sub>2</sub>肥效作用究竟有多大、能在多大程度上抵消高温带来的不良影响还难有定量的回答，有待于今后进一步深入研究探讨。

气候变化除了直接在生理上影响作物生长，还通过影响农业环境来影响作物生产，对粮食生产造成影响。例如：气候变暖影响了整个水循环过程，使蒸发加大，改变区域降水量和降水分布格局，给农业灌溉用水带来巨大的影响，加剧了水资源的不稳定性与供需矛盾。Rosenzweig (2004) 结合水资源变化，评价气候变化对粮食生产影响时指出，我国东北地区未来粮食生产的主要限制因子是水分。杨永辉等(2004)对太行山低山区自然植被进行试验，得出植被对降水反应敏感，降水每增加10%，植被生产力增加15%左右，认为未来全球气候变化导致的降水变化将对太行山低山区植被产生更大影响；我国农业因病虫害造成的损失目前大约为农业总产值的20%~25%，而未来气候变化对农作物病虫害的发生发展有显著的影响，气候变暖导致一些农业病虫害容易越冬，使病虫害增加，也使农业病虫害的分布区可能扩大(史培军等, 1997)，同时温度增高还使一些病虫害的生长季节延长，繁殖代数增加，一年中危害时间延长，作物受害进一步加重，使农业生产的损失进一步加重。又如：气候变化将增加极端异常事件的发生，导致洪涝、干旱灾害的频次和强度增加，而研究认为极端气候事件(洪水、干旱、极端高温和低温冷害等)对未来农业生产的影响要更大(Mirza, 2003)；此外，诸如土壤等因素也会受到气候变化的影响。可见气候变化对农业

生产的间接影响，涉及的因素多而复杂，而且目前对很多因素研究还不够深入，如：目前的气候预测还不能回答未来农业生产地域会有哪些极端气候事件，或这些极端气候事件发生的频率和强度究竟有多大；还无法定量估计未来气候变化使得农业病虫害有大多程度的加重等等，这就为研究工作和实际农业生产安排带来很大困难，也是研究中亟待解决的问题之一。

气候变化将从多方面影响作物生长，从而对粮食生产能力带来冲击。以往的研究多从温度和CO<sub>2</sub>浓度的角度考虑气候变化对粮食生产能力的影响，随着研究的逐渐深入，研究者和研究部门已经越来越意识到，如果要全面和系统地了解气候变化对粮食生产造成的可能影响，为管理部门制定短、中、长期决策提供科学的依据，就必须结合多方面因素(如：温度、CO<sub>2</sub>浓度、水资源、土地等)，开展气候变化的综合评估工作。而且以往的研究多是基于保持现有的农业生产情况不变的结果，是农业生产完全被动地反应，而实际上未来粮食生产能力与农业的适应措施又有重要的关系，农业适应措施将帮助我们趋利避害，更好地应对未来气候变化，提高粮食生产能力。研究表明，未来气候变化将改变现存的种植制度，据分析，到2050年几乎所有地方的农业种植制度将发生较大变化(王馥棠, 2002)。中高纬度地区，温度的升高可以延长作物生长季，减少作物冷害，使作物向更高纬度扩展，农业种植面积将扩大(Howden, 2003)。全球变暖将使作物带向极地移动，年平均温度每增加1℃，北半球中纬度的作物带将在水平方向北移150~200km，垂直方向上移150~200m。在我国东北地区，上世纪90年代以来气候增暖明显，水稻种植面积北扩，2000年黑龙江省水稻种植面积已是1980年7倍(王媛等, 2005; 潘华盛等, 2002)。同时，黑龙江全省玉米主产区发生南移，麦豆产区北移，而喜凉作物如亚麻、甜菜种植面积自20世纪90年代后有所下降(潘华盛等, 2004)。热量条件的改善同





孩子正在捉作物上的害虫



暴雨后的甘蔗田



时使低温冷害有所减轻,晚熟作物品种面积增加,吉林省的玉米品种熟期较以前延长了7~10天,高产晚熟玉米种植面积增长迅速(潘铁夫,1998)。气候变化也使我国华东地区秋季光温条件得到改善,促进了长江三角洲水稻生产,目前一些地区已将晚稻由籼稻改成对光温条件要求更高的粳稻,提高了稻米的品质和产量(气候变化国家评估报告,2007)。

总之,气候变化将造成我国粮食生产波动增大,对未来粮食生产的影响是不容忽视的,致使未来我国粮食生产能力的进一步增长面临巨大挑战。研究可能高估了这种影响,但随着研究的深入和综合评估的开展,将使我们逐渐定量地分析气候变化的影响程度,此外农业生产的适应措施可以帮助我们充分利用未来气候变化对我国粮食生产的有利条件(如热量、水分、CO<sub>2</sub>肥效作用等),缓解和降低气候变化的不利影响,大力发展粮食生产,满足社会发展对粮食的需求,因此今后有必要加大农业生产对气候变化的适应和响应研究的深度和广度。

### 1.2.2 气候变化对生物质能的影响

生物质(biomass)是指有机物中除化石燃料外的所有来源于动、植物能再生的物质。生物质能是蕴藏在生物质中的能量,是绿色植物通过叶绿素将太阳能转化为化学能而储存在生物质内的能量,也通常被人们称为生物能源。近年来随着人类对气候变化以及能源危机认识的不断加深,对生物质能源的开发利用已提到议事日程。我国政府及有关部门对生物质能源利用也极为重视,在生物质能源利用领域取得了重大进展,有关资料对我国农村今后能源使用情况作了预测,如果按常规方案预测,即建立在现时生物质能发展情况的基础之上的预测,未来我国各时段(2010、2030、2050)的生物质利用量的增长速度分别为7.7%、8.0%、3.6%;如果采用加强方案预测,即以突出

强调生物质能对化石能源的替代为依据的预测,未来我国各时段的发展速度分别为8.0%、7.4%、4.5%,可见生物能源在我国具有广阔的发展前景。

气候变化影响着作为生物质能原料来源的农作物的发展。气候变化对农作物的影响表现在CO<sub>2</sub>浓度水平升高对农作物植株的生理作用产生影响,平均温度的变化对作物的表现和分布的影响,以及降水、辐射等对作物的生长季、生育期和产量等产生影响。到2050年我国几乎所有地方的农业种植制度均将发生较大变化,温度升高将导致复种指数增加和种植方式多样化,抗逆性强的旱地作物如高粱、谷子、甘薯,耐热性作物如甘蔗、水稻等的播种面积将扩大。而高粱、甘薯、油菜等是很好的生物质能的原料来源,因此未来在种植结构规划的时候,应在充分考虑粮食安全的基础上对生物质能原料进行规划种植。

农作物秸秆是农村最主要的农作物副产品,在我国生物质总资源量中,秸秆资源占一半,是丰富的生物能源的重要原料之一,我国每年生产6.4亿多吨的秸秆,到2010年将达7.26亿吨,相当于5亿吨标煤。气候变化会影响农作物的单产,秸秆产量也将受到影响,不同研究者对不同研究地区预测的结果不同。张宇等(2000)模拟未来CO<sub>2</sub>倍增时,我国小麦生长变化,指出由于作物生长期缩短,叶面积形成与光合作用时段缩短,将不利于小麦生物量的积累。黄峰等(2007)、裘国旺等(1998)分别模拟气候变化对宁夏春小麦发育历程影响和对江南双季稻生产可能影响时,也得出类似的结论。但胡亚南等(2007)利用CERES-Maize模型,模拟未来两种温室气体排放方案A2、B2下的吉林敦化玉米生产的变化指出,A2、B2两种气候变化情景的2080s时段内,地上部平均生物量将有所增高,如果考虑到CO<sub>2</sub>肥效作用甚至可以提高14%。

目前气候变化研究多侧重粮食产量的变化,有关

气候变化对作物秸秆的影响研究较少,今后有必要加大研究力度,探究气候变化条件下作物秸秆产出及利用的变化,为生物质能发展提供参考。

生物燃料作为生物能源的一种,其发展颇受争议。目前很多国家均已经开始制定相关的政策来有效地解决发展生物燃料和人畜食粮之间的矛盾,如我国2007年9月颁布《促进玉米深加工健康发展的指导意见的通知》,通知指出国家将不再批准新的玉米加工企业成立,理性发展生物燃料,坚持:控制规模、饲料领先、合理布局的发展原则,把玉米深加工用粮规模控制在占玉米消费总量的26%以内。此外还加大有关生物燃油的原料以及对第二代(第二代生物燃料指的是摆脱利用玉米等粮食作物为原料转化为生物燃料的应用模式,继而以麦秆、草和木材等农林废弃物为主要原料)和第三代生物燃料原料(第三代生物燃料则指木质素降解利用)的研发工作。

总的来说,只要合理开发,统一好能源安全和粮食安全的关系,走可持续发展的道路,做好能源作物、林木的筛选与培育的规划,加强能源植物生理、生化、生态学研究,不但不会对粮食安全构成威胁,反而能在一定程度上保障粮食安全,缓解能源危机。

## 1.3 气候变化与未来粮食安全

### 1.3.1 全球粮食危机

粮食安全不仅是关系国计民生的大问题,而且关系到世界的和平与稳定。近年来,全球粮食价格大幅上涨,引起各国警觉,据联合国亚太经济社会委员会和粮农组织的研究数据显示,世界主要粮食价格自2005年来已上涨80%,2007年农作物产品的价格涨幅达30年来的最高点:大豆价格达34年来最高,玉米价格达到11年来最高,大米价格达到19年来最高,小麦和油菜籽的价格也创历史新高。2008年以来,以

大米为引领的粮食价格仍持续上涨, 贫瘠的非洲大陆和南美已有多国因“粮荒”而引发社会骚乱。越南、泰国、乌克兰等传统粮食出口大国为稳定本国粮价开始限制或禁止粮食出口, 粮食安全问题已成为一个不容忽视的挑战, 引起世界各国的重视和警惕, 各国对“新的粮食危机正在形成”已达成共识, 而造成这种局面的原因, 从客观事实分析主要可以归结为:

一、全球粮食总产量因严重自然灾害而降低。近年来, 受气候变化的影响, 全球气候异常带来极端天气事件增加, 灾害频繁而严重: 反常的炎热导致美国农业蒙受损失, 牲畜出栏率降低; 仅次于美国的第二大小麦出口国澳大利亚, 连续两年遭遇百年难遇的酷旱, 严重地影响澳大利亚的农业和粮食生产, 2007年澳大利亚的小麦产量只有正常年份的60%。恶劣的气候酿成欧洲小麦主产区遭受灾难性损失。严重自然灾害频发给世界粮食生产造成巨大损失。引人瞩目的是, 近年来世界粮食主要出口国减产更多, 为了保证本国的供给, 一些国家开始限制或禁止粮食出口, 从而引起国际市场的供给进一步紧张。

二、能源价格增长。2007年初至目前, 国际石油价格一路攀升, 同2002年相比, 国际石油价格已增长了4倍。受其影响, 最近5年, 国际化肥价格增长了近2倍。一般来说, 化肥成本在农业成本中的构成比重为10%以上, 化肥价格上涨直接增加了农业生产成本。同时, 石油价格的提高也增加了农业生产的运输成本。此外, 能源价格不仅通过生产成本影响农产品价格, 而且直接影响农产品的用途, 增加了市场对农产品的非传统、非食品需求, 推高农产品价格。

三、燃料乙醇异军突起和生物柴油迅猛发展消耗了大量粮食资源和植物油资源。出于应对“石油价格暴涨”和保护生态环境的战略目标, 替代性生物清洁能源备受青睐。燃料乙醇和生物柴油作为生物清洁能源的两大品种, 生产能力已迅猛扩大, 占用了部分粮

食资源, 如美国利用大量玉米等粮食生产燃料乙醇, 欧盟利用菜籽油、大豆油等作为原料生产和消费生物柴油。随着未来石油价格的持续走高, 对生物原料的需求还会加剧, 这必将对粮食价格产生影响。

四、发展中国家消费结构升级使粮食消费量快速增长。近年来, 发展中国家食物消费结构明显升级, 主要为食用油、肉禽蛋奶和精加工食品消费需求迅速增长, 由此导致生产食用油的油料作物和生产肉禽蛋奶的饲料原粮需求大幅增加。据联合国粮农组织(FAO)发布的数据, 2006年世界谷物消费总量增长到20.43亿吨, 这些都增大了世界粮食市场的压力。

以上对近年来世界粮食市场行情演变态势的客观描述, 体现出全球粮价暴涨的真实根源。其中: 消费结构的改变、能源价格的增长是粮价上涨的长期动力和诱因; 生物质能源异军突起是刺激世界粮价上涨的重要新因素; 严重自然灾害导致世界粮食减产和粮食储备连续下降是世界粮价飞涨的直接原因。只有如实认清和承认这些真正的、符合实际的原因, 才能有针对性地采取必要措施, 恢复世界粮食价格的正常水平。

### 1.3.2 我国粮食作物的供需变化

民以食为天, 粮食是人类生存和发展的基础。气候变化对粮食生产的影响评价, 自20世纪70年代以来, 一直受到学术界和有关政府部门的广泛关注。1994年, 布朗先生发表了“谁来养活中国”一文, 引发了世界范围内关于中国粮食问题的大讨论。水稻、玉米和小麦是中国的三大粮食作物, 它们的产量关系到国家的粮食安全问题。众多研究者对未来中国粮食供应能力作了预测, 但研究结果因考虑的因素以及采用模型的不同而存在差异, 目前为止还没有达成共识。部分研究者利用模拟方法评价了未来中高温温室气体排放的A2(对应IPCC颁布的600ppmCO<sub>2</sub>稳定浓度)和中低温温室气体排放的B2(对应IPCC颁布的



受台风影响，谷子被浸泡的发了芽

450~500ppmCO<sub>2</sub> 稳定浓度) 情景下我国水稻、玉米和小麦三大作物生产情况, 指出如果不采取任何措施未来气候变化将导致我国水稻、玉米和小麦大面积减产(杨修等, 2004, 2005; 孙芳等, 2005; 熊伟等, 2005a, 2005b; 居辉等, 2005), 而如果考虑了CO<sub>2</sub> 的肥效作用产量变化趋势基本不变, 但减产幅度明显减小(熊伟等, 2007); 然而这些研究忽视了其他因素变化(如: 水资源、未来人口需求等) 对农业的影响。姚愉芳(2007) 通过对我国经济、人口、土地利用等多方面的综合分析, 预测我国未来(2005~2050) 粮食供需问题将日益严峻: 未来粮食需求迅速扩张, 而粮食生产能力将下降, 因此从2010年开始, 我国粮食供需将出现缺口, 缺口量最大发生在2040年左右, 约缺口0.68亿吨, 占粮食需求量的10%左右, 其余年份粮食缺口量占粮食需求量的比重在10%以内。但蔡承志等(2008) 基于AEZ模型, 计算我国6大主要粮油作物(水稻、小麦、玉米、马铃薯、大豆、油菜) 产量的农作制区划潜力, 结合未来我国粮

食消费结构变化, 认为2030年这6大作物总产潜力可达7.14亿吨, 加上其他次要作物, 完全能够确保我国届时6.59亿吨的粮食总需求。由于目前结合各项因素开展气候变化对农业生产影响的综合评估工作还较少, 因此研究结果还比较初步, 也存在差异, 今后必将随着研究的深入而得到更深层次的认识。

尽管人们对未来粮食供求变化认识还存在差异, 但是研究对农业的适应措施的重要作用均已达成了共识, 适应将帮助农业生产很好地应对气候变化的影响。已有研究指出良好的灌溉条件, 播种日期的适当调整, 以及品种的更替也会有效地减少气候变化对粮食供应的负面影响。例如单考虑灌溉, 灌溉可以缓解三种主要作物产量下降的幅度, 使玉米和小麦产量下降幅度减少5%~15%, 水稻产量下降幅度减少5%左右, 如果能够对不利影响及时采取有效的应对措施, 未来30~50年的气候变化还不会对我国的粮食供应产生重大影响(熊伟等, 2005c; Xiong et al., 2007; 蔡承志等, 2008)。

总的来说,未来气候变化将会影响我国粮食的供需平衡,但是有效的适应措施在一定程度上将缓解不利影响,今后随着研究的深入和综合评估的开展将可能做出定量的回答。

### 1.3.3 气候变化与我国未来粮食安全

气候变化对粮食安全的影响,一直是气候变化影响评估工作的重点之一(Rosenweig et.al., 1994; Yu Huning, 1993; The study Group of the Impact of Climate Change to food Production and Countermeasure, 1993; 王铮等, 2001),一些国家开展了对粮食安全阈值的研究,部分研究得出,全球平均气温升高 2 ~ 3 °C 后,世界粮食产量将下降

(McCarthy et al., 2001)。由于各国情况千差万别,气候变化对各国造成的影响不尽相同,气候变化影响阈值也不一致(Hitz, 2004)。就我国而言,熊伟等(2007)研究指出,如果不考虑 CO<sub>2</sub> 的肥效作用和适应措施,全国平均温度升高 2.5~3 °C 之前,我国三大主要粮食作物的单产水平有增有减,这意味着未来的粮食总产水平还可以通过种植结构的调整而得以保持稳定,然而当平均温度升高 2.5~3 °C 以后时,我国这三种主要粮食的单产水平将会持续下降(图 1-2),从而会影响到未来我国的粮食总产。但如果考虑未来较高的 CO<sub>2</sub> 浓度对作物产生的肥效作用时,未来各种作物的粮食单产水平仍有较大的增产空间,其中小麦的增产空间最大,水稻次之,故目前预估的温室升高幅

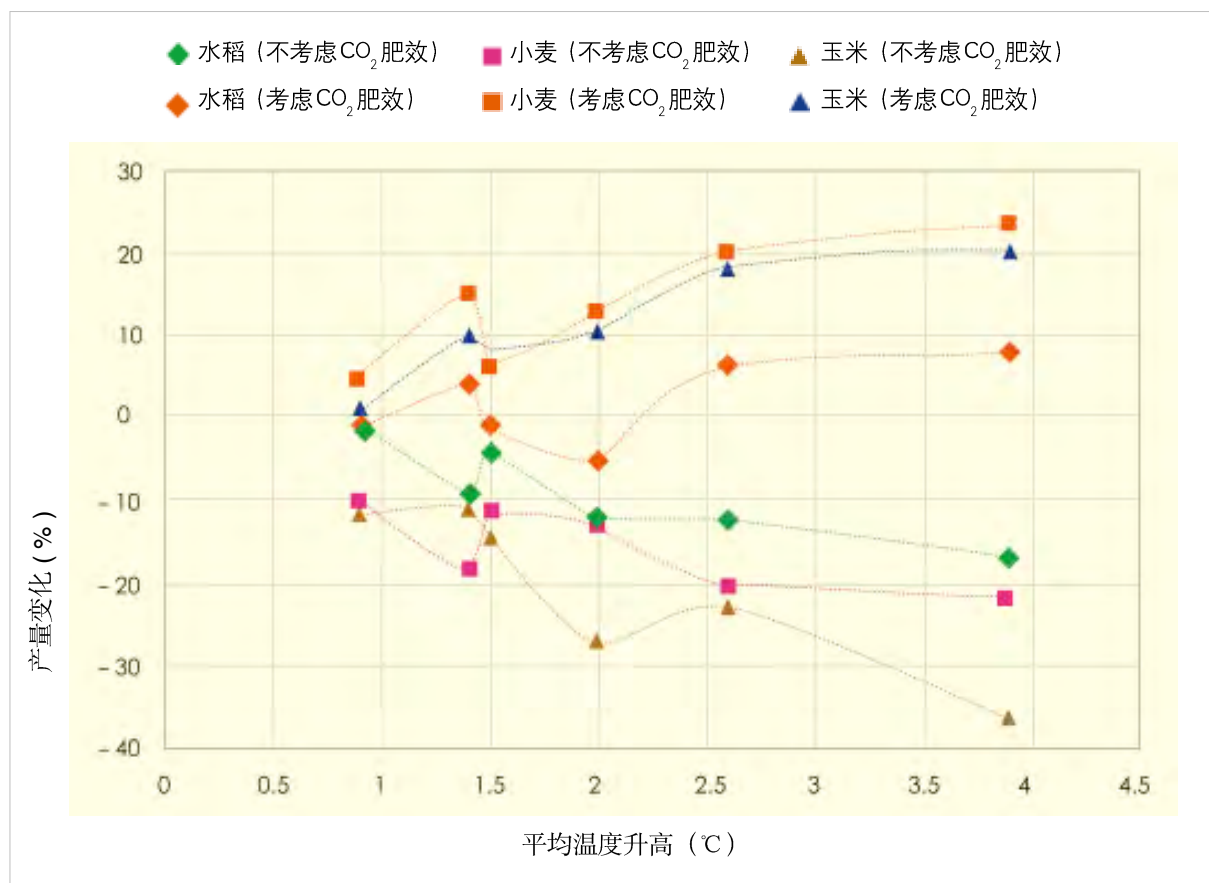


图 1-2 未来我国粮食作物单产的温度阈值

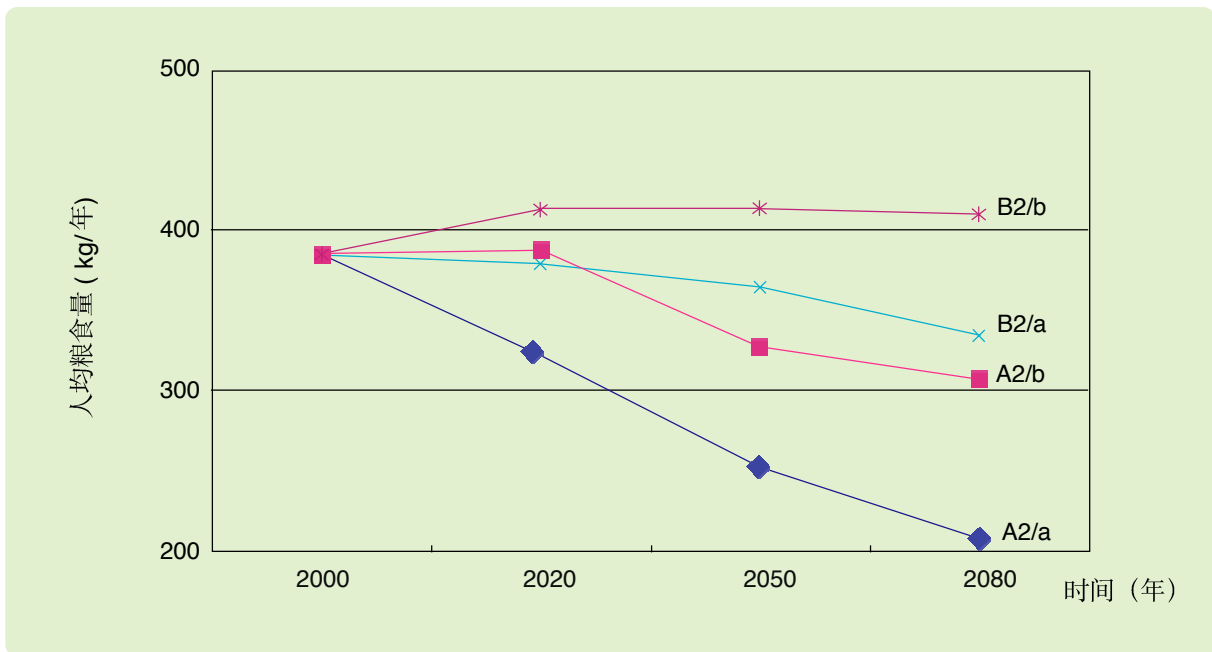


图 1-3 未来我国各个时段人均粮食供给量变化 (a: 无  $\text{CO}_2$  肥效作用; b: 有  $\text{CO}_2$  肥效作用), 其中考虑了技术进步 (2010 年前粮食单产每年递增 1%, 2010~2030 年之间每年递增 0.7%, 2030 年后单产水平不变化)、国际贸易因素 (粮食总进口量最大控制在总产的 5%) 和其他非主要作物的生产 (假定保持目前的种植面积和产量水平不变)。

度不会对我国的粮食总产造成较大的负面影响。

但未来粮食安全问题不仅取决于未来的粮食单产水平, 还取决于粮食播种面积、技术贡献程度、人口总量、国际贸易情况等。目前还很少有考虑到气候变化影响后的粮食安全问题的综合研究结果, 更缺乏考虑到气候变化适应措施后的粮食安全评估。熊伟等 (2007) 从人均粮食占有量的角度来探讨了气候变化对未来中国粮食安全的影响 (图 1-3), 研究以人均粮食 300kg (社会发展的基础粮食供给) 和 400kg (社会可持续发展的粮食供给) 两个指标评估了气候变化对粮食安全的影响。认为高排放的 A2 情景下未来社会发展的基本粮食供给将有可能在 2030 年前后出现粮食缺口, 中低排放的 B2 情景下未来社会发展的基本粮食供应将不存在问题, 而社会可持续发展的粮食需求将可能无法得到满足; 但如果考虑  $\text{CO}_2$  的肥效作用, 目前预测的气温升高将不会对我国未来粮食生产

造成负面影响; A2 和 B2 情景下, 未来社会发展的基本粮食安全将可以保障, 气候变化对我国的粮食安全均将不会构成威胁, 而 B2 情景下的粮食供给可以满足社会可持续发展的粮食需求。如果考虑其他适应措施 (如: 农业投入等) 及  $\text{CO}_2$  的肥效作用后, 蔡承志等 (2008) 认为 2030 年作物总产潜力完全能够确保粮食总需求, 不会存在粮食安全问题。尽管目前有关气候变化对粮食安全的影响研究很少, 但是研究者得出相似的结论, 即如果只考虑温度升高未来我国将存在粮食安全问题, 但是如果考虑到  $\text{CO}_2$  的肥效作用以及未来农业适应措施, 主要作物产量变化不大。但是这些研究还没有考虑对农业生产至关重要的水资源变化、土地利用的变化等等, 对适应措施产生的效果也没有研究。

目前, 结合水资源、土地利用变化、社会经济发展和适应措施的新研究正在进行中, 初步结果显示升

温、农业用水的减少和耕地面积的下降会使我国2050年左右的粮食总产水平下降14%~23%（与2000年5亿吨的生产水平相比）。如果考虑CO<sub>2</sub>浓度的正肥效作用，减产幅度将会得到缓解。未来的粮食安全，很大程度上取决于适应措施的有效性，如生态农业的推广、农业技术的进步等，只有这样，这种下降才可能削弱，总产水平还有可能增加。总之，气候变化与粮食安全的研究是一项难度很大的探索性工作，目前在国内外还没有通用的研究方法，研究结果

也存在差异，特别是对适应措施的考虑和适应效果的研究还较少，目前对适应效果的评价还停留在田间水平的农户自发适应，如播种日期的调整、品种的更替等，对部分为解决国家粮食安全而制定和开展的宏观政策的适应措施，如南水北调、基本农田保护等，目前还少有相关研究，特别是适应措施与气候变化的交互作用，目前还鲜有报导，今后还需要进一步加强气候变化对粮食安全影响的研究，尤其是对适应的评估。



2008年初中国南方冰雪灾害中被大雪覆盖的桔树



## 参考文献

- Hitz S, Smith J. Estimating global impacts from climate change. *Global Environmental Change*. 2004, 14: 201~218
- Howden, S.M., A.J. Ash, E.W.R. Barlow, C.S. Booth, R. Cechet, S. Crimp, R.M. Gifford, K. Hennessy, R.N. Jones, M.U.F. Kirschbaum, G.M. McKeon, H. Meinke, S. Park, R. Sutherst, L. Webb, and P.J. Whetton. 2003. An overview of the adaptive capacity of the Australian agricultural sector to climate change - options, costs and benefits. Report to the Australian Greenhouse Office, Canberra, Australia. 157
- Hulme M, Osborn T J, Johns T C. Precipitation sensitivity to global warming: comparison of observation with HadCM2 simulation. *Geophysical Research Letters*. 1998, 25: 3379~3382
- Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *Journal of Climatology*. 1996, 16: 361~377
- Kimball, B.A., K. Kobayashi, and M. Bindi. Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Advances in Agronomy*. 2002, 77: 293~368
- Lin E.D., Xiong W., Ju H., et al. Climate change impacts on crop yield and quality with CO<sub>2</sub> fertilization in China. *Philosophical Transaction of the Royal Society B*. 2005, 360: 2149~2154
- Martinez-Carrasco, R., Perez, P., Morcuende, R. Interactive effects of elevated CO<sub>2</sub>, temperature and nitrogen on photosynthesis of wheat grown under temperature gradient tunnels. *Environmental and Experimental Botany*. 2005, 54: 49~59
- McCarthy J, Canziani O, Leary N, et al. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2001. 235~342
- Mirza, M. M. Q. Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt. *Integrated assessment*. 2003, 1: 37~48
- Nowak, R.S., D.S. Ellsworth, and S.D. Smith. Tansley review: Functional responses of plants to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>-Do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? *New Phytologist*. 2004, 162: 253~280
- Rosenweig GE, Parry MI. Potential impact of climate change on food supply. *Nature*, 1994, 367: 133~138
- Rosenzweig, C., Strzepek, K.M., Major, D.C., Iglesias, A., Yates, D.N., McCluskey, A., Hillel, D., Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies. *Global Environmental Change*. 2004, 14, 345~360
- The study Group of the Impact of Climate Change to food Production and Countermeasure. *The Impact of Climate Change to Food Production and Countermeasure*. Publish of Beijing: Beijing University, 1993
- Xiong, W., D.Conway, J. Jiang, Y. Li, E. Lin, Y. Xu, and J. Hui. Future cereal production in China: Modelling the interaction of climate change, water availability and socio-economic scenarios. *The Impacts of Climate Change on Chinese Agriculture-Phase II Final Report*, AEA, UK. 2008
- Xiong, W., Lin, E.D., Ju H., et al. Climate change and critical thresholds in China's food security, *Climatic Change* 2007, 81: 205~221
- Yu Huning. *The Impact of Climate Change to Food Production in China*. Beijing: The Science and Technology Publish of Beijing, 1993. 118~127

- 白莉萍, 林而达. CO<sub>2</sub> 浓度升高与气候变化对农业的影响研究进展, 中国生态农业学报, 2003, 11 (2): 132~134
- 蔡承智, 梁颖, 李啸浪. 基于 AEZ 模型预测的我国未来粮食安全分析, 农业科技通讯, 2008, (2): 15~17
- 蔡运龙, Barry Smith. 全球气候变化下中国农业脆弱性与适应对策, 地理学报, 1996, 5 (3): 202~212
- 陈少勇, 董安祥. 中国黄土高原土壤湿度的气候响应, 中国沙漠, 2008, 28 (1): 66~72
- 成福云. 干旱灾害对 21 世纪初我国农业发展的影响探讨, 水利发展研究, 2000, 2 (10): 31~33
- 邓可洪, 居焯, 熊伟. 气候变化对中国农业的影响研究进展, 中国农学通报, 2006, 22 (5): 439~441
- 杜鹃, 关择群. 气候变化及其对农业的影响, 安徽农业科学, 2007, 35 (16): 4898~4899
- 胡亚南, 许吟隆, 熊伟等. 未来气候变化对吉林敦化玉米生产的影响分析, 中国农业气象学会, 分会论文, 2007
- 黄峰, 施新民, 郑鹏徽等. 气候变化对宁夏春小麦发育历期影响模拟, 干旱区资源与环境, 2007, 21 (9): 118~122
- 居焯, 熊伟, 许吟隆等. IPCC SRES A2 和 B2 情景下我国小麦产量变化模拟, 作物学报, 2005, 31 (8): 24~29
- 居焯, 熊伟, 许吟隆等. 气候变化对中国东北地区生态与环境的影响, 中国农学通报, 2007, 23 (4): 345~349
- 居焯, 许吟隆, 熊伟. 气候变化对我国农业的影响, 环境保护, 2007, (11): 71~73
- 李丕杰, 安娟, 赵素香. 气候变暖对辽宁苹果生产的影响及对策, 辽宁气象, 2001, (1): 16~18
- 刘德祥, 董安祥, 薛万孝等. 气候变暖对甘肃农业的影响, 地理科学进展, 2003, 24 (2): 49~58
- 潘华盛, 徐南平, 张桂华. 气候变暖对黑龙江省农作物结构调整影响及未来 50 年农业情景对策, 黑龙江气象, 2004, (1): 13~15
- 潘华盛, 张桂华, 祖世亨. 气候变暖对黑龙江省水稻发展的影响及其对策的研究, 黑龙江气象, 2002, (4): 7~18
- 潘铁夫. 吉林气候变暖与农业生产, 吉林农业科学, 1998, (1): 86~89
- 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告, 科学出版社, 2007
- 秦大河. 应对全球气候变化防御极端气候灾害, 求是杂志, 2007, (8)
- 裘国旺, 王馥棠. 气候变化对我国江南双季稻生产可能影响的数值模拟研究, 应用气象学报, 1998, 9 (2): 151~159
- 史培军, 王静爱, 谢云等. 最近 15 年中国气候变化、农业自然灾害与粮食生产的初步研究, 自然资源学报, 1997, 12 (3): 197~203
- 孙芳, 杨修, 林而达等. 中国小麦对气候变化的敏感性和脆弱性研究, 中国农业科学, 2005, 38 (4): 692~696
- 王媛, 方修琦, 徐钺, 戴玉娟. 气候变暖与东北地区水稻种植的适应行为, 资源科学, 2005, 27 (1): 121~127
- 王铮, 郑一萍, 冯皓洁. 气候变化下中国粮食和水资源的风险分析, 安全与环境学报, 2001, 1 (4): 19~23
- 王铮, 郑一萍. 全球变化对中国粮食安全的影响分析, 地理研究, 2001, 20 (3): 282~289
- 王遵娅, 张强, 陈峪等. 2008 年初我国低温雨雪冰冻灾害的气候特征, 气候变化研究进展, 2008, 4 (2): 63~67
- 王馥棠. 近十年来我国气候变化影响研究的若干进展, 应用气象学报, 2002, 13 (6): 755~766
- 魏瑞江, 张文宗, 陈道红. 异常气候下极端天气事件对河北省农业的影响, 干旱区资源与环境, 2007, 21 (11): 35~38
- 吴孝兵. 草原畜牧业与灾害性天气, 当代畜牧, 2001, (3)
- 吴志祥, 周兆德. 气候变化对我国农业生产的影响及对策, 华南热带农业大学学报, 2004, 10 (2): 7~11
- 熊伟, 许吟隆, 林而达等. IPCC SRES A2 和 B2 情景下我国玉米产量变化模拟, 中国农业气象, 2005a, 2 (1): 11~15
- 熊伟, 许吟隆, 林而达等. 两种温室气体排放方案下我国水稻产量变化模拟, 应用生态学报, 2005b, 16 (1): 65~69

- 熊伟, 许吟隆, 林而达. 气候变化导致的冬小麦产量波动及应对措施模拟, 中国农学通报, 2005c, 21 (5): 380~385
- 徐斌, 辛晓平, 唐华俊等. 气候变化对我国农业地理分布的影响及对策, 地理科学进展, 1999, 18 (4): 316~321
- 杨修, 孙芳, 林而达等. 我国水稻对气候变化的敏感性和脆弱性, 自然灾害学报, 2004, 13 (5): 85~89
- 杨修, 孙芳, 林而达等. 我国玉米对气候变化的敏感性和脆弱性研究, 地域研究与开发, 2005, 24 (4): 54~57
- 杨永辉, 渡边正孝, 王智平等. 气候变化对太行山土壤水分及植被的影响, 地理学报 (1) 2004, 59 (1): 56~63
- 杨永岐, 陈鹏狮, 吉奇. 气候变化对我国西北地区未来农业的影响及对策, 辽宁气象, 2001, (4): 12~15
- 姚愉芳. 中国未来 (2005~2050 年) 社会经济情景研究, 社会科学院报告
- 叶柏生, 杨大庆, 丁永建等. 我国过去 50 年来降水变化趋势及其对水资源的影响 (I): 年系列, 冰川冻土, 2006, 26 (5): 587~594
- 张建平, 赵燕霞, 王春乙, 何勇. 未来气候变化情景下我国主要粮食作物产量变化模拟, 干旱地区农业研究, 2007, 25 (5): 209~213
- 张宇, 王石立, 王馥棠. 气候变化对我国小麦发育及产量可能影响的模拟研究, 应用气象学报, 2000, 11 (3): 265~270
- 张志强. 中国粮食生产系统影响因素的主成分分析, 北京农学院学报, 2001, 16 (1): 66~68



## 第二章

# 生态农业与气候变化

## 2.1 生态农业的特点

### 2.1.1 生态农业的概念与内涵

生态农业 (Ecological Agriculture) 一词最初是美国土壤学家 W. Albrecht 于 1971 年提出的。这一术语同 20 世纪 70 年代美国和西欧发达国家提出的多种替代农业一样,最初只是针对西方现代“石油农业”或“工业式农业”对资源和生态环境产生破坏的问题提出的,是替代农业中的一种类型。

1981 年,英国学者 M. K. Worthington 认为生态农业是生态上能自我维持,低投入,经济上有生命力,在环境、伦理和审美方面可接受的小型农业。1993 年, M. K. Worthington 对生态农业的定义作了部分修改,正式的表述为:“建立和维持一种生态上自我支持、低投入,经济上有活力的小农经营系统,在不引起大规模或长期性环境变化,或者在不引起道德及人文社会方面不可接受的问题的前提下,最大限度地谋取增加净生产。它必须是:包括能源在内的诸方面能自我维持;是多样化;单位耕地面积的净产量要高;在经济上有活力;自己加工所生产的大部分农产品;以道德和人文标准判断是可以为大众所接受;一般为小规模 (李文华, 2003)。”

从上世纪 70~80 年代至今,世界上许多国家开展了生态农业的研究和试验,如美国的生态农业、有机农业,欧洲的生物农业、生态农业、生物动力农业、低投入农业、超石油农业等,日本的自然农业等替代农业类型,在内涵上和做法上均无本质的差别,可以统称为生态农业。在欧盟有机农业法规中,有机 (Organic)、生物 (Biological)、生物动力 (Biodynamic) 和生态 (Ecological) 农业都被视为有机农业 (Organic Farming)。国外有关生态或有机农业的名称各异,其做法也不尽相同,但其共同的特点是:通过生物措施保持土壤肥力;尽可能减少外部投入;禁止施用化肥和人工合成的植物保护剂;很大

程度上封闭的企业物质循环;利用自然的调控机制;保护自然资源;面积约束的动物饲养;符合动物需求的动物饲养;适合当地环境;多样化的组织;生产高价值的食品 (马世铭, 2004)。

我国生态农业是在世界替代农业发展潮流影响下和我国国情背景下产生的,其基本内涵是:按照生态学和生态经济学原理,应用系统工程方法,把传统农业技术和现代农业技术相结合,充分利用当地自然和社会资源优势,因地制宜地规划和组织实施的综合农业生产体系。它以发展农业为出发点,按照整体、协调的原则,实行农林水、牧副渔统筹规划,协调发展,并使各业互相支持,相得益彰,促进农业生态系统物质、能量的多层次利用和良性循环,实现经济、生态和社会效益的统一 (马世骏等, 1987)。

### 2.1.2 生态农业的特征

中国生态农业是在中国国情下提出与发展起来的,与发达国家的生态农业相比较而言,具有以下内涵特征:

#### 1. 战略性——用农业发展的长远眼光来制定生态农业战略

从科学理论和方法看,要求运用生态系统理论与生态经济规律和系统科学方法,遵循“整体、协调、循环、再生”的基本原理,建立生态优化的农业体系;充分发挥现代知识和科学技术作用的知识密集型农业;从发展目标看,它以协调人与自然关系为基础,要求多目标综合决策;求的是综合效益目标,而非单一的环境目标。我国生态农业追求的目标不可能像发达国家一样,主要从生态环境保护与资源高效的角度来考虑,而必须是生态效益、经济效益与社会效益三者的高度统一;在现代食物观念引导下,确保国家食物安全和人民健康。

#### 2. 地域性——按照地域特色和针对当地农业特

### 点设计生态农业模式

生态农业针对我国地域辽阔,各地自然条件、资源基础、经济与社会发展水平差异较大的情况,充分吸收我国传统农业精华,结合现代科学技术,以多种生态模式、生态工程和丰富多彩的技术类型装备农业生产,使各区域都能扬长避短,充分发挥地区优势,各产业都根据社会需要与当地实际协调发展。因地制宜,发展具有鲜明地域特色的生态农业模式是生态农业的基本要求。

#### 3. 多样性——注重生物、品种和种植、养殖的多样性, 利于物质和能量的充分利用以及减少病虫害

注重发挥有机肥、轮作、作物布局、立体种植养殖、生物防治病虫害等我国传统有机农业的精华。在做法上不仅重视生物能与自然能的利用,而且不断强化化肥等无机物料的科学投入;不仅重视间套复种等多种生物型集约技术的研发,而且将生物技术与现代化学和机械技术等有机结合;重视有机肥的施用,强调有机肥与无机肥的结合;不仅注意对有害生物进行农艺与生物控制,而且与化学防治相结合,不断研发新生物型新型农药。强调生物及品种多样是抵御气候变化、保证粮食安全、抵御病虫害的重要因素。

#### 4. 协调性——注重林、田、水、草等与经济、技术、生态环境的有机配合

强调自然调控与人工调控的结合,不排除人类的能动作用;从技术特点看,它不仅要求继承和发扬传统农业技术并注意吸收现代科学技术,而且要求整个农业技术体系进行生态优化;通过一系列典型生态工程模式将技术集成,从而发挥技术综合的优势;从生产管理特点看,它要求把农业可持续发展的战略目标与农户微观经营、农民脱贫致富结合起来。我国生态农业非常注重与农村新能源、饲料产业、肥料产业、食用菌产业、农产加工产业、甚至农村服务业、文化产业等相结合;非常强调农业生态系统整体功能的发挥,涉及到农村生产与生活的多个层面,更加综合与

多元化;进一步依靠科技进步,以继承我国传统农业技术精华和吸收现代高新科技相结合;以科技和劳力密集相结合为主,逐步发展成技术、资金密集型的农业现代化生产体系。

#### 5. 层次性——利用生物界的食物链关系来设计农业生产模式, 由此获得多方面收益

强调系统整体功能的发挥,更加综合与多元化;从生产结构体系看,特别强调农林牧副渔大系统的结构优化和“接口”强化;我国生态农业不仅强调以生态学原理为指导,注重从物质能量的多层次利用与废弃物循环再生等角度,构建农业生态良性循环体系。而且能从我国的实际情况出发,结合农民致富与区域产业发展的实际需求,来考虑整体战略布局与走向,生态农业已经成为具有多种功能的生产系统,与林业、园艺、畜牧业、水产业和农场加工业整合为一个相互作用的复合系统;发展多种经营模式、多种生产类型、多层次的农业经济结构,有利于引导集约化生产和农村适度规模经营(李文华, 2003)。

#### 6. 高效性——重视提高植物中储存的太阳能的转换率, 充分合理利用其他自然资源

生态农业通过物质循环和能量多层次综合利用和系列化深加工,实现经济增值,实行废弃物资源化利用,降低农业成本,提高效益,为农村大量剩余劳动力创造农业内部就业机会,保护农民从事农业的积极性。不完全排除化肥、农药等人工合成化学品的应用,关键要使其提高利用效率,使其投入物流失污染和废弃物产出降低到最低程度,形成自净化体系;强调合理增加投入,而不是系统自我维持。

#### 7. 持续性——重视保护资源和合理利用资源, 提高资源利用效率, 使资源利用具有持久性

生态农业注重保护资源和农村生态环境。生态农业在保护和改善生态环境、防治污染、维护生态平衡、提高农产品的安全性等方面具有积极作用。生态农业

把环境建设同经济发展紧密结合起来,提高生态系统的稳定性和持续性,提高资源利用效率,使资源利用具有持久性,增强农业发展后劲。

## 2.2 生态农业模式的内涵与类型

生态农业模式的内涵有几种表述:一是指在一定单位或地区,生态农业借以组装和运行的蓝图。具体地说,是各组成要素在整个系统网络中的地位和相互作用关系的具体表达(王兆骞,2001)。二是指用于发展农业生产的各种要素的最佳组合方式,是具有一定结构、功能和效益的实体,是资源永续利用的具体方式(张壬午,2000)。三是指在农业生产实践中,按照生态学和经济学原理组织农业生态系统结构和组装配套技术,以发挥系统功能,达到可持续发展目的的生态农业系统格局(李文华,2003)。

生态农业模式的类型很多,从技术的角度,可以将生态农业模式归纳为以下四种类型:

### 1. 生态位立体开发利用模式

该模式利用生态系统中不同海拔地带、不同空间环境组分的差异和不同生物种群适应性的特点,在空间立体结构上进行合理布局,发挥生态系统整合效应。立体种植、立体养殖或立体种养是在半人工或人工环境下模拟自然生态系统原理进行生产的方式。它巧妙地组成农业生态系统的时空结构,建立立体种植和养殖业的格局,组成各种生物间共生互利的关系,合理利用空间资源,并采用物质和能量多层次转化手段,促使物质循环再生和能量的充分利用,同时进行生物综合防治,少用农药,避免重金属污染物或有害物质进入生态系统。

“桑基鱼塘”模式是我国劳动人民认识和改造自然的代表性杰作。农田中高矮作物、耐阴与喜阳作物的间套复种,以及在高秆作物下养殖鹅鸭、培植食用

菌等,就是充分利用立体空间,合理搭配,使不同组分各得其所、各尽其利的生态农业模式。

### 2. 农业生态与环境综合治理模式

生态与环境问题已经成为我国不少地区农业可持续发展的制约因素,如黄土高原的水土流失问题,黄淮海平原及西北灌溉农区的盐碱化问题,西北的干旱与沙漠化问题等。在这些地区,发展生态农业必须首先从生态环境综合治理开始。在生态与环境建设实践当中,逐渐形成了适合不同区域的生态环境建设模式,如小流域综合治理模式、环保净化型模式、生态恢复与治理工程模式等。

黄土高原总结出了一系列防治水土流失的宝贵经验,如利用梯田、沿沟筑坝蓄水、等高种植、鱼鳞坑、集雨窖、作物覆盖等技术,充分利用天然降水。在非常严酷的条件下,较好地控制了水土流失,获得了生存和发展,取得了生产、生态和经济社会全面发展的“多赢”结果。

### 3. 物质、能量多级利用的食物链组装模式

该模式是按照农业生态系统能量流动和物质循环规律而设计的一种良性循环的农业生态系统。该模式中,生物之间相互依存又相互制约,一个生态系统中往往同时并存着多种生物,它们通过多条食物链密切地联系在一起,按照食物链的构成和维系规律,合理组织生产,最大限度地发掘资源潜力,节省资源且减少环境污染。

食物链模式设计可采用“依源设模,以模定环,以环促流,以流增效”方法,通过链环的衔接,使系统内的能流、物流、价值流和信息流畅通,从而提高经济、生态和社会三大效益。食物链组装模式又可进一步分为种植业内部物质循环利用模式、养殖业内部物质循环利用模式、种养加三结合的物质循环利用模式等。庭院养鸡,鸡粪喂猪,猪粪制沼气,沼渣养蚯蚓,蚯蚓喂鸡,就是非常典型的食物链组装模式。以

沼气为纽带的生态农业模式是其中一种,如典型的有北方的四位一体,南方的猪沼果和猪沼菜,以及留民营的生态农业模式等。

#### 4. 规模化多元复合型生态农业模式

该模式依据生态经济学的规模效益原理和物质循环利用原则,将生态系统内的资源充分整合,延伸产业链条,实现贸工农一体化,实行规模化、集约化生产,有利于生态产品的进一步增值,达到系统内各成分相互协调,使系统处于良性循环的稳定状态。生产基地、企业和市场紧密相连、规模化运作是该模式的显著特点。该模式实质上是生态农业产业化模式,即在生态环境建设与保护的同时,以市场需求为导向,以经济效益为中心,依托本地生态资源,实行区域化布局、专业化生产、规模化建设、系列化加工、一体化经营、社会化服务、企业化管理,使农业和农村经济走上自我发展、自我积累、自我约束、自我调节的良性循环轨道。它是在农业产业化基础上,通过生态农业产业化,把“农民(基地)高附加值的加工企业(龙头企业)——大市场”三者紧密、有机地结合起来,形成一个利益共享、风险共担、共同发展的实体,建立生态良性循环的生态经济系统。北京郊区的北郎中村形成的五条产业链,即生猪产业链、食用农产品加工与销售产业链、绿色种植产业链、生态观光农业产业链和以“生态环能工程”为载体的生态产业链,成为规模化多元复合型生态农业模式的典型。

我国农业部于2002年征集并筛选生态农业模式,作为今后一段时间农业部的重点任务加以推广。2003年农业部推荐并推广十大典型生态农业模式及配套技术,包括:1)北方“四位一体”生态模式及配套技术;2)南方“猪-沼-果”生态模式及配套技术;3)平原农林牧复合生态模式及配套技术;4)草地生态恢复与持续利用生态模式及配套技术;5)生态种植模式及配套技术;6)生态畜牧业生产模式及配套技术;

7)生态渔业模式及配套技术;8)丘陵山区小流域综合治理模式及配套技术;9)设施生态农业模式及配套技术;10)观光生态农业模式及配套技术。

## 2.3 生态农业与气候变化响应的关系分析

生态农业作为一种综合的、系统的、具地方特点的农业生产方式,与其他方式相比,能够更好地应对气候变化。许多生态农业的模式和技术或多或少地具有减缓和适应气候变化的效果,尽管这些模式和技术并非为减缓或适应气候变化而设计。

应对气候变化的措施包括减缓和适应两类策略。减缓是指为了减少对气候系统的人为强迫而进行的人为干预,它包括减少温室气体的排放源或增加碳汇的策略。适应是指自然或人类系统,为应对实际的、或预期的气候刺激因素、或其影响而做出的趋利避害的调整。适应分为不同的类型,其中包括预先适应、自发适应和有计划的适应(IPCC, 2007)。中国应对气候变化坚持减缓与适应并重的原则。减缓和适应气候变化是应对气候变化挑战的两个有机组成部分。对于广大发展中国家来说,减缓全球气候变化是一项长期、艰巨的挑战,而适应气候变化则是一项现实、紧迫的任务。我国将继续强化能源节约和结构优化的政策导向,努力控制温室气体排放,并结合生态保护重点工程以及防灾、减灾等重大基础工程建设,切实提高适应气候变化的能力(国家发展与改革委员会, 2007)。

生态农业与气候变化响应表现在方方面面。为了分析方便起见,从生态农业模式和技术入手,以农业部总结的十大典型生态农业模式及配套技术为依据,总结这些模式和技术与应对气候变化的减缓和适应措施的对应关系,从而为提出生态农业应对气候变化建议提供依据(表2-1)。



表 2-1 生态农业模式和技术响应气候变化的分析

| 模式类型              | 配套技术  | 对应的减缓措施  | 对应的适应措施   |
|-------------------|---|--|---|
| 1.北方“四位一体”生态模式    | 无公害蔬菜、水果、花卉高产栽培技术；畜、禽科学饲养管理技术；食用菌生产技术等。   | 化肥、农药合理使用；增施有机肥，减少农田氧化亚氮排放；可再生能源沼气利用技术，减少甲烷排放。 | 利用冬暖，调整系统生物结构。  |
| 2.南方“猪—沼—果”生态模式   | 养殖场及沼气池建造、管理技术；果树（蔬菜、鱼池等）种植和管理技术等。  | 可再生能源沼气利用；增施有机肥。                               | 调整系统生物结构，形成猪—沼气—果树良性循环系统，优化接口技术。  |
| 3.平原农林牧复合生态模式     | 作物栽培技术，节水技术，平衡施肥技术；立体种植，间套轮作技术；病虫害防治技术；饲料配方技术，养殖技术；沼气发酵技术以及种养结构优化配置技术等。               | 化肥、农药合理使用，增施有机肥，减少农田氧化亚氮排放；可再生能源沼气利用技术，减少甲烷排放。 | 农林牧结构调整，扩大经济作物和饲料作物的种植，促进种植业结构向粮食作物、饲料作物和经济作物三元结构的转变；农林、农牧、林牧不同产业之间的相互促进、协调发展；利用秸秆转化饲料技术、利用粪便发酵和有机肥生产技术等接口技术。                                 |
| 4.草地生态恢复与持续利用生态模式 | 减牧还草；退耕还草；种草养畜；草地植被恢复技术；牧草种植管理技术；再生能源如风能、太阳能和沼气利用技术。                                  | 恢复草地植被，提高草地生产力，增加土壤碳贮存。                        | 牧业结构调整；畜禽良种繁育基地建设和扩繁推广；建设人工草场，控制草原的载畜量；恢复草原植被，增加草原覆盖度；加强农区畜牧业发展，增强畜牧业生产能力，防止荒漠化进一步蔓延。   |
| 5.生态种植模式          | 间套轮作技术；免耕覆盖技术；旱作节水技术；农作物清洁生产和无公害生产的专用技术；平衡施肥技术；新型肥料的施用；控制病虫害的生物防治技术；农药污染控制技术；新型农药的应用。 | 耕地质量建设，科学施用化肥，增施有机肥，全面提升地力。                    | 选育抗逆品种。培育产量潜力高、品质优良、综合抗性突出和适应性广的优良植物新品种；改进作物和品种布局，有计划地培育和选用抗旱、抗涝、抗高温、抗病虫害等抗逆品种；建设人工草场，控制草原的载畜量，恢复草原植被，增加草原覆盖度，防止荒漠化进一步蔓延。加强农区畜牧业发展，增强畜牧业生产能力。 |

续表 2-1

|                 |   |  |  |
|-----------------|---|--|--|
| 6.生态畜牧业生产模式     | 生态畜牧业产业化技术。   | 开发反刍动物品种、规模化饲养管理技术，降低畜产品的甲烷排放强度；推广秸秆处理技术。    | 选育抗逆品种。培育产量潜力高、品质优良、综合抗性突出和适应性广的优良动物新品种；加强农区畜牧业发展，增强畜牧业生产能力；推进生态养殖产业化进程。 |
| 7.生态渔业模式        | 多元复合种植和养殖技术；肥料和饲料接口技术；土壤和水体污染防治技术。  | 化肥和农药合理使用；减少农田甲烷和氧化亚氮排放。                     | 调整生态系统生物布局，增加生物多样性；病虫害综合防治；推进农业清洁生产的发展。                                  |
| 8.丘陵山区小流域综合治理模式 | 水土流失综合治理规划和工程技术；等高种植和梯田建设技术；地埂植物篱技术；保护性耕作技术；适应植物选择和种植技术；土特产种养和加工技术；多元经济经营管理技术；生物防治技术；生物间协作互利原理应用技术；果、草（豆科作物）种植技术；草地鸡放养技术；沼气工程和沼气（渣、液）合理利用技术等。 | 开展植树造林，控制温室气体排放，增加土壤碳贮存。                     | 推进农业结构和种植制度调整，因地制宜地优化农业区域布局；加强农业基础设施建设；保持生物多样性，增强农业适应能力。                 |
| 9.设施生态农业模式      | 设施清洁栽培技术；设施种养结合技术；设施立体生态栽培技术；设施工程技术；设施环境控制技术；保护地生产技术。   | 提高能源效率，节约能源，发展可再生能源；化肥、农药合理使用，增施有机肥。         | 利用冬暖等气候变化的有利影响；病虫害综合防治；提高农业应用新技术和抗御灾害的能力；推进生物技术、病虫害防治、抗御逆境和设施农业的发展。      |
| 10.观光生态农业模式     | 高科技生态农业园区技术；精品型生态农业公园建设技术；生态观光村和生态农庄规划与建设技术。  | 提高公众应对气候变化的意识；提高能源效率，节约能源，发展可再生能源，加强生态保护和建设。 | 加强新技术和农业技术推广，提高农业应用新技术的能力；推进生物技术、病虫害防治、抗御逆境和设施农业的发展；提高公众应对气候变化的意识。       |

生态农业模式和技术在减缓气候变化具有积极的作用，主要体现在通过提高能源效率、节约能源、发展可再生能源、加强生态保护和建设、大力开展植树

造林等措施，控制温室气体排放，增加农田土壤碳贮存。在表 2-1 中总结的具体措施包括：化肥和农药合理使用；增施有机肥；可再生能源沼气利用；恢复草

地植被,提高草地生产力;开发反刍动物品种、规模化饲养管理技术,降低畜产品的甲烷排放强度;推广秸秆处理技术等。

从本质上讲,生态农业模式和技术是对农业生态经济系统的调整,目标是改善系统结构,增强系统功能,具有增强系统适应能力的作用,许多措施也可以认为属于应对气候变化的适应措施。生态农业模式和技术在适应气候变化上可以归纳以下几个方面:1)加强农业基础设施建设;2)推进农业结构和种植制度调整;3)选育、推广抗逆作物和适应性广的动物新品种,提高农业生产能力;4)遏制草地荒漠化加重趋势;5)加强适应气候变化和提高生产力的新技术的研究与开发,提高农业应用新技术的能力。

## 2.4 生态农业模式案例分析

### 2.4.1 留民营种养加复合生态农业模式

北京市大兴区留民营村位于北京东南郊平原,具有优越的区位优势。留民营种养加复合生态农业模式就是在充分利用区位优势的基础上,在北京的巨大市场需求带动下,大力发展有机农庄,开展规模化有机种植养殖,并将种养相结合,以沼气池为纽带,促进废弃物循环利用,从而达到整个系统的良性循环,物质高效利用,产品附加值不断增加,使生态效益、经济效益和社会效益实现了完美统一。留民营在开展生态农业建设之前,畜牧业不发达,初级产品不能很好地转化为次级产品,产品价值低,秸秆还田率低,大多在田间焚烧,资源浪费大,土壤肥力难以保持和提高。针对上述问题,留民营村大力开展生态农业建设,取得了巨大成功。

留民营种养加复合生态农业模式主要做法有:1)进行产业结构调整。首先提高畜牧业比重,增加初级产品的转化,为此,兴办了奶牛场、肉牛场、猪场、鸡

鸭场和鱼场。其次,强化农副产品加工,以促进物质和能量的多层利用,并使农副产品增值,为此,兴建了豆制品厂、食品饮料厂、饲料加工厂和肉类加工厂等;2)利用有机废弃物转化生产农产品。建立以沼气池为纽带的有机废弃物转化渠道,一条途径是鸡-猪-沼气池-菜模式,另一条途径是粮食加工的副产品和秸秆粉碎作饲料-畜、禽-沼气池模式,其中沼气作生活能源,沼渣分别送入藻类培养塘、蔬菜大棚或蘑菇房和饲料加工厂,沼液送到鱼塘,塘泥可肥田和果园;3)提高生物能和太阳能利用率。做到每户都有一个 $8\sim 10\text{ m}^3$ 的沼气池和一个太阳能热水器,村集体建有多多个 $200\text{ m}^3$ 的大沼气池,使沼气成为该村综合利用良性循环的中心环节。留民营村生态农业模式中物质能量循环利用如图2-1所示。

评价:留民营种养加复合生态农业模式在应对气候变化上具有代表性,该模式的特点可以总结为:以沼气综合利用为良性循环的中心环节,通过产业结构调整 and 有机废弃物的转化,促进物质和能量的多层利用。通过发展沼气综合利用技术,降低了系统的甲烷排放强度;通过产业结构调整 and 有机废弃物的转化,优化了系统的结构,使得物质能量的多层次利用与废弃物循环再生得以实现,增强了系统的多样性和稳定性,促进了系统整体功能的发挥,不但减少了温室气体排放,而且能够更好地应对气候变化。

### 2.4.2 稻田复合种养生态农业模式

稻田复合种养生态农业模式包括:稻田养鸭、稻田养鱼、稻田养虾(蟹、鳖、泥鳅、鱮鱼)、稻田养蛙等模式,这些模式充分利用动物与水稻之间的互惠共生关系,进而达到改善稻田生态环境,控制和防治水稻病虫害与草害等目的。为了方便分析,以稻鸭共作为例。

稻鸭共作属于典型的立体种养殖复合生态系统。

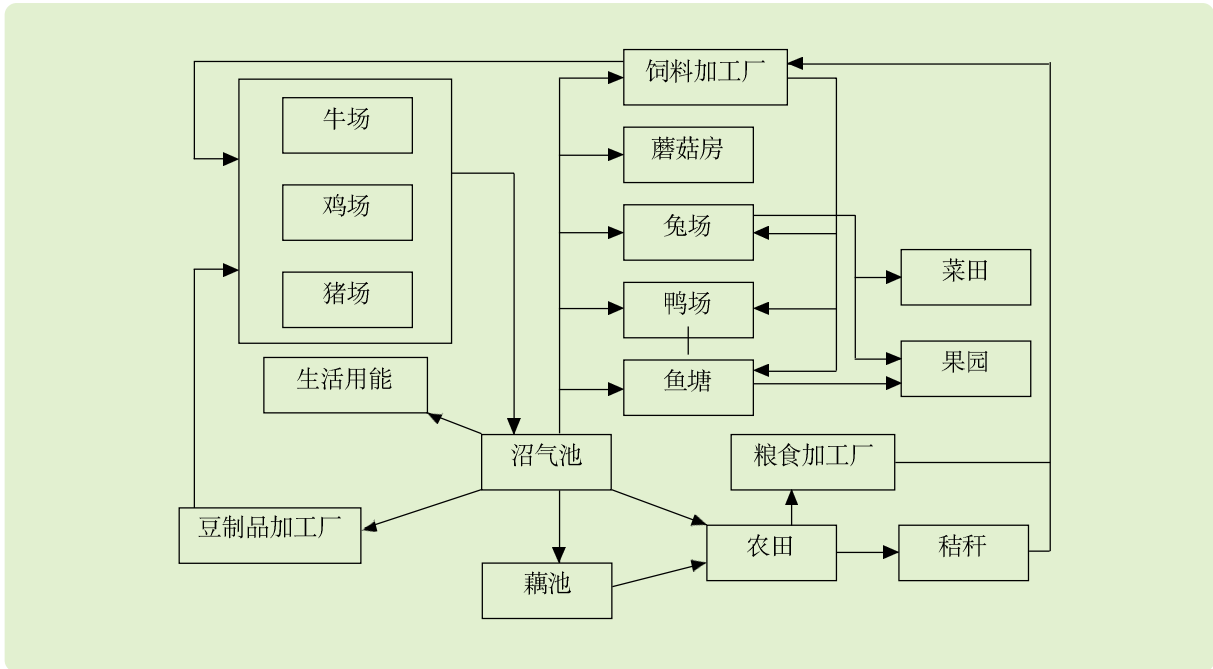


图 2-1 留民营村生态农业模式中物质能量循环利用示意图（李文华，2003）

在系统中，水稻为鸭子提供了良好的食物来源和生长环境；鸭子取食稻田害虫和杂草，在觅食和嬉戏过程中搅动田水和土壤，促进养分的有效转化与吸收，刺激水稻生长发育；鸭粪作为一种较好的有机肥料还田，供水稻生长利用。鸭子在稻田生态系统中具有多重生态学功能，主要包括除草、除虫、防病、中耕浑水、施肥、改善水稻植株群体环境、刺激水稻生长、减少稻田温室气体排放，以及充分利用生态位等方面（章家恩等，2005；绿色和平，2007；刘小燕等，2006；王小龙等，2007）。

通过鸭子在物种时空结构上的有机嵌合，形成了一个动态的多级食物链网结构和物质循环利用体系，使物质利用率上升，辅助能投入下降，减少农药、化肥和人力的投入，并可提高能量转化效率，从而实现结构与功能的高效协调（见图 2-2）。稻鸭共作技术作为一项种养复合、降本增效和环境友好的综合农业技术，具有明显的生态、经济和社会效益（刘小燕等，2006）。

在气候变化背景下，特别是在暖冬条件下，越南等境外或中国稻飞虱越冬区的稻飞虱迁入期提前，为害期延长。暖冬可使稻飞虱冬季繁殖或残存数量增加、越冬范围扩大、虫源基数提高。中国稻飞虱发生较重的年份大多出现在一月副高较强的年份。厄尔尼诺年的次年中国稻飞虱有可能严重发生（霍治国等，2002）。气候变暖、海温异常等大尺度气象因子主要通过影响大范围的气候环境来间接影响稻飞虱的发生、消长（侯婷婷等，2003）。

稻鸭共作对稻田有害生物有较好的控制作用，其中以对农田杂草和稻飞虱控制效果最好，不施农药完全可以控制杂草和稻飞虱对水稻的危害。稻鸭共生生态种养模式能显著减少稻飞虱的发生量，能持久、稳定控制稻飞虱种群数量处在低量级水平。稻鸭共生对稻飞虱的控制是由于引入鸭子这一主导生物因子，通过鸭子对稻飞虱的捕食以及鸭子活动引起稻田生态环境的改变。稻田中稻飞虱短翅成虫的数量降低而节省 3~5 次防治用药，晚稻田可节省 2~3 次防治用药，



稻田养鸭

每个季节可节省防治用工和药剂费用 12~25 元（杨治平等，2006）。稻鸭共作对稻飞虱、叶蝉的防除效果十分显著，对二化螟、稻纵卷叶螟、稻螟蛉有一定的控制作用（朱凤姑等，2004）。从全国各地的研究结果来看，稻鸭共作对稻飞虱和叶蝉的控制作用显著，在水稻生长期可取代相应杀虫剂的使用，但对稻纵卷叶螟、螟虫和其他害虫的防治效果不一，有待

进一步开展研究（全国明等，2005）。

此外，稻鸭共作中鸭能有效的控制灰飞虱，因而可以有效地控制条纹叶枯病的发生。水稻条纹叶枯病是由灰飞虱在秧苗 3 叶期到分蘖期传毒而引起的，因此防治灰飞虱是控制条纹叶枯病的关键。灰飞虱栖息于离水面 3~6 厘米的稻株基部，而这个部位却是鸭子能有效控制的部位。稻鸭共作的实践表明，用鸭防治

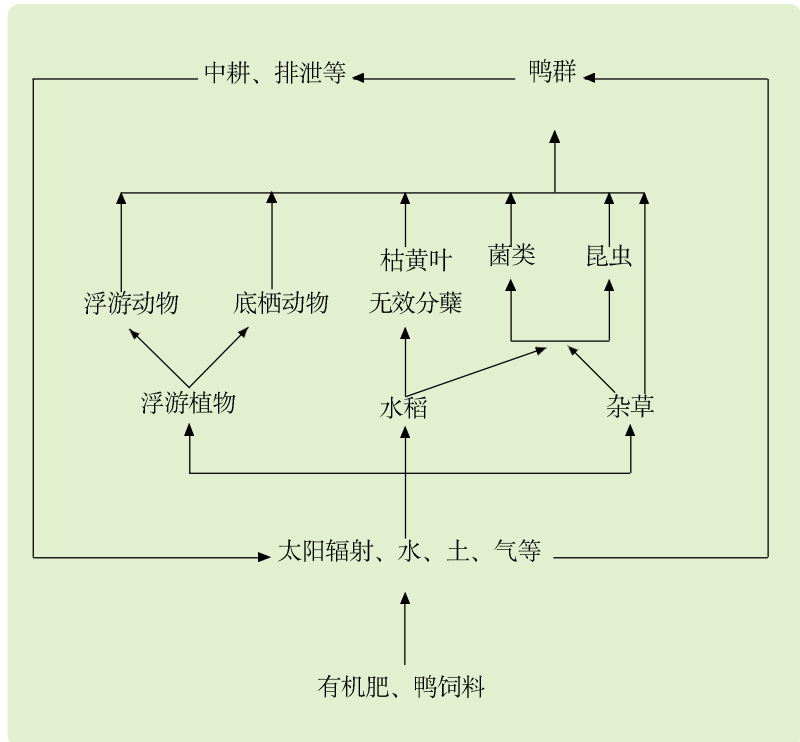


图 2-2 稻鸭共作生态系统的结构示意图 (章家恩等, 2005)

灰飞虱的生物防治,比用农药的化学防治更及时。如果再采用防虫网覆盖育秧,对防止灰飞虱迁入秧田内侵害传毒具有比药剂防治更好的防病效果(沈晓昆等,2006)。

评价:稻鸭共作的立体种养殖复合生态系统具有多重生态学功能,包括具有除草、除虫、防病、中耕浑水、施肥、改善水稻植株群体环境、刺激水稻生长等方面作用。稻鸭共作对稻田有害生物有较好的控制作用,能显著减少稻飞虱的发生量,能持久、稳定控制稻飞虱种群数量处在低量级水平,从而在水稻生长期可取代相应杀虫剂的使用。因此,稻鸭共作的立体种养殖是一项具有适应气候变化效果的生态农业模式。

稻鸭共作模式通过改善土壤环境条件,如增加土壤氧化还原电位,降低还原物质总量,活性还原物质总量,从而显著减少稻田 $\text{CH}_4$ 气体的排放通量与排放总量(黄璜等,2003;刘小燕等,2006;甘德欣等,2005;向平安等,2006)。稻鸭共作能减少稻田中的产甲烷菌数量,特别是减少了排放高峰期的产甲烷菌数量(邓晓等,2004)。在水稻分蘖盛期和孕穗期产甲烷菌数量均低于常规稻区,差异极显著。因此,稻鸭共作同时也是一项具有减缓全球气候变化的生态农业模式。

## 参考文献

IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, Cambridge University Press

邓晓, 廖晓兰, 黄璜. 稻-鸭复合生态系统产甲烷细菌数量, 生态学报, 2004, 24 (8): 1696~1700

甘德欣, 黄璜, 蒋廷杰等. 免耕稻-鸭复合系统减少甲烷排放及机理研究, 农村生态环境, 2005, 21 (2): 1~6

侯婷婷, 霍治国, 李世奎, 卢志光, 叶彩玲. 影响稻飞虱迁飞规律的气象环境成因, 自然灾害学报, 2003, 12 (3): 142~148

黄璜, 王华, 胡泽友等. 稻鸭种养生态工程的理论分析与实践过程, 作物研究, 2003, 17 (4): 189~191

黄璜, 杨志辉, 王华等. 湿地稻-鸭复合系统的 $\text{CH}_4$ 排放规律, 生态学报, 2003, 23 (5): 29~34

霍治国, 陈林, 叶彩玲, 刘玲. 气候条件对中国水稻稻飞虱为害规律的影响, 自然灾害学报, 2002, 11 (1): 97~102

李文华主编. 生态农业: 中国可持续农业的理论与实践, 化学工业出版社, 2003

刘小燕, 黄璜, 杨治平, 余建波, 戴振炎, 王德军, 谭泗桥. 稻鸭鱼共栖生态系统 $\text{CH}_4$ 排放规律研究, 生态环境, 2006, 15 (2): 265~269

绿色和平. 中国水稻生态农业报告, 2007

马世骏, 李松华主编. 中国的农业生态工程, 科学出版社, 1987

马世铭, Sauerborn. 世界有机农业发展的历史回顾与发展动态, 中国农业科学, 2004, 37 (10): 1510~1516

全国明, 章家恩, 黄兆祥, 许荣宝. 稻鸭共作系统的生态学效应研究进展, 中国农学通报, 2005, 21 (5): 360~365

沈晓昆, 王志强, 戴网成, 谢桐洲, 王强盛. 国内外稻鸭共作动态, 中国禽业导刊, 2006, 23 (3): 11

王小龙, 黄兴国, 刘祝英, 黄璜. 我国稻鸭共作的研究现状及存在的问题探讨, 湖南农业科学, 2007, (5): 79~81

王兆骞. 中国生态农业与农业可持续发展, 北京出版社, 2001

向平安, 黄璜, 黄梅等. 稻鸭生态种养技术减排甲烷的研究及经济评价, 中国农业科学, 2006, 39 (5): 968~975

杨治平, 刘小燕, 黄璜, 胡立冬, 苏伟, 刘大志. 稻田养鸭对稻飞虱的控制作用, 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2004, 30 (2): 103~106

张壬午. 农业生态工程技术, 河南科技出版社, 2000

章家恩, 陆敬雄, 黄兆祥, 许荣宝, 赵本良. 鸭稻共作生态系统的实践与理论问题探讨, 生态科学, 2005, 24 (1): 49~51

中国国家发展和改革委员会组织编制. 中国应对气候变化国家方案, 北京, 2007

朱凤姑, 丰庆生, 诸葛祥. 稻鸭生态结构对稻田有害生物群落的控制作用, 浙江农业学报, 2004, 16 (1): 37~41



第三章 生态农业与气候变化的  
减缓和适应



IPCC 第四次评估报告表明, 许多自然系统正在受到区域气候变化, 特别是温度升高的影响。气候变化的影响与引起气候变化的温室气体排放密切相关, 如果全球平均温度增幅超过  $1.5 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$ , 被评估的  $20\% \sim 30\%$  的动植物物种, 其灭绝的风险将会增大, 生物多样性减少, 而且也会导致农业病虫害增加, 粮食安全受到威胁。生态农业是在环境与经济协调发展的思想指导下, 以生态学原理为基础的生物措施和工程措施建立起来的多层次、多功能的综合农业生产体系。生态农业作为一种综合的、系统的、因地制宜的农业生产方式, 通过综合的生产体系达到减少温室气体排放, 增加农业固碳量, 达到减缓气候变化的作用。生态农业的生产体系通过病虫害防治和生物多样性保护等措施积极主动的适应气候变化, 并且使农民的生计多样化, 农民由原来以农产品的收入为主转变为农林牧副渔以及观光旅游的多种收入来源, 在自身的生态系统中实现了能量的循环利用, 节约了成本, 改善了生态环境。完成了以人为本的社会理念, 实现了环境与经济协调发展的新型农业生产模式, 并且能够减低气候变化的相关风险。

### 3.1 生态农业与减少 GHG 排放

目前以全球变暖为主要特征的气候变化已成为国际公认的事实, 人类活动引起的温室气体的大量排放是气候变暖的主要原因。IPCC 第三工作组第四次评估报告指出 (IPCC, 2007) 农业排放的非二氧化碳温室气体占人为排放的非二氧化碳温室气体总量的  $14\%$ , 其中农业生产排放了  $84\%$  的  $\text{N}_2\text{O}$  和  $47\%$  的  $\text{CH}_4$ , 而农业生产释放的  $\text{CO}_2$  估计达  $40 \text{ Mt CO}_2\text{-eq}$ , 不到全球人为释放量的  $1\%$ 。根据《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》(2004), 1994 年中国温室气体总排放量为  $36.50$  亿吨二氧化碳当量, 其中二氧

化碳、甲烷、氧化亚氮分别占  $73.05\%$ 、 $19.73\%$  和  $7.22\%$ 。农业活动导致了  $50\%$  的甲烷排放和  $92\%$  氧化亚氮的排放, 由于农业  $\text{CO}_2$  的排放量很低, 在《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》中没有报告。因此农业是非二氧化碳温室气体的主要排放源之一。农业温室气体的排放主要包括稻田甲烷的排放、农田土壤氧化亚氮的排放、粪便管理系统中甲烷和氧化亚氮的排放以及动物肠道发酵甲烷的排放。

#### 3.1.1 农田温室气体排放与减排技术

##### 1. 稻田甲烷的排放

稻田是甲烷的主要排放源之一, 从分布上讲, 全球  $90\%$  以上的水稻种植面积分布在亚洲。中国是重要的水稻生产国, 我国水稻种植面积约占世界水稻种植面积的  $21\%$ 。我国水稻田约占全国耕地面积的  $25\%$  (中华人民共和国气候变化初始国家信息通报, 2004)。水稻作为我国第一大粮食作物, 分布的范围非常广泛, 分布在  $28$  个省市自治区, 而不同水稻种植区的气候、土壤条件各不相同, 同时水稻品种, 耕作制度、灌溉管理、肥料类型和施用方式等因素在地区间存在较大的差异。

稻田  $\text{CH}_4$  的排放是土壤  $\text{CH}_4$  产生、再氧化及排放传输三个过程相互作用的结果。土壤理化性状和土壤环境都会影响稻田甲烷的排放 (江长胜, 2004)。土壤质地能影响土壤通透性和土壤有机质的分解速率, 因而能影响土壤 Eh (氧化还原电位) 和产生  $\text{CH}_4$  微生物的基质供应及稻田  $\text{CH}_4$  排放。土壤温度对土壤微生物活性和  $\text{CH}_4$  产生具有重要影响。稻田向大气排放的  $\text{CH}_4$   $80\% \sim 90\%$  是通过水稻植株来完成的, 因此, 水稻植株对稻田  $\text{CH}_4$  排放起着非常重要的作用。水是影响稻田  $\text{CH}_4$  排放的决定性因子, 节水灌溉能够减少稻田甲烷的排放 (彭世彰, 2007; 石英尧, 2007), 彭世彰等人的研究结果还表明控制灌溉水稻全生育期的

稻田 $\text{CH}_4$ 排放总量为 $24146\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ，比淹水稻田减少了39%。施肥也影响稻田甲烷的排放，混施有机肥的处理甲烷排放大于单施氮肥的处理，同施用稻草相比，发酵猪粪处理的甲烷排放较少（秦晓波等，2006）。耕作制度不同稻田甲烷的排放也有差异，冬灌田是 $\text{CH}_4$ 排放量最大的一类稻田。越冬期排干，并种植旱作（小麦或油菜）减少后续水稻生长期 $\text{CH}_4$ 排放量，水稻垄作并降低冬季垄沟水位也可有效地减少水稻生长期的 $\text{CH}_4$ 排放量，调节冬季土壤水分，进一步证明冬季土壤水分对后续水稻生长期 $\text{CH}_4$ 排放量的影响（蔡祖聪等，2003）。烤田可以降低稻田甲烷的排放量。有关专家通过模型和GIS技术估算了稻田甲烷的排放量，我国2000年稻田甲烷排放量为 $6.02\text{Tg}$ （黄耀等，2006）。

正是由于诸多因素影响了稻田甲烷的排放，因此可以通过改变稻田的生长环境、生态环境及相关管理措施来减少稻田甲烷的排放。目前有很多新型的生态农业模式不断的发展和推广，这些生态农业模式不仅可以节约、合理利用资源和能源，还可以减缓和适应气候变化。例如，在稻田中放养一定数量的金鱼，使之形成稻-金鱼共栖生态系统。稻-金鱼共栖生态系统显著降低了甲烷排放通量，主要原因之一是该生态系统改善了土壤的氧化还原状况（刘小燕，2005）。在浙江省的青田县，就一直保留着传统的稻田养鱼模式。湿地稻-鸭复合系统是一种发展已久的稻田综合利用方式，该系统利用鸭子好动、勤觅食的生活习性，搅动土壤，起中耕、除草作用，并增加土壤养分，改善田间小气候，从而产生显著的经济效益和社会效益，同时减少了甲烷的排放。将稻鸭生态种养技术与免耕技术结合，降低了由于翻耕产生的土壤还原程度增强，进而减少了稻田甲烷的排放。因此大力发展立体生态农业不仅能够提高生态效益、经济效益和社会效益，同时是减缓和适应气候变化的重要措施之一。

减少稻田 $\text{CH}_4$ 排放的主要管理措施包括水分管理、品种的选择和收获指数的提高。稻田淹水和烤田相结合是减少 $\text{CH}_4$ 排放的理想措施，适当的间歇烤田能大幅度减少 $\text{CH}_4$ 排放量。提高水稻的收获指数、选育和种植排放低的水稻品种等是减少稻田 $\text{CH}_4$ 排放的另一条途径。稻田甲烷排放量也会因水稻品种不同而差异很大。改善水稻栽培技术，可增加光合产物向籽粒的输送、减少空瘪粒、提高结实率和千粒重，有助于提高收获指数，减少光合产物向根际土壤的输送，因而减少产生出 $\text{CH}_4$ 的基质，从而减少 $\text{CH}_4$ 的排放。

因此为了更好的适应和减缓气候变化，同时保护生态环境，应该采取适当的管理措施进行稻田耕作。

## 2. 农田土壤氧化亚氮的排放

农田土壤是大气中 $\text{N}_2\text{O}$ 的重要来源，氮素的施用是土壤氮含量增加的主要原因之一。与1990年相比，2000年我国氮肥用量升高了40%（高志岭等，2004）。随着土壤施氮量增加，土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 排放总量也逐渐增加，裸地土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 排放量的增加尤其显著，种植玉米比裸土减少87%~92%的 $\text{N}_2\text{O}$ 排放量（杨兰芳等，2005）。有研究资料表明，在作物生长季节内，华北平原典型玉米田、大豆田、棉花田土壤的 $\text{N}_2\text{O}$ 平均通量分别为 $244.3 \pm 27.9$ 、 $177.8 \pm 27.1$ 和 $88.2 \pm 8.1 \text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ，玉米田 $\text{N}_2\text{O}$ 排放量最高（叶欣等，2005）。不同的轮作制度也会影响农田土壤氧化亚氮的排放，南京地区几种常规耕翻农作制度中，玉米（施氮）-小麦（施氮）轮作农田 $\text{N}_2\text{O}$ 年度排放量最高，大豆（不施氮）-小麦（施氮）次之，水稻（施氮）-小麦（施氮）轮作最低（陈书涛等，2005）。据专家估算，1991~2000年间由于化肥投入量的增加，中国农田化学氮源 $\text{N}_2\text{O}$ 排放呈上升趋势。20世纪90年代的平均年排放量为 $204 \text{GgN}_2\text{O-N}$ ，变幅为159~269  $\text{GgN}_2\text{O-N}$ ，受施氮量和降水的影响， $\text{N}_2\text{O}$ 排放通量表现出明显的区域性差异，东部较高，西北偏低（卢燕宇，2007）。



农民们在修建沼气池



目前我国的氮肥利用率在20%~50%之间,若将氮肥利用率从20%~30%提高到30%~40%,则可相应降低10%的排放。提高氮肥利用率的措施包括合理的养分配比、改表施为深施、有机肥与化肥混施等(黄耀,2006)。碳酸氢铵和尿素是我国农业的主体肥料,但它们的肥效期短,挥发损失量大,氮素利用率低。与施用普通碳酸氢铵和尿素相比,长效碳酸氢铵与长效尿素能显著减少排放27%~88%(梁巍等,2004;岳进等,2003)。因此长效肥和控释肥大面积推广能够节约氮肥,降低农田 $N_2O$ 的排放量。此外,由于区域经济发展的不平衡,华东及华南沿海经济发达区施氮量远高于经济欠发达地区,高氮投入不仅使得氮肥利用率下降,而且增加了农田 $N_2O$ 排放(黄耀,2006)。因此促进区域间氮肥施用的均衡发展,不仅有利于提高氮肥利用率、提高粮食产量,同时能够大大降低农田 $N_2O$ 的排放量。

### 3.1.2 发展农村沼气减少有机肥处理过程中的甲烷排放

我国是世界上农业废弃物产量最大的国家,每年大约有40多亿吨,其中畜禽粪便排放量为26.1亿吨,农作物秸秆为7.0亿吨。过去,我国农民将畜禽废弃物作为有机肥使用,在促进物质能量循环和培肥地力方面发挥了巨大的作用。但随着市场经济的发展,农业废弃物转化为有机肥料面临一系列新的问题和严峻的挑战,一方面畜禽废弃物产量过大,同时种植业逐渐转向省工、省力、高效、清洁的栽培方式,传统的有机肥料积、制、存、用技术已不能适应现代农业的发展(孙振均,2006)。我国农村区域广阔,牲畜养殖规模逐渐扩大,因此动物粪便的产量也逐年增加。多数养殖场将大量未经处理的粪便随意排出,对水体、土壤造成了严重污染,而且由于长期放置,产生大量甲烷,污染大气,成为加剧温室效应的关键因素。

因此解决农业废弃物尤其是动物粪便的处理不当导致的温室气体排放，已经成为人们关注的热点问题。

沼气是有机物质在厌氧条件下，经过多种细菌发酵作用形成的一种混合气体。它的主要成分是甲烷，通常占总体积的50%~70%。农村主要以猪、牛粪便为原料，发酵产生的沼气中一般含甲烷60%左右，二氧化碳35%左右，另外还有少量的氮气、氧气、硫化氢、一氧化碳和氢气。通过在农村开展沼气工程建设，可以有效地减少由畜禽粪便等引起的甲烷排放以及燃煤、薪柴等导致的CO<sub>2</sub>排放，从而为全球温室气体排放做出贡献。目前，我国农村通常的户用沼气工程包括“灶-圈-厕-池”连通的沼气工程，把改造厕所、厨房、猪圈与建设沼气池结合起来。小型高效沼气池的主要原料是人畜粪便、垃圾、废物等所含有有机废弃物，这其中的生物质能源长期以来未开发利用，并且污染生活环境。研究表明（刘尚余，2006），农村户用沼气工程，不但可以优化农村生态环境、解决农村能源短缺，具有良好的环境和社会效益，而且也可以产生较好的全球温室气体减排效益。

### 3.1.3 减少饲养动物的甲烷排放

农业活动是甲烷的最大排放源，其中反刍动物肠道发酵是农业活动甲烷排放的主要来源之一。反刍动物排放甲烷是通过肠道发酵过程产生的，反刍动物瘤胃内的甲烷菌，以微生物作用产生的氢和二氧化碳为基质合成甲烷，化学性质稳定，但甲烷不被动物机体利用而通过暖气排出体外（杨凤，2001）。反刍动物排放甲烷与其特有的消化特点有关。饲料在被动动物吞食后首先在瘤胃内进行厌氧发酵，瘤胃内的微生物把碳水化合物和其他植物纤维发酵分解成挥发性脂肪酸（VFA）等代谢产物，同时产生甲烷。据资料介绍，反刍动物在能量代谢过程中因产生甲烷而消耗的饲料能量约为2%~12%（林而达等，1998）。饲料种类

和摄入量是影响动物甲烷排放量的主要因素。甲烷排放量与能量摄入水平呈正相关关系，因此可以根据肉牛每天从饲料中摄取的总能量来估测肉牛每天甲烷排放量（樊霞等，2006）。

我国反刍动物饲养以粗饲料为主，且管理粗放，通过饲料秸秆的处理和营养成分的改善能有效地减少个体CH<sub>4</sub>排放量。饲料秸秆的处理包括氨化、青贮、粉碎及颗粒化。秸秆氨化处理能够分解秸秆的粗纤维，提高秸秆的消化率，同时动物采食氨化后的秸秆还能提高瘤胃内氮的水平，从而提高动物生产性能，降低单位畜产品的CH<sub>4</sub>排放量。秸秆的粉碎和颗粒化可增大饲料表面积，不仅能够增加动物采食量，而且还可以缩短食物在瘤胃内的停留时间，减少营养物质在瘤胃内发酵造成的能量损失（黄耀，2006）。改进饲料从而减少牲畜肠道发酵产生的甲烷，建立生物工厂加强对牲畜粪便的循环利用，提高牲畜饲养和饲料种植的效率，加强牧场合理化管理。

## 3.2 生态农业与固碳

陆地生态系统的动力学依赖于生物地球化学循环，特别是碳循环、养分循环及水循环数量间的交互作用，而所有这些循环都会受到人类的影响而发生变化。陆地生态系统中，活的生物和死的有机物以及土壤中都含有大量的碳，因此在全球碳循环中起着一个关键的作用，这些系统和大气间碳的自然交换主要是通过光合作用、呼吸作用、分解和燃烧进行的。同时，人类通过土地利用、土地利用变化和林业活动改变碳存储和这些碳库与大气之间的通量（LULUCF - 《土地利用、土地利用变化和林业活动》特别报告）。碳可以固存到陆地生态系统的植被和土壤中。虽然大部分碳是通过植物叶子进入生态系统的，而且在地上生物之中碳的累积也是很明显的，但超过一半的同化碳会

最终转化到地下，这主要通过根的生长和转换、根的有机分泌物以及进入土壤的枯枝落叶等途径。在非林生态系统（农田、草地或湿地）中，土壤含有的碳量占整个生态系统的一半以上（林而达等，2005）。

土壤碳的净积累可以通过多种方式产生，它们或是增加植物固定的碳返回到土壤中的数量，这多以根茎叶枝的形式，或是减少分解速率。各种增加生产力的措施，如品种选育、施肥、灌溉及减少裸地休闲等都可以较大幅度地增加土壤碳的输入。同样，减少作物和树林收获期枝叶秸秆的燃烧和移出也可以增加还田的生物质总量。减弱有机质分解的有利环境条件也可以降低分解速率，即减少单位时间单位土壤CO<sub>2</sub>的排放量。IPCC在LULUCF特别报告中，提出了10项可以增加固碳量的主要活动，包括三大类，第一类是对现有土地利用类型改进管理而使其碳储量增加，包括森林管理、放牧地管理、农田管理、农林系统管理、城市绿地管理等；第二类为土地利用变化活动，包括农地还林还草、农地转化为农林系统、湿地恢复和土地的恢复；第三类活动为碳的异地储存，主要为林产品中的碳储存。在现代生态农业中通过退耕还林还草和保护性耕作、秸秆还田等农业措施以及造林、再造林活动和秸秆的综合利用，进一步增加了农业的固碳量，为减少温室气体的排放做出了新的贡献。

### 3.2.1 退耕还林还草的固碳效果

为了保护生态环境，我国近年来实行了退耕还林和植树造林的家庭承包制。随着该项目的全部实施，2002年全国退耕还林面积达227万hm<sup>2</sup>，另外在贫瘠的山岭和荒芜地区还新种266万hm<sup>2</sup>。通常以活生物量变化的估算为主，主要包括退耕还林还草的面积，退耕是活体生物的移出量，转换过程碳排放或吸收量。由于生物量损失的排放量及不断的收获和耕作，农田土壤的碳含量只有草地和森林土壤碳含量的

60%，将一些地产农田退耕还林还草后可以将那些排放出的碳再收汇回来，使大气碳较多地固存于土壤或较长时间地储存于植被中。对于生态脆弱地区退耕还林还草，恢复自然生态系统，可增加土壤中的碳储量，减少排放。通过对水土流失、盐碱化等退化土地的治理与恢复、休耕、秸秆还田、改良土壤等土地整治措施，提高土壤有机碳含量，从而减少碳的排放（刘慧，2002）。通过土地整治措施，每年可减少大气中CO<sub>2</sub>的排放0.4~0.9PgC/a（McNeill J R，2000）。

农田退耕还林对土壤有机碳的影响也比较复杂。许多研究结果认为，退耕还林后有机碳增加。有的研究结果认为农田造林后土壤有机碳增加57%，天然林更新则没有变化。而且土壤有机碳在温带针叶林中有微小的降低，而在亚热带湿润人工林增加较大。在甜菜地中造快速生长桉树林10~13年后，表层0~10cm有机碳含量增加，而在10~55cm中下降（Schiffman PM，Johnson W C. 1990；Post W M，Izaurralde R C，Mann L K，et al. 2001；Bashkin M A，Binkley D. 1998）。也有研究发现造林之后土壤有机碳含量没有变化或降低，对<10cm、>10cm和<30cm土层的土壤有机碳变化不大（Polglase PJ，Paul K I，Khanna P K，et al，2000；Richter D D，Markewitz D，Trumbore S E，et al.，1999）。

草地开垦为农田，通常会导致土壤有机碳的大量释放在草地和耕作下对颗粒有机碳（POC）的影响农作物下POC首先丧失，当农田变成草地POC又增加，天然草地变成农田后，主要流失的有机碳是表层30cm部分，在30cm以下草地和农田没有差异，在22年里农田中有机碳减少22%。农田放弃耕作变成草地对土壤有机碳的影响是一个较为复杂的过程（Chan KY. 1997；Wang Y，Amundson R，Trumbore S. 1999）。有人认为农田变成草地会使土壤有机碳含量大幅度下降，而有人持相反观点。研究结果显示在

免耕的草地中有机碳在90年中因为耕作持续下降,亚热带湿润森林区的作物被草地代替之后有机碳大幅度下降 (Tiessen H, Menezes RSC, Salcedo IH, et al., 2003; Lugo AE, Sanchez AJ, Brown S, 1986)。

### 3.2.2 减免耕、秸秆还田等固碳技术

农业生物质变化包括作物种植结构变化引起的碳吸收变化,不同的耕作方式和种植结构,对土壤碳的累积有很大的影响。土壤有机碳在土壤肥力、环境保护、农业可持续发展等方面均起着极其重要的作用,对全球碳平衡起着重要作用,被认为是影响全球“温室效应”的主要因素。生态农业的主要方式保护性耕作是至少有30%的土壤表面被残留物覆盖以减少水蚀的任何耕作和种植制度或对于风蚀严重的地区,风蚀严重发生期间,每公顷至少覆盖1000kg的作物残留物 (CTIC, 2002),保护性耕作可以改善土壤的团粒结构,改变土壤有机碳的垂直分布和保留时间,提高土壤有机碳含量和土壤质量,改善土壤恢复力。在中科院栾城生态试验站的长期定位试验研究结果认为,就秸秆是否还田的两个翻耕处理来说,秸秆还田0~30cm土层比翻耕秸秆还田提高了1.896%。秸秆都还田的翻耕、旋耕和免耕3种耕作方式下0~30cm土层的有机碳含量分别是6.510 g/kg、7.402 g/kg和6.513 g/kg,旋耕和免耕分别比翻耕提高了13.702%和0.0461%,比对照提高了15.855%和1.941% (李琳等, 2006)。

根据在美国阿拉巴马州的调查,某老成土保护性耕作10年比翻耕耕作的碳储量增加2.8g/kg·a,连作玉米比连作大豆增加0.1g/kg·a,而连作玉米在保护性耕作下可使土壤的有机碳增加到9.6g/kg·a,比翻耕耕作下连作大豆增加有机碳固存0.4g/kg·a (Wood C W, 1992; 王礼茂, 2004)。在我国大豆和玉米连作的形式普遍存在,而基本都是翻耕耕作的形式,所

以对种植结构及耕作方式等方法的研究,有助于我国采取有利的农业措施以减少温室气体向大气中排放。

尽管农业生态系统的循环周期一般仅一年,但它对大气CO<sub>2</sub>浓度的增加确实起到了减缓作用。我国是农业大国,农业生态系统每年总有一定数量的碳固定(占当年吸收量的14%左右) (刘允芬, 1998),其碳汇功能不可忽视。

### 3.2.3 非耕地的生物质固碳

在农田、草地和森林生态系统中,森林生态系统的碳汇功能最强,森林植被中的碳含量约占生物量干重的50%。据IPCC估算:全球陆地生态系统中约储存了2.48万亿吨碳,其中1.15万亿吨碳储存在森林生态系统中。在这1.15万亿吨碳中,有0.23万亿吨碳储存在森林植被中,另外0.92万亿吨碳储存在森林土壤中。森林平均每生长1m<sup>3</sup>的蓄积,吸收约0.5吨碳,相当于1.8吨CO<sub>2</sub>。

2004年温室气体清单:我国林木生长吸收2.63亿吨碳,扣除因林木采伐和毁林排放的碳,净吸收1.11亿吨碳(不包括土壤碳的变化),占我国同年温室气体排放量的11.2%。1994年我国CO<sub>2</sub>排放总量约为30.73亿吨,土地利用变化和林业部门的碳吸收汇约为4.07亿吨,扣除这部分碳吸收汇之后,1994年我国CO<sub>2</sub>净排放量为26.66亿吨(折合约7.27亿吨碳),人均排放约为0.6吨碳/年。

另外,我国宜林荒山荒地5400多万公顷,其中15%左右和近1亿公顷边际性土地,可以用于发展人工能源林。因为天然森林面积已经固定,只能在森林管理上减少采伐和毁林等人类活动来增加森林碳汇,所以,在国际气候变化公约中规定了造林、再造林的定义及碳汇计算规则,通过造林、再造林项目可以增加林业碳汇,抵消部分排放。

造林、再造林是指通过栽种、播种或人工促进天

然下种等方式,将至少50年处于无林状态的地带转变为森林的直接的人类活动。是指在曾经有林、但后来变为无林的地带通过栽种播种或人工促进天然下种等方式,将这种无林地带变为森林的直接的人类活动。而第一承诺期(2008~2012年),再造林将限在1989年12月31日后的无林上进行。人工林每生长 $1\text{m}^3$ 木材,约可以吸收1.83吨 $\text{CO}_2$ (李怒云,2006)。据估计,至2020年全国新增林地碳吸收可达 $1 \times 10^8\text{t}$ 比目前的水平提高4倍(黄耀,2006)。我国应通过加强林业的保护、管理和造林,加强农业和草场管理,增加农林复合、林草复合集约管理的经营方式,使农林业碳吸收汇以1990年为基准年,力争年增加量达1.2亿 $\text{t C/a}$ 以上(何建坤,2006)。

我国草地面积共392.8万 $\text{km}^2$ ,占国土面积的40%,是农田的4倍。草地固碳的潜力为23.9 $\text{Mt/a}$ ,占全国固碳潜力的29%。而我国北方广大草地正在收到严峻的退化和沙化的威胁,其地上部生物量和土壤碳储量都会因之而受到影响。所以合理的草地管理对于生物量的碳累积和土壤碳储量的增加都有很大意义。

另外,我国还有大面积的农林地,即那些种植或生长在草场或农田周围的成片或者不成片的特殊林地,如果树、防护林、薪材林等,它们在经济、社会和环境方面都有一些特殊作用。我国农业用地中的农林地面积为14 $\text{Mhm}^2$ (Xu D, 1999),涉及农林地的活动有将砍伐和烧荒后的林地转化为农林地以及将严重退化的土地转化为农林地等。将严重砍伐和烧毁后的森林转化为农林地可以将原来碳的35%再收汇回来,而转化为农田则只能收汇回12%的碳。此外,改进农林地管理还可固定一部分碳,如通过改善和种植防风带、选择较好的树种、合理的养分供应以及病虫害防治和其他农作措施的综合利用等,农林地的固碳潜力按0.46 $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 计,则14 $\text{Mhm}^2$ 的固碳潜力可达640万 $\text{t/a}$ 。最后,我国还有天然和人工湿地在内

的湿地面积共63 $\text{Mhm}^2$ ,居世界第四位,其中沼泽、湖泊、滩涂、盐沼为主的天然湿地25 $\text{Mhm}^2$ ,稻田、池塘为主的人工湿地为38 $\text{Mhm}^2$ ,湿地是指地表有暂时或永久积水而生成的、具有特殊的生理生化和生物学特征(以水生土壤、水生植被为主要特征)的浅滩。由于长期淹水,有机物嫌气分解,因而累积有大量有机碳。湿地碳累积速度为0.35 $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,湿地面积约占全球陆地面积的4%~6%,但其累积的碳占全球碳储量的20%~25%(Gorham, 1995)。采取合适的湿地恢复措施将会使湿地保持其累积碳的功能而起到调节大气碳循环的作用。

### 3.2.4 作物秸秆的特殊使用与固碳

我国是农业大国,秸秆量每年在6亿多吨,除了作为秸秆还田和动物饲料外,还有大部分剩余,有的地方就地焚烧,这样不仅增加了大气中 $\text{CO}_2$ 的排放量,而且引起了很多社会问题。而把剩余的秸秆作为生物质能源的原料,即解决了环境问题也能为解决国家的能源问题做出贡献。但是在我国生物质利用技术水平较低,开发新型能源的成本较高,限制了技术设备的推广利用。我国未来生物质利用技术主要在能源作物的开发、沼气技术、生物质热转化与利用技术、生物质材料的利用上实现突破。通过生物质能的开发和利用,替代化石燃料燃烧即能节约常规能源也在减排 $\text{CO}_2$ 和 $\text{SO}_2$ 方面产生了很好的作用。

经计算1996年农村家用沼气池年产或替代能源16.29 $\times 10^8\text{m}^3$ ,减排 $\text{SO}_2$ 量4.37万吨,减排 $\text{CO}_2$ 量293.46万吨;集中供气沼气池年产或替代能源4310.98 $\times 10^4\text{m}^3$ ,减排 $\text{SO}_2$ 量0.12万吨,减排 $\text{CO}_2$ 量7.77万吨(王革华,1999)。对我国农村户用沼气替代传统生物质能和煤炭所产生的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{SO}_2$ 的减排量进行了计算分析。研究表明,在1996~2003年间,每年可减少 $\text{CO}_2$ 排放39.76~419.39万



吨, 减少SO<sub>2</sub>排放2.13~6.20万吨(张培栋, 2005)。预计我国未来农村户用沼气工程建设将会给农村生态环境带来更大的减排效益。根据农村生活用能的加强预测方案(邓可蕴, 2000), 在2010~2050年间, 沼气替代生物质能和煤炭可使CO<sub>2</sub>年排放减少307.77~4592.80万吨, SO<sub>2</sub>年排放减少13.11~98.87万吨。

总之, 通过合理的农田、林地、草地管理, 退耕还林、还草, 退化的土地恢复及适当的湿地保护措施, 能够极大的增加我国的碳储量, 并使生态环境得到改善。农业减缓气候变化的措施除固碳的效益外, 还带来一系列的环境成本和附加效益。首先是改善土壤生产力, 有机碳含量和质量与作物的产量具有较强的相关性。其次, 许多固碳措施能同时防止土壤侵蚀, 保持土壤有机质和物理性状, 改善水和空气质量。最后, 作物秸秆及农林废弃物的能源利用, 符合循环经济的原理, 能够增加农民收入, 提高生活水平, 改善生态环境。因此, 农业固碳措施常常是“无悔的”, 是充分发挥了生态农业的精髓。

### 3.3 生态农业与病虫害防治

#### 3.3.1 气候变暖为特征的农田生态系统变化对作物病虫害的影响

气候变暖对病虫害的发生发展有不可忽视的重要影响。病虫害的发生与流行取决于是否存在适宜的寄主作物、具有侵染和为害能力的病虫害、适宜病虫害发生的环境条件以及以上三类条件在时间上和空间上的吻合程度。全球气候变暖不仅通过改变寄主作物的生长发育进度对病虫害产生间接影响, 更重要的是温度升高对病虫害发生时期和程度产生直接的深刻影响。

冬季变暖通常使病虫害安全越冬的区域扩大, 减少非滞育昆虫的冬季死亡率和病菌的存活率, 从而增加病虫害的初侵染源或虫源的数量, 为翌年病虫害发

生流行提供了有利条件。冬季变短将使病虫害的越冬期缩短, 春季早发, 年发生世代增多, 发生期延长, 农田受害期增长; 夏季温度升高, 害虫发育速度加快, 年世代数可能增加(Pollard & Yates, 1993)。气温增高2℃, 麦蚜越冬量在黄河流域将增加约4~60倍, 长江流域增加约10~138倍; 气温增高4℃, 麦蚜在黄河流域和长江流域将都能越冬并繁殖(严力蛟, 2003)。气候变暖增加了有害生物分布区域向地球两极扩散的机会, 使害虫种群地理分布范围扩大



大量用后的农药包装散落在田间地头

(Hickling et al., 2006), 分布在低海拔地区的种群, 也可能向高海拔地区迁移 (Hill et al., 1987)。预测表明温度增加  $2^{\circ}\text{C}$ , 中国粘虫增加 1 代。各代界限东部将北移 2~5 个纬度 (直线距离约 200~600km); 西部北移 2~6 个纬度 (直线距离约 200~700km) (李淑华, 1992)。在黄淮流域和陕西关中灌区, 由于气温上升和灌溉、施肥水平的显著提高, 创造了有利于赤霉病发生的环境条件。气候变暖带来水稻种植界线北移, 种植面积扩大, 加之施肥水平提高, 稻瘟病不

仅在常发区有较高的流行频率, 且有北上的趋势 (吕子同等, 1995; 丁效华, 1994)。此外, 大气中  $\text{CO}_2$  浓度增加, 理论上可使植株含碳量增高, 含氮量相对下降, 胁迫害虫增大取食量, 以满足其本身对蛋白质的营养需求, 作物的受害程度加重。

### 3.3.2 以农药为主的化学防治对生态系统和人类的影响

气候变暖使作物病虫害发生加重, 发生为害期延



农田里施加的大量农药给环境带来了不良的影响

长, 用于防治病虫害的化学农药的需求量增加。农药作为一类有毒物质对生态系统和人类健康产生深刻影响。我国蔬菜、果树、水稻、棉花等经济价值较高或复种指数较高的作物重茬、连作、种植品种多样性较低, 在全球变暖适宜的温度条件下, 病虫害为害日益严重, 尤其是用于土传病害防治的化学农药使用量十分惊人。据中国农科院环发所2001~2004年所做的农户问卷调查, 3年以上的日光温室条件下栽培黄瓜, 每个大棚内(约400m<sup>2</sup>)喷在黄瓜上的各类农药总价值高达500~800元。虽然政府明令禁止剧毒农药使用, 但生产上使用内吸性和渗透性强的高毒农药现象仍时有发生, 所用剂型多为易造成污染的乳油制剂, 农药使用浓度高、次数多、剂量大。目前我国部分地区农药的不正当使用和滥用情况仍十分严重(罗军等, 2007)。

农药污染主要包括两个方面: 1) 农药对生态系统的影响。喷施农药时80%的农药雾滴落在地表土壤, 或因雨水冲刷间接进入土壤, 或因防治土传病害和地下害虫直接施药于土壤, 杀死大量拮抗微生物(石兆勇和王发园, 2007)和蜘蛛(叶嘉等, 2006)、步甲等地面活动的捕食性天敌, 造成土壤生物群落退化, 大大降低了土壤生物的自然控害能力。有些除草剂引起的土壤污染可直接导致下茬作物产生药害(肖满开, 2006)。土壤中的杀虫剂随着雨水流入水体, 还会造成水体的短期污染, 导致水生生物减少, 稻田里鱼、虾几乎消失(吴达粉等, 2006)。在植株上的农药可大量杀死害虫天敌, 诱发病虫害产生抗药性, 破坏生态平衡; 2) 农药对人类和动物健康的影响。农药可通过大量吸入、皮肤接触及误食农药残留超标的农产品对人类和动物产生破坏神经传导等急性毒性和少量长期的接触产生致癌致畸等慢性毒性(孔庆喜等, 2005)。农药中毒主要发生在农民施药的劳动操作过程或保存不善引起的急性中毒事故中, 内吸性农药雾滴粘附于作物的营养体或果实等植株表面, 渗入表皮

蜡质层, 甚至进入组织内部并随体液传导到植株各个部位, 造成农药在农产品中的残留。因而, 更加广泛的是广大消费者误食农药残留超标的农产品造成的急性和慢性中毒事件(林兴平等, 2007)。

### 3.3.3 生态农业中作物病虫草害综合防治的特点和发展前景

生态农业是在环境与经济协调发展的思想指导下, 以生态学原理为基础的生物措施和工程措施建立起来的多层次、多功能的综合农业生产体系。生态农业作为一种综合的、系统的、因地制宜的农业生产方式, 与其他方式相比能够更好地应对气候变化。有机农业、无农药栽培、农药替代和减量化以及病虫害综合防治等生态农业模式的共同特点就是有效控制病虫草害的同时, 尽可能减少农药投放量。基于农业病虫害是农田生态系统的重要成员, 通过保持生态系统多样性, 以生态系统中各成员相互作用为基础, 充分发挥自然控制因素的作用, 因地制宜协调应用农业、物理、生物和必要的化学措施, 将有害生物控制在基于准确预测的经济阈值之下, 是从根本上解决农药污染, 保护农业环境的可行策略。

基于虫情预测的害虫防治经济阈值策略。通过寻找农作物病虫害生活史中的薄弱环节, 预测其发生时间和空间, 从而确定其防治的关键时期和防治技术, 以达到事半功倍效果的策略是病虫害综合治理(IPM)的核心。开发有效的病虫害预测模型, 确定害虫防治的经济阈值, 可大幅度避免不必要的农药使用。苹果、枣等北方果树食心虫的隐蔽性和钻蛀性使其暴露在外面的时间很短, 由于不了解其关键时期, 化学防治效果差, 每周施药1次以上仍不能理想地控制其为害。通过预测其出土和树上产卵的关键时期, 进行地面土壤的物理处理和树上物理阻隔可降低施药量30%以上。通过开发较高准确度的麦蚜种群动态模拟预测模型

(Ma, 2000; 常向前, 2006), 使麦蚜防治中农药的使用量降低了30%。目前, 基于虫情预测的害虫防治经济阈值策略已广泛应用于果园、农作物等农产品生产中(Bor, 2003; Pringle, 2006; Canhilal, 2006)。

基于品种的多样性的病害防治策略: 品种的遗传多样性是病害防治的重要基础(Savary et al., 2000a、b)。应用生物多样性与生态平衡原理, 进行农作物遗传多样性、物种多样性的优化布局和种植, 增加农田的物种多样性, 利用物种间相生相克的自然规律, 有效地减轻植物病害的危害, 可大幅度减少化学农药的施用和环境污染, 提高农产品的品质和产量。在我国云南进行的试验表明, 净栽易感的糯稻品种, 稻瘟病的平均发病率为20%, 而与其他品种混栽稻瘟病发病率则仅为1% (Zhu et al., 2000)。朱有勇等(2003)以杂交稻为主栽品种, 优质地方糯稻为间栽品种混栽, 杂交稻和地方优质稻混栽稻瘟病的发病率显著降低, 净栽黄壳糯的稻瘟病平均发病率为32.43%, 病情指数为0.12; 而混栽黄壳糯(与杂交稻)的稻瘟病平均发病率仅为1.80%, 病情指数仅为0.0055, 与净栽相比平均防效为95.35%。杂交稻与糯稻混栽减少了因稻瘟病和倒伏引起的产量损失, 增产6.5%~8.7%。利用水稻品种多样性混栽控制稻瘟病技术简单易行, 可大幅度减少农药的施用量, 具有明显的增产增收效果。从1998年开始, 在云南、四川、湖南、江西、贵州等省33个市(州)202个县累计示范推广面积近100万公顷, 有效地控制了稻瘟病的流行。

基于生态系统环境调控的土壤病虫害防治策略: 由于土壤巨大的稀释效应, 土传病害和根结线虫的防治成为土壤和农产品农药污染的重要因素之一。在不影响作物正常生长发育的前提下, 人为创造不利于病虫害发生的温度、水分和气体等环境条件, 可达到控制其为害的目的。在夏季空闲期施有机肥、灌水和覆膜进行土壤太阳能消毒已成为解决土壤农药污染的有

效措施之一。利用太阳能产生的巨大热量进行土壤消毒(刘晓英等, 2004a)对控制黄瓜根结线虫有良好的效果(刘晓英等, 2004b)。为了防止覆盖农膜产生的环境污染, 覆盖农膜厚度应大于0.04mm, 以便多次重复使用, 最后回收。在此基础上, 在山东惠民的日光温室进行了蔬菜根结线虫病环境调控技术研究, 在空闲期覆膜使土壤温度达到根结线虫的致死温度; 施用有机肥料释放对根结线虫有害的气体; 漫灌灌水以排除土壤中的氧气, 使根结线虫窒息而死。据中国农科院环发所2008年的调查, 该项措施至今已在山东惠民推广应用1万多亩, 有效避免了对蔬菜、土壤及环境造成的污染, 生态效益显著。

基于综合防治措施的农药替代和减量化策略: 综合使用物理的、农业的及生物的防治措施, 可达到既不使用化学农药, 又能有效控制农业病虫害的目的。利用害虫对光、颜色的趋向性, 可利用黑光灯诱杀金龟子等多种趋光性较强的害虫; 利用烟粉虱、蚜虫偏好黄色的习性, 设置黄色粘板诱杀这些温室害虫。采用果实套袋、树干包扎等物理阻隔的方法防治蛀干、蛀果害虫及果树病害效果显著, 如梨果实套袋可防治黑星病及梨小食心虫。利用烟粉虱对莴苣等植物的驱避习性, 在保护地黄瓜间作莴苣, 可有效控制烟粉虱为害(杨中侠等, 2004)。推迟播种玉米, 使玉米螟的发生期与玉米生育期错开, 可有效防治玉米螟为害。生物防治一直是控制农业病虫害有效的方法之一, 如利用赤眼蜂、瓢虫、线虫、绿僵菌等捕食性和寄生性昆虫天敌可防治多种农业害虫(杨怀文, 2007)。

基于综合种养模式的病虫害防治策略: 稻-鸭、稻-鱼等综合种养模式中, 利用鸭子或鱼等物种的捕食活动控制水稻病虫害的发生, 减少化学药剂的使用。稻-鸭共作种养模式中, 鸭子的捕食或踩踏等活动对害虫种群的控制作用明显, 稻-鸭共作对稻飞虱的综合防效达到65.5%(甄若宏等, 2007)。稻-鸭



诱杀害虫的黑光灯

共作改变了田间杂草群落结构，有利于限制杂草的发生危害。中稻田放鸭区杂草密度较空白区减少98.8%，稻-鸭共作控草甚至比施药除草效果还高12.9%（刘小燕等，2004a）；连续4年稻-鸭共作，对田间杂草的控制效果甚至高达99%（魏守辉等，2006）。由于鸭子活动去除了水稻基部枯黄叶和杂草，改善了田间通风透光性，一定程度上能抑制水稻病害的发展，稻-鸭共作可使水稻纹枯病病蔸率减少56.0%，病株率减少57.7%（刘小燕等，2004b）。稻-鸭、稻-鱼等综合种养模式，不仅增加了农民收入，而且降低了除草剂和杀虫剂对自然生态系统的人为干扰，为解决我国农业污染和粮食安全等突出问题提供了一条有效途径。

综上所述，全球气候变暖已对作物病虫害产生了深刻的影响，研究造成这些影响的原因，在此基础上

研究开发对生态环境友好的农药替代及农药减量化防治新技术，是缓解目前全球气候变暖影响病虫害发生、发展及化学农药污染带来的双重压力的有效途径。进入21世纪，环境保护与可持续发展已成为全世界的两大主题。这样的时代背景为生态农业的发展提供了大好的机遇。在生态农业的实践中不断创新和优化植保技术，为我国生态农业健康持续地发展和促进农业现代化做出新的贡献。

### 3.4 生态农业与生物多样性保护

人类为了生存，很早就开始垦荒耕种。为了养活更多的人口，各国农业均以追求最高产量和最高利润为目的，致使森林、草地、湿地减少，城镇公路、农田增加，土地利用格局发生变化，地球表面许多原生生态系统和局地小气候被改变；土壤碳排放的增加为气候变暖起到了推波助澜的作用。农业耕作强度增加、种植结构单一、过多使用复合肥及农药除草剂，导致土地肥力衰减、土壤侵蚀酸化严重、土壤微生物种类和数量下降，农业遗传多样性丧失，生物多样性减少。相比较而言，生态农业与生物多样性保护更为和谐友好，相得益彰。

#### 3.4.1 农业土地利用方式的改变与生物多样性保护

生物多样性是地球在长期进化过程中形成的，在生态平衡中扮演着重要的角色。生物多样性的减少将使农业中的作物改良受到实质性的影响。

土地利用方式的变化是生物多样性下降的主要驱动因子。土地利用从正反两方面影响区域的生物多样性，环境恢复和自然保护区的建立将有利于生物多样性的保护；而城市扩展和道路建设将会引起生境丧失或破碎化，导致生物多样性下降。同时土地利用变化

诱发的环境污染、温室气体增加、碳平衡失调和臭氧层耗损等将间接影响生物多样性(丘君等, 2002)。土地利用变化从类型和强度两个方面对生物多样性产生影响。

土地利用类型的改变指包括林地、湿地、农田等原有土地利用类型的改变。土地利用类型的改变使物种栖息地斑地化, 造成了许多交错带, 产生了边界效应, 从而引起生物多样性的变化(赵文智等, 2000; 赵米金等, 2005; 王佳, 2007)。

土地利用强度的改变指农田、草场、用材林地的管理措施和方式等人为因素对于生物多样性的影响。耕作方式对生物多样性的影响主要通过改变土壤物理环境如水分、空气、紧实度、孔隙度和温度等, 对土壤生物的种群产生影响。农田作物间、套作打破单一的作物结构, 作物多样性提高, 对昆虫种类、数量的增加和农田生物多样性的提高起着直接的积极作用。同时, 作物间、套作还有利于杂草、虫害的控制, 从而减少农药的使用, 对于生物多样性的保护起间接作用(陈欣等, 1999)。免耕可以使无脊椎动物在土壤中的垂直分布不受干扰, 因而其种类和数量增加, 免耕还可以使农田中的某些风媒杂草免受伤害, 使其种类数量比耕作前有所增加。在长江流域棉区, 套作棉田与单作棉田相比, 其物种丰富度指数, 麦棉套作田>蚕豆棉套田>单作棉田(罗益镇, 1995)。

现代农业破坏了生物多样性结构。以品种单一和高集约度投入为特征的现代化农业极大地破坏了农业区生物多样性结构。农田生态系统中农业耕作方式、农田灌溉措施、化肥农药的使用等是提高土地生产力的基本途径, 同时也是生物多样性下降的重要影响因素(陈欣等, 1999; 潘竟虎, 2005)。使用化肥引起的营养富集使得原来稀有的很少几种动植物物种成为生物群落的主宰, 从而导致物种多样性的丢失。在营养高度富集地区, 杂草往往成为陆地和水域生态系统

的优势种, 农药严重污染的土壤中土壤微生物群落的生物多样性显著低于无污染土壤。总体而言, 在气候变化的条件下, 生态农业更有利于生物多样性的保护。

### 3.4.2 农产品质量与生态系统关系

生态系统通过初级生产和次级生产为人类提供食品、工农业原料, 农业生产是农业生态系统的基本功能之一。因此, 农产品的生产具有的重要特点之一就是生态环境依赖性。如作物产量的高低不仅取决于产量因素的合理构成, 在很大程度上, 生态环境因子制约着作物的物质生产、营养运输及向籽粒分配等各个环节, 进而决定产量(李新旺, 2008)。要实现笋用林或笋竹两用林的丰产、稳产, 需要进行竹、笋的留养密度及合理的间伐强度和合理的间伐时间的优化组合(何东进等, 2003)。可见, 生态环境因素直接影响农产品的产量与品质。

农业生态系统是一个能量动态平衡系统, 其稳定性受其能量输入和输出关系的影响。如在农户肉羊农牧生产系统中, 农户的饲养规模越小, 农户肉羊农牧生态系统的能量自我满足率越高, 系统对外界依赖性小, 稳定性增强。随着养殖规模的变大, 农户肉羊农牧生态系统的能量自我满足率逐渐下降, 系统对外界的依赖性增强, 系统的稳定性下降(张呈军, 2006)。潘志华等(2004)研究了建国以来北方农牧交错带的生态系统功能变化情况, 认为在农田亚系统 1984 年前, 养分投入量小, 养分输出输入比高, 1984 年后, 化肥投入量有较大幅度的增长, 输入量增加输出输入比降低, 1995 年前输出量一直大于输入量, 而后输入量大于输出量。

在草地亚系统, 基本没有养分投入只有产出, 因而系统日趋退化。张均营(1995)等研究了农林复合生态系统的不同配置模式。即运用生态学和经济学原理, 把林木包括经济林木与作物或动物有机结合成完



小箩筐是用来捉黄鳝的，沟里田里的黄鳝就如一项环境指标，农药化肥用多了，鱼和黄鳝就少了。

全或部分相互依存的整体，达到充分发挥不同成分之间的正作用。如对光、热、水、肥、生长空间时间的合理利用，维护生产力，产出经济多样的产品，达到持续高产的目的。结果表明，由于林木所有的防护作用，促进了农作物的生长，就各配置模式的总体效果来看，都远远优于单一的农业系统。可见，稳定的生态系统生物生产过程，不仅应与水分、气候等环境因子相配合，而且在其代谢过程中应保持生态系统的投入与产出平衡（李新旺，2008），只有这样才能实现农产品的可持续生产。

农业生态系统是一个开放系统，它在与外界环境

进行物质能量交换同时，不可避免的成为环境污染的接纳体。农业环境污染来自内、外两方面：外援污染主要是工业“三废”和生活污水排放超标等，内源污染主要来源于养殖业废水、废弃物、种植业农用化学品投入。环境污染可直接影响生产者生长发育、初级产物积累，在造成减产的同时，又因有害物质在作物体内富集和食物链上的放大效应，而降低农产品品质，最终削弱了农业生态系统的生产功能（梁滨等，2005）。生态环境因素的改变与玉米产量与籽粒品质指标的差异密切相关（刘淑云，2005；陈亮等，2007）。兽药随动物粪便循环到田间以后，会影响大麦生长，



种植有机蔬菜的农民

并在根部累积(骆世明, 2000)。可见, 一个区域的农业生态系统健康状况良好, 是成为优质农产品生产基地选择的前提条件。农业生态系统健康, 农产品的质量也相应较高, 反之农产品的质量也较低。

农业管理、环境质量是影响农田生态系统健康质量的重要因素, 作物健康是农田生态系统健康追求的目标, 只有农田生态系统处于健康状态, 才有可能生产出安全优质的农产品(梁文举等, 2002)。因此, 建立健康的农业生态系统, 实施农产品产前、产中、产后全过程生产管理质量控制体系, 是提高农产品产量和质量, 增强农产品市场竞争力, 实现农产品质量生产与农业生态系统健康、协调发展的主要措施。

### 3.5 生态农业与农民生计多样化

生态农业不仅有利于生物固碳, 减少农田温室气体排放, 更好地应对气候变化带来的病虫害, 提高农业生态系统的多样性, 还增加了农民生计多样性, 提高农民抵抗气象灾害的能力。

#### 3.5.1 生态农业帮助农民改善生计

生态农业能减少农业生产资料的投入成本。生态农业更多地采取沼液、沼渣等有机肥作为主要的肥料, 减少化肥的使用量; 利用生态环境改善后生物链来消灭病虫害, 降低了农药的使用量, 使农业成本降低, 缓解由于农资价格上涨给农民收入增长带来的冲击。如广西平乐县恭城镇发展沼气农业为例, 农民每年能够减少70%左右的化肥使用量, 同时由于生态环境的改善, 农作物的病虫害也比周围地区少, 因而农药的使用也比以前下降了不少, 有效降低了农业投入的成本(旷爱萍, 2006)。这种生态农业模式不仅可以提高农作物的产量, 降低病虫害, 而且还可以防止水土流失, 改良土壤, 改善局部气候条件等。一方面, 可以解决农村人畜粪便直接还田作肥料, 氮、磷、钾等元素利用效率低的缺陷, 而且降低某些传染病流行的可能性。另一方面, 可以解决农村能源短缺, 缓解农民因能源消耗而砍伐薪柴, 破坏植被的问题。不仅保护了环境, 还节约了农业投入成本, 提高了农业经济效益。保护性耕作不仅能提高农田水分利用率还能够减少机械投入和土壤耕作次数, 从而可以节省农业生产性成本。

生态农业能节约生活成本, 减少农民的生活费用支出, 促进农民收入增长。通过建沼气池, 居民可以用沼气灯照明, 用沼气灶做饭, 用沼气热水器洗澡, 从而节约了生活用电、生活用煤、液化气等费用。据计算, 能每月为一个农户家庭节约100元左右的生活费



用支出。

生态农业能提高农产品的产量和品质,增强产品的市场竞争力,提高农民的收入。由于生态农业从集约化、高效化和环保化方向发展农村经济,千方百计地应用科学手段,不断优化种养结构,改良品种,提高农产品的产量和品质,打造更多、更好和市场竞争力更强的优质农产品品牌,形成了农民长期稳定的增产增收途径。沼液、沼渣是高效、优质的有机肥,用作果树、蔬菜等农作物的肥料,不仅能提高蔬菜、水果的产量,还能提高其品质,是无污染、无公害的绿色食品,其市场价格、销售量高于一般产品的2~3倍,达到了增产增收的目的。瑞典的生态农业模式也值得我们借鉴,其做法有使用天然肥料(牛、羊、猪粪便)人工除草等,瑞典生态饲养禽畜主要采用室外放养、喂养生态饲料等方法。对禽畜传染病以预防为主,一般不用药,用过抗菌类药的禽畜要满1年后才能出售,以保证禽畜体内不残留对人不利成分。在瑞典生态农作物产量比普通农作物产量稍低一些,但其售价要比普通农作物高出1倍。绿色的生态农业可以在不破坏生态环境的情况下,提高农民收入,达到人与环境的协调发展(任爱华, 2004)。

生态农业能改善环境,减少环境污染,提高生态质量,降低自然灾害,减少灾害给农民带来的影响。据2004年广西平乐县恭城瑶族自治县统计局关于生态农业发展情况汇报来看,恭城的“养殖-沼气-种植”三位一体的生态农业发展模式,减少了资源耗能和生态环境的破坏。通过果园配套养猪,利用猪粪制沼气,利用沼气照明、煮饭,再利用沼液灌溉果园,形成良好的生态循环,合理地利用了生产资源,既克服了水土流失,解决了能源问题,又改善了生态环境。以每户每月烧柴200公斤计,全县95%的农民用上沼气,一年可减少烧柴7000多公斤,相当于少砍伐4万亩森林,大大提高了森林覆盖率,使山体滑坡、泥石流

等自然灾害大大减少,使农民减少了因自然灾害造成收入下降的风险。又如渝东南少数民族岩溶山区发展节水型农业模式,岩溶山区虽然平均降水量在1100mm以上,但该区降水变率大,季节分配不均,土层浅薄、贮水能力低、入渗系数大,即使在多雨的生长季节,也常出现蒸发量大于降雨量的干燥期,另外加上每年的伏旱,更加剧了岩溶山区的旱情。因此水是制约渝东南岩溶山区生态农业发展的限制性因子。在这一地区首先是兴修水利,可以一户或几户联合在农田周围打井或修水窖,充分利用地下水和地表径流。改传统的大水漫灌为管道灌溉,在经济条件稍好的地区可以推广滴灌和微灌技术。彻底解决岩溶山区生态农业缺水的问题,依此为基础带动其他相关产业的发展(旷爱萍, 2006)。

发展生态农业还有利于调整产业结构,改善传统的以种粮为主的传统农业模式,把养殖和种植结合在一起来抓农业发展,在种植业内部,根据市场需要调整粮食、蔬菜、水果的种植规模,提高农村的经济效益,提高农民的收入。如渝东南少数民族岩溶山区发展的生态农业模式有经济林为主的林业发展模式、生态观光农业模式、庭院型模式、小流域治理型模式。以生态观光农业模式为例:(1)景观与少数民族风情融合的体验式休闲观光模式:首先在渝东南岩溶山区大量种植茶树、果树等多年生植物,增加绿化面积,减少了水土流失,起到了治理石漠化的作用;其次充分利用少数民族地区丰富的旅游资源,依托新农村建设,突出农家风情、田园风光、民族风俗和时代风采,打造农家乐、林家乐和渔家乐等特色旅游。(2)精品农业或特色农业休闲观光模式:根据岩溶山区土壤层浅薄易流失特点,通过大力发展无土栽培、优质无公害瓜果、淡水鱼类养殖等最新农业生产技术,充分利用现代农业的先进性、生产成果的新颖性,吸引都市居民,以这种高科技的精品农业园为依托,形成集体



闲、观赏、玩乐于一体的现代农业园。这些不同的生态农业模式不仅提高了农民收入的多样性、增加了农民收入，还保护了生态环境，提高了农民应对气候变化及气象灾害的能力（孙秀锋和张凤太，2008）。

农民生计的多样化需要政府的引导和扶植，政府投入一定的资金，帮助农民加强自身能力建设，每年在非农忙季节帮助转移劳动力进城务工，通过劳务输出，不仅能够增加农民收入，而且有利于农民从不

适宜居住的地区搬出，缓解当地的生态问题。此外，移民调庄也是比较典型的适应气候，提高农民生计的实例。

发展生态农业，有利于提高农民运用科技从事农业生产的积极性，激发农民学科技、用科技的积极性，提高农民的整体素质，农民素质提高了，反过来又会带动收入的增长。发展生态农业有利于农民节约成本，提高了农产品品质，增加农民收入来源，保护了

生态环境，提高了农民适应气候变化的能力。

### 3.5.2 生态农业提高农业抗灾能力

气候变化对农业生产影响巨大，而贫困的农户在气候变化中所受损失最大，较富裕农户有更大潜力应对气候变化。农民的收入来源也是应对气候变化能力的主要参考要素之一。发展生态农业增加农民收入来源，由原来以农产品的收入为主转变为农林牧副渔以及观光旅游的多种收入来源，在自身的生态系统中实现了能量的循环利用，节约了成本，改善了生态环境。抵抗各种自然灾害的能力也将提高。生态农业可以帮助农民更好地度过极端天气的考验。如发展节水型农业可以提高农民抵抗干旱的能力。目前，农业用水消耗大量淡水资源，西北地区干旱地区大部分农田仍在采用落后的大水漫灌方式，其用水量是农作物合理灌水量的1~2倍，浪费惊人。如果普遍推广并实施渠系衬砌、喷灌和滴灌技术，则农作物的有效水分利用率可提高1倍以上（杨永岐等，2001）。旱作保护性耕作利用秸秆覆盖和地膜覆盖能显著减少田间蒸发量，提高水分的利用效率；覆盖条件下土温年、日变

化趋向缓和，低温时有“增温效应”，可以起到防冻的效果。生态恢复措施可以帮助农民增加收入，并提高抵抗气象灾害的能力，自1960年干旱引发饥荒后，肯尼亚北部居民开始了恢复林地生态系统的行动。恢复了大约3万公顷的林地，为当地人民和家畜提供了基本的林产品，保证了生计的安全（IISD et al., 2004）。

总而言之，为保护生态环境，增加农民收入，应对气候变化，我们应该积极发展生态农业。首先，要加强宣传培训，搞好示范带动，提高农民群众对生态农业的认识。抓好示范户、带头户、生态村，搞好示范带动。其次，调整产业结构，改善传统农业模式，发展多种形式的农业模式，提高农村的经济效益，提高农民的收入。再次，发展农村可再生能源，搞好“养殖-沼气-种植”发展模式，节约农民的生产、生活投入，保护生态环境，发展循环经济，促进农村的可持续发展。在此基础上发展无污染、无公害的绿色农业，提高农产品的产量和品质，增强产品的市场竞争力，提高农民的收入。最后，为应对气候变化带来的影响还要积极发展节水型农业以及旱作保护性耕作措施，减小灾害性天气对农业生产的影响。

### 参考文献

- Bashkin M A, Binkley D. Change in soil carbon following afforestation in Hawaii. *Ecology*. 1998, (79): 828~833
- Bonman J.M., Khush G.S., Nelson R.J. Breeding rice for resistance to pests. *Annual Review of Phytopathology*. 1992, 30: 507~528
- Bor, Y. J. Uncertain control of dynamic economic threshold in pest management. *Agricultural Systems*, 2003, 78 (1): 105~118

- Canhilal R., Kutuk H., Kanat A.D., et al. Economic threshold for the sunn pest, *Eurygaster integriceps* Put. (Hemiptera: Scutelleridae), on wheat in Southeastern Turkey. 2006, 23 (3~4): 191~201
- Chan KY. Consequences of changes in particulate organic carbon in vertisols under pasture and cropping. *Soil Sci Soc Am J.* 1997, (61): 1376~1382
- CTIC. National survey of conservation tillage practices. Cons. Tillage Inf Center, West Lafayette, IN. 1990, 1995, 1996, 1997
- Gorham E. The biogeochemistry of northern peatlands and its possible responses to global warming. In: Woodwell, G M and Mackenzie F T, eds. *Biotic Feedbacks in the Global Climatic System.* Oxford University Press, New York. 1995, 169~187
- Hickling R., Roy D., Hill J., et al. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology.* 2006, 41 (4): 621~638
- Hill, D.S. *Agricultural Insect Pests of Temperature Regions and Their Control.* Cambridge University Press, Cambridge. 1987, 659
- IISD, *Focusing on Current Realities.* IISD Commentary. 2004
- IPCC, Working Group III. *Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture.* Fourth Assessment Report. 2007
- IPCC. *Land Use, Land Use Change and Forestry.* UK: Cambridge University Press. 2000, 373
- Lugo AE, Sanchez AJ, Brown S. Land use and organic carbon content of some subtropical soils. *Plant Soil Sci.* 1986 (96): 185~196
- Ma C.S., Hau B., Poehling H M. The effect of heat stress on the survival of the rose grain aphid, *Metopolophium dirhodum* (Hemiptera: Aphididae). *European Journal of Entomology.* 2004b, 101: 327~331
- Ma C.S., Hau B., Poehling H.M., Effects of pattern and timing of high temperature exposure on reproduction of the rose grain aphid, *Metopolophium dirhodum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 2004a, 110: 65~71
- Ma C.S., Modelling and simulation of the population dynamics of the cereal aphid *Metopolophium dirhodum* in northern Germany. Hildesheim, Berlin: Verlag Franzbecker, 2000, 139~141
- McNeill J R. Dowsing the Human Volcano. *NATURE.* 2000, 407 (12): 674~675
- Messenger, P.S. Bioclimate studies with insects. *Annu. Rev. Entomol.* 1959, 4: 183~206
- Polglase PJ, Paul K I, Khanna P K, et al. Change in soil carbon following afforestation or reforestation: Review of experimental evidence and development of a conceptual framework. National Carbon Accounting System Technical Report No. 20. Commonwealth of Australia, Canberra. Australia for the Australian Greenhouse Office. 2000, 1~119
- Pollard E, Yates T.J. *Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation.* Chapman & Hall, London. 1993
- Post W M, Izaurralde R C, Mann L K, et al. Monitoring and verifying changes of organic carbon in soil. *Climate Change.* 2001, (53): 73~99
- Pringle, K L. The use of economic thresholds in pest management apples in South Africa. *South African Journal of Science.* 2006, 102 (5~6): 201~204
- Richter DD, Markewitz D, Trumbore SE, et al. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a reestablishing forest. *Nature.* 1999, (400): 56~58
- Savary S., Willocquet L., Elazegui F.A., et al. Rice pest constraints in tropical Asia: Quantification of yield losses

due to rice pests in a range of production situations. *Plant Disease*. 2000, 84: 357~369

Savary S., Willocquet L., Elazegui F.A., et al. Rice pest constraints in tropical Asia: Characterization of injury profiles in relation to production situations. *Plant Disease*. 2000, 84: 341~356

Schiffman PM, Johnson W C. Phytomass and detritus storage during forest regrowth in the south-eastern United States Piedmont. *Can J For Res*. 1990 (19): 69~78

Tiessen H, Menezes RSC, Salcedo IH, et al. Organic matter transformations and soil fertility in a treed pasture in semiarid NE Brazil. *Plant Soil*. 2003, 252 (2): 195~205

Wang Y, Amundson R, Trumbore S. The impacts of land use change on C turnover in soils. *Global Biogeochem Cyc*. 1999, 13 (1): 47~57

Wood C W, Edwards J H. Agro-ecosystem management effects on soil Carbon and nitrogen [J]. *Agricultural Ecosystem and Environment*. 1992, 39: 123~138

Xu D, Forestry and land use change assessment for China. In: *Forestry and Land Use Change Assessment*. Saia Development Bank, Manila, Philippines. 1999, 73-97

Zhu Y.Y., Chen H.R., Fan J.H., et al. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*. 2000, 406: 718~722

包志毅, 陈波. 高速城市化时代的城市生物多样性保护和规划, 中国城市规划学会 2002 年年会, 2002

蔡祖聪, 谢德体, 徐华. 冬灌田影响水稻生长期甲烷排放量的因素分析, *应用生态学报*, 2003, 14 (5): 705~709

常向前. 基于 AFIDSS 的麦长管蚜田间种群动态模拟研究, 硕士研究生论文, 2006

陈德铭. 加快生物质能的开发利用, *中国投资*, 2006, 10: 19~21

陈亮, 张宝石, 王洪山等. 生态环境与种植密度对玉米产量和品质的影响, *玉米科学*, 2007, (2): 94~99

陈书涛, 黄耀, 郑循华. 轮作制度对农田氧化亚氮排放的影响及驱动因子, *中国农业科学*, 2005, 38 (10): 2053~2060

陈欣, 唐建军, 王兆骞. 农业活动对生物多样性的影响, *生物多样性*, 1999, 7 (3): 75~80

邓可蕴, 贺亮. 我国农村地区中长期能源需求预测, *中国工程科学*, 2000, 2 (7): 16~21

丁效华. 未来气候变化与水稻生产, *世界农业*, 1994, (11): 47~49

樊霞, 董红敏, 韩鲁佳等. 肉牛甲烷排放影响因素的试验研究, *农业工程学报*, 2006, 22 (8): 179~183

傅建炜, 林泽燕, 李志胜, 侯有明, 尤民生. 黄板对蔬菜害虫的诱集作用及在黄曲条跳甲种群监测中的应用, *福建农林大学学报 (自然科学版)*, 2004, 33 (4): 438~440

甘德欣, 黄璜, 蒋廷杰. 免耕稻-鸭复合系统减少甲烷排放及其机理研究, *农村生态环境*, 2005, 21 (2): 1~6

高志岭, 陈新平, 张福锁. 农田 N<sub>2</sub>O 排放研究进展, *生态环境*, 2004, 13 (4): 661~665

何东进, 洪伟. 毛竹林生态系统经济阈值模型的研究, *林业科学*, 2003, 39 (2): 64~70

何建坤, 陈迎, 徐华清, 李玉娥等. 气候变化国家评估报告 (III): 中国应对气候变化对策的综合评价, *气候变化研究进展*, 2006, 2 (4): 147~153

黄璜, 杨志辉, 王华等. 湿地稻鸭复合系统的甲烷排放规律, *生态学报*, 2003, 23 (5): 929~934

黄耀, 张稳, 郑循华等. 基于模型和 GIS 技术的中国稻田甲烷排放估计, *生态学报*, 2006, 6 (4): 980~988

黄明. 套袋防治梨小食心虫效果好, *西南园艺*, 1999, 27 (2): 26

黄耀. 中国的温室气体排放、减排措施与对策, *第四纪研究*, 2006, 26 (5): 722~732

江长胜, 王跃思, 郑循华. 稻田甲烷排放影响因素及其研究进展, *土壤通报*, 2004, 35 (5): 663~669

- 姜成林, 徐丽华. 微生物多样性及其保育, 生物多样性, 1999, 5 (4): 276~280
- 孔庆喜, 姚宝玉, 胡翠清. 农药的致癌性评价, 农药科学与管理, 2005, 26 (7): 26~28
- 旷爱萍. 大力发展生态农业, 促进农民收入增加, 甘肃农业, 2006, (5), 48~49
- 李琳, 李素娟, 张海林, 陈阜. 保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究, 水土保持学报, 2006, 20 (3): 106~109
- 李俊生, 高吉喜, 张晓岚等. 城市化对生物多样性的影响研究综述, 生态学杂志, 2005, 25 (1): 51~58
- 李怒云, 宋维明. 气候变化与中国林业碳汇政策研究综述, 林业经济, 2006, 5, 60~64
- 李淑华. 气候变暖对我国农作物病虫害发生、流行的可能影响即发生趋势展望, 中国农业气象, 1992, 13 (2): 42~49
- 李文华主编. 生态农业——中国可持续农业的理论与实践, 化学工业出版社, 2003
- 李新旺, 门明新, 王树涛等. 基于过程的河北平原农田生态系统稳定性评价, 自然资源学报, 2008, 23 (3): 430~439
- 梁滨, 陶丽华, 周春等. 环境污染对农业生态系统服务功能的影响, 中国农学通报, 2005, (1): 301~303
- 梁巍, 张颖, 岳进等. 长效氮肥施用对黑土水旱田  $\text{CH}_4$  与  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响, 生态学杂志, 2004, 23 (3): 44~48
- 梁文举. 21 世纪初农业生态系统健康研究方向, 应用生态学报, 2002, 13 (8): 1022~1026
- 林而达, 李玉娥, 郭李萍等. 中国农业土壤固碳潜力与气候变化, 科学出版社, 2005
- 林而达, 李玉娥. 全球气候变化和温室气体清单编制方法, 气象出版社, 1998
- 林兴平, 金乐君, 林章恩. 福建省 1997~2005 年有机磷农药食物中毒情况分析, 海峡预防医学杂志, 2007, 13 (2): 60~61
- 刘二明, 朱有勇, 肖放华等. 水稻品种多样性混栽持续控制稻瘟病研究, 中国农业科学, 2003, 36 (2): 164~168
- 刘慧, 成升魁, 张雷. 人类经济活动影响碳排放的国际研究动态, 地理科学进展, 2002, 21 (5): 420~430
- 刘尚余, 骆志刚, 赵黛青. 农村沼气工程温室气体减排分析, 太阳能学报, 2006, 27 (7): 652~655
- 刘淑云, 董树亭, 胡昌浩等. 玉米产量和品质与生态环境的关系, 作物学报, 2005, 31 (5): 571~576
- 刘小燕, 杨治平, 黄璜等. 湿地稻-鸭复合系统中田间杂草的变化规律, 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2004a, 30 (3): 292~294
- 刘小燕, 杨治平, 黄璜等. 湿地稻-鸭复合系统中水稻纹枯病的变化规律, 生态学报, 2004b, 24 (11): 2579~2583
- 刘小燕, 邝雪梅, 刘大志. 稻-金鱼共栖生态系统中甲烷排放规律研究, 淡水渔业, 2005, 35 (4): 7~10
- 刘晓英, 刘培军, 马春森等. 利用黑塑膜覆盖进行太阳能消毒对土壤温度的影响, 中国农业气象, 2004a, 25 (3): 21~25
- 刘晓英, 杨修, 马春森. 黑膜覆盖控制黄瓜根结线虫 (*Meloidogyne incognita*) 的效果, 农业工程学报, 2004b, 20 (4): 234~237
- 刘允芬. 中国农业系统碳汇功能, 农业环境保护, 1998, 17 (5): 197~202
- 卢宝容, 王云月, 李成云等. 遗传多样性持续控制水稻病害, 云南农业大学学报, 2006 (10): 1~8
- 卢燕宇, 黄耀, 张稳. 基于 GIS 技术的 1991~2000 年中国农田化肥氮源一氧化二氮直接排放量估计, 应用生态学报, 2007, 18 (7): 1539~1545
- 吕子同等. 气候变化与水稻育种对策, 中国稻米, 1995 (5): 1~2
- 罗军, 向晓霞, 周江等. 蔬菜及水果中 12 种有机磷农药残留抽检结果与分析, 中国卫生检验杂志, 17 (4): 663~664
- 罗益镇. 生物多样性与天敌资源保护, 生物学杂志, 1995, 4 (8): 8~10

- 骆世明. 农业生态学近年研究动向, 世界科技研究与发展, 2000, 22 (5): 42~44
- 马克明, 傅伯杰, 郭旭东. 农业区城市化对植物多样性的影响: 遵化的研究, 应用生态学报, 2001, 12 (6): 837~840
- 孟宪民. 湿地与全球环境变化, 地理科学, 1999, 19 (5): 385~390
- 苗春生, 苗秀俊, 王亚军等. 河北省黑光灯诱集金龟子的种类及其分布和消长规律研究, 河北农业科学, 2007, 11 (1): 41~45
- 潘竟虎. 近 15 年来长江源区土地利用变化及其生态环境效应, 长江流域资源与环境, 2005, 14 (3): 310~315
- 潘志华, 安萍莉, 刘亚玲等. 农牧交错带 (武川县) 生态系统功能的变化, 中国农业资源与区划, 2004, 24 (5): 37~41
- 彭世彰, 李道西, 徐俊增. 节水灌溉模式对稻田  $\text{CH}_4$  排放规律的影响, 环境科学, 2007, 28 (1): 9~13
- 彭羽, 刘雪华. 城市化对植物多样性影响的研究进展, 生物多样性, 2007, 15 (5): 558~562
- 秦大河主编. 气候变化对农业生态的影响, 气象出版社, 2003
- 秦晓波, 李玉娥, 刘克樱等. 不同施肥处理稻田甲烷和氧化亚氮排放特征, 农业工程学报, 2006, 22 (7): 143~148
- 丘君, 陈利顶, 傅伯杰. 土地利用/覆被变化对生物多样性的影响, 星球地图出版社, 2002
- 任爱华. 国外生态农业的比较借鉴, 环球农业, 2004, (12): 26~27
- 沈斌斌, 任顺祥. 黄板诱杀及其对烟粉虱种群的影响, 华南农业大学学报 (自然科学版), 2003, 24 (4): 40~43
- 石英尧, 石扬娟, 申广勤. 氮肥施用量和节水灌溉对稻田甲烷排放量的影响, 安徽农业科学, 2007, 35 (2): 471~472.
- 石兆勇, 王发园. 农药污染对微生物多样性的影响, 安徽农业科学, 2007, 35 (19): 5840~5841, 5915
- 孙平, 赵新全, 徐世晓等. 评土地利用对生物多样性的影响, 生态经济, 2002, 1: 40~45
- 孙秀锋, 张凤太. 渝东南少数民族岩溶山区乡村生态农业发展模式与对策, 安徽农学通报, 2008, 14 (3): 43~44
- 孙振均, 孙永明. 我国农业废弃物资源化与农村生物质能源利用的现状与发展, 中国农业科技导报, 2006, 8 (1): 6~13
- 谈毅奇, 杨品红, 桑明强等. 湖南东湖生态系统的能量结构与转换效率, 水利渔业, 2000, 20 (6)
- 王华, 黄璜. 湿地稻-鸭复合生态系统综合效益研究, 农村生态环境, 2003, 19 (4): 23~26, 44
- 王革华. 农村能源建设对减排  $\text{SO}_2$  和  $\text{CO}_2$  贡献分析方法, 农业工程学报, 1999, 15 (1): 169~172
- 王佳. 土地利用与土地覆盖变化对生态环境质量的影响, 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2007, 23 (5): 99~102
- 王礼茂. 几种主要碳增汇/减排途径的对比分析, 第四纪研究, 2004, 24 (2): 191~197
- 韦修平. 桂西北右江盆地玉米播种期与玉米螟为害的初步考察, 昆虫知识, 1965, (4): 217~217
- 魏守辉, 强胜, 马波等. 长期稻鸭共作对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响, 植物生态学报, 2006, 30 (1): 9~16
- 吴达粉, 朱兆庆, 胡莲生等. 乙酰甲胺磷等农药对鱼、虾、蟹室内安全性试验初报, 上海农业科技, 2006, (4): 75~76
- 吴孔明等. 杀虫剂诱使棉蚜再猖獗的研究, 生态学报, 1992, 12 (4): 341~347
- 肖满开. 几种除草剂造成油菜药害的试验观察与预防措施, 现代农药, 2006, 15 (1): 40~43
- 谢军飞, 李玉娥. 农田土壤温室气体排放机理与影响因素研究进展, 中国农业气象, 2002, 23 (4): 47~52
- 徐华, 蔡祖聪, 李小平. 烤田对种稻土壤甲烷排放的影响, 土壤学报, 2000, 37 (1): 69~75

- 徐雨晴, 陆佩玲, 于强. 气候变化对植物物候影响的研究进展, 资源科学, 2004, 26 (1): 129~136
- 严力蛟. 全球变化与中国生态农业, 见: 生态农业——中国可持续农业的理论与实践(李文华主编), 化学工业出版社, 2003, 1082~1093
- 杨凤. 动物营养学(第2版), 中国农业出版社, 2001
- 杨怀文. 我国农业病虫害生物防治应用研究进展, 科技导报, 2007, 25 (7): 56~60
- 杨兰芳, 蔡祖聪. 施氮和玉米生长对土壤氧化亚氮排放的影响, 应用生态学报, 2005, 16 (1): 100~104
- 杨永华, 华晓梅. 农药污染对土壤微生物群落功能多样性的影响, 微生物学杂志, 2000, 20 (2): 23~25
- 杨永岐, 陈鹏狮, 吉奇. 气候变化对我国西北地区未来农业的影响及对策, 辽宁气象, 2001, (4): 13~15
- 杨志辉, 黄璜, 王华等. 稻-鸭复合生态系统稻田土壤质量研究, 土壤通报, 2004, 3 (2): 117~121
- 杨中侠, 马春森, 王小奇等. 烟粉虱对四种蔬菜寄主的选择性, 昆虫学报, 2004, 51 (5): 70~75
- 叶彩玲, 霍治国, 丁胜利等. 农作物病虫害气象环境成因研究进展, 自然灾害学报, 2005, 14 (1): 90~97
- 叶嘉, 焦云红, 张东银. 滥施农药对北方旱地害虫天敌——蜘蛛田间密度影响的调查, 邯郸学院学报, 2006, 16 (3): 64~65
- 宇万太, 张璐, 殷秀岩等. 农业生态系统养分循环再利用作物产量增益的地理分异, 农业工程学报, 2003, 19 (6): 28~31
- 岳进, 梁巍, 吴杰等. 黑土稻田  $\text{CH}_4$  与  $\text{N}_2\text{O}$  排放及减排措施研究, 应用生态学报, 2003, 14 (11): 2015~2018
- 张呈军, 陈玉林, 王宝海等. 铜川市耀州区农户肉羊农牧生态系统能量流动规律的研究, 家畜生态学报, 2006, (6): 47~51
- 张均营, 吴炳奇, 刘亚民等. 农林复合生态系统中林木对农作物的影响, 河南林业科技, 1995, (3): 27~29
- 张林森, 栾东珍, 李丙智等. 梨果实套袋防治黑星病及配套技术, 陕西农业科学, 2003, (1): 64~65
- 张培栋, 王刚. 中国农村户用沼气工程建设对减排  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  的贡献——分析与预测, 农业工程学报, 2005, 21 (12): 147~151
- 张壬午. 国外农药对农业生态系统影响的研究动向, 环境与可持续发展, 1984, (10): 13~15
- 张孝义. 昆虫生态及预测预报, 中国农业出版社, 2002
- 张宗炳. 农药对农田生态系统的影响, 生态学杂志, 1988, 7 (3): 25~29
- 赵米金, 徐涛. 土地利用/土地覆被变化环境效应研究, 水土保持研究, 2005, 12 (1): 43~46
- 赵铁良, 耿海东, 张旭东等. 气温变化对我国森林病虫害的影响, 中国森林病虫, 2003, 22 (3): 29-32
- 赵文智, 程国栋. 人类土地利用的主要生态后果及其缓解对策, 中国沙漠, 2000, 20 (4): 369~374
- 甄若宏, 王强盛, 张卫建等. 稻鸭共作对稻田主要病、虫、草的生态控制效应, 南京农业大学学报, 2007, 30 (2): 60~64
- 中华人民共和国气候变化初始国家信息通报, 中国计划出版社, 2004, 16
- 朱有勇, 陈海如, 范静华等. 利用水稻品种多样性控制稻瘟病研究, 中国农业科学, 2003, 36 (5): 521~527
- 朱有勇, 陈海如, 范静华等. 水稻遗传多样性控制稻瘟病理论和技术, 学科发展蓝皮书, 中国科学技术出版社, 2002



## 第四章 生态农业应对气候变化的案例



由于我国地域辽阔,农业生产方式多样,气候变化对不同地区和不同种类作物的产量影响不同,因此有意识地调整农业种植制度,开展农田生态环境建设,推广生态农业管理模式,加强水分管理等都是应对气候变化的积极行动,可以提高农业生产对气候变化不利影响的抵御能力,增强适应能力,最大限度地减少损失和实现潜在的效益。

生态农业是基于传统农业发展起来的兼顾环境、经济和社会效益的农业生产模式,基本原则之一就是按照地方自然资源条件设计农业生产方式,并通过一系列措施保持土壤肥力,尽可能减少外部投入,实现资源高效利用和环境持续发展的生产过程。气候变化后,根据区域气候资源条件调整农业种植结构,无疑是生态农业发展的一个必然要求,同时采用科学的生态农业管理模式,降低气候变化的不利影响也是促进生态农业发展的技术保证。

#### 4.1 辽宁省冬麦北移

在气候变化背景下,作物种植结构和布局发生了不同程度的改变,面对适应和减缓气候变化的挑战,生态农业模式显示出更大的潜在优势和更协调的生态功能。如果能够有效降低生态农业的成本投入,使生态农业蓬勃发展起来,无疑对适应和减缓气候变化起到积极的作用。目前我国冬麦北移无疑既是气候变化下的适应措施,同时也是考虑了生态条件的种植结构调整,从大全国大尺度角度考虑,是气候变化适应和生态农业部分特征的结合范例。

20世纪90年代随着温度增高和暖冬的连续出现,冬麦北移种植研究引起广大研究者的兴趣。经过引种试验,冬小麦在辽宁省大部分地区连续取得成功,单产水平达到300kg。谢立勇等(2002)根据冬小麦品种M808的生物学特性,用辽宁省近30个观测

站点1950~1995年的气象资料,选取关键因子,用逐步回归方法进行冬小麦安全越冬界线研究,发现M808品种在辽宁省种植北界已经扩展到阜新-新民-铁岭-本溪一线,北移了2~3个纬度(直线距离约250公里),同时也发现,冬小麦的适宜种植区存在着连续性区域和非连续性区域。纪瑞鹏等(2003)运用地理信息系统技术得出了相似的结论并给出了辽宁省冬小麦20世纪90年代的气候区划图(图4-1)。这一研究结果和引种示范上的成功具有重要的象征性意义,对研究生态农业适应气候变化具有重要的启发意义。

冬麦北移是指在冬春麦交界地带和冬天有稳定积雪地带,由春麦改种冬麦和扩大冬麦种植面积,即将我国冬小麦产区从目前的长城以南地的华北地区向东北(和西北)延伸,扩大冬小麦种植面积。冬麦北移的成功,理论上不仅可以更高效地利用土地与气候资源,根据不同生态位,改进作物间套作模式,实现一年两熟或两年三熟,为立体农业开发提供希望,为增加复种指数提供可能。而且由于增加了冬季地表覆盖,可以起到保护水土、减少风沙的作用。此外还可以利用生物防治原理,减少化肥农药的投入,减少污染保护环境。总之,冬麦北移为生态农业的发展和适应气候变化、趋利避害起到了重要作用。

回顾历史,建国以来辽宁省冬麦种植大致经历了3次比较大规模的实验和行动。20世纪50年代,辽宁省大连南部有少量冬小麦种植,当时种植的主要是强冬性、较早熟的地方品种,以后逐渐向北进行扩延。至60年代初期,通过新品种引进,第一次实现100公里的冬小麦北移种植,种植区域达到大连的三十里堡。60年代末,由于推广抗病性(条锈病)、耐寒性品种,加之农业技术措施的改进,冬小麦一度扩展种植到北纬41度至42度。沈阳、抚顺等地也出现了种植成功的报道。但由于冬季低温冻害,最终种植界线稳定在盖州一线,比60年代初期又推进了200公里。

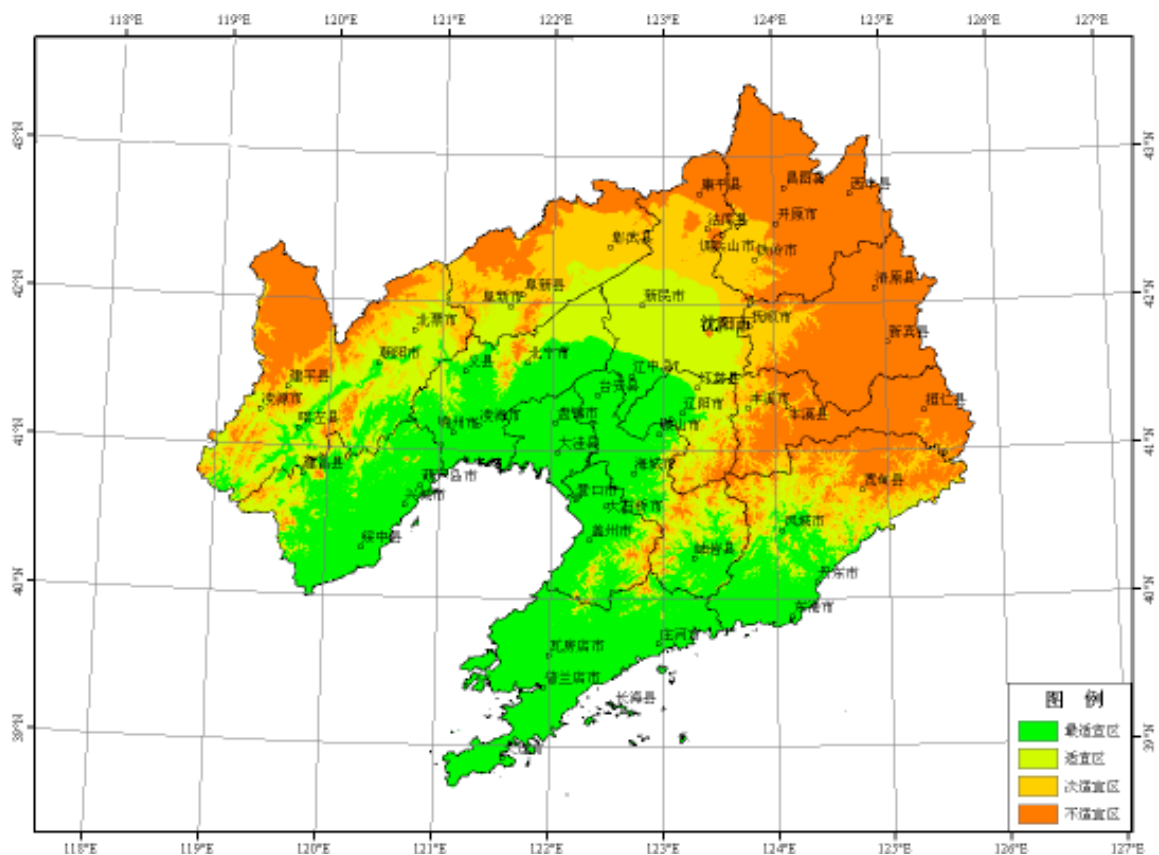


图 4-1 辽宁省冬小麦气候区划图（1991-2000 年）（纪瑞鹏等，2003）

90年代初期，在气候变暖背景下，中国农业科学院启动新一轮冬麦北移研究示范工作，与沈阳农业大学联合引进新品种在沈阳、鞍山、辽阳、铁岭、抚顺等地试种，获得了成功，冬麦种植边界又北移了250公里。与前两次相比，成功的原因主要有以下几点：

一是温度增高，特别是冬季温度，极端最低温度增高为冬小麦安全越冬提供了可能。冬季温度增高使冬麦越冬免遭冻害（这也是前两次冬麦北移的重大障碍），也使得土壤温度环境有所改善。环境变化给冬麦北移提供了条件，带来了契机。

二是品种的引进和筛选，采取了北种南引和南种北引相结合的引种技术路线，广泛开展了品种抗寒、抗旱性的鉴定等基础研究工作，是根据地区的气候条件，特别是温度条件选用冬小麦品种，兼顾偏冬性、抗

倒伏、抗逆、早熟等特性。

三是田间管理技术的改进，对不同类型的品种采用不同的栽培技术，以满足其对外部环境的要求。根据品种的抗寒性安排播种期，根据品种的分蘖特性和成穗率进行合理密植，根据品种类型确定播种量，根据品种生长发育特点进行肥水管理。

四是强化水分管理。冬小麦的需水期与辽宁省主要降水期不一致，这与其他作物不同，及时灌溉，并在播种后、越冬前、返青时三个关键时期，进行镇压保墒，以保证越冬水分充足。

生产上冬小麦并没有在辽宁省得到大面积推广，因为存在着生产成本和效益的问题。但这并不否认气候变化的事实、对区域农业的影响以及潜在适应措施的研究和集成。粗略地分析，限制冬小麦在辽宁省大

面积种植有如下因素：

一是产投比低。冬小麦生产周期长，从前一年的9月份播种到次年6月份收获，生长期达到甚至超过9个月。农民需要投入更多的人力、物力，而种植冬小麦的经济收入并不比其他作物高。

二是气候资源利用有矛盾。东北地区雨热同季，降水集中在6、7、8三个月份，同时也是热量条件最好的3个月，对作物生长、有机质积累效果最佳，而冬小麦恰恰损失了7~8月份的雨热资源。

三是风险依然存在。作物对温度的响应不仅仅表现在平均水平上，对越冬作物来讲，冬季极低气温甚为关键。研究显示，沈阳及辽宁大部分地区冬麦安全越冬依然存在着一一定的风险。一旦越冬失败，损失非常严重。

事实上生产中存在的效益因素限制了冬小麦北移种植。这也给我们另一个启示，即适应气候变化的现实措施和潜在措施还存在诸多不同点。现实生活中的

经济效益、社会效益和环境效益必须兼顾，这也回应了“气候变化是发展问题”的实质论断。探讨适应策略与措施必须兼顾科学和实际，不能只讲理论，失去可操作性，也不能只顾眼前，失去科学性。

## 4.2 内蒙古旱地保护性耕作

在我国西北地区特别是黄土高原区，水土流失和干旱缺水已经成为影响农业可持续发展和生态环境建设的重要因素。保护性耕作是以减轻农田水土侵蚀、培肥地力和节本增效为主要目标，以土壤少耕免耕、土壤覆盖、保护性种植、土壤垄耕、土壤保水等核心技术为主体，与适宜机具、杂草防除、栽培管理等关键技术措施集成配套，达到保土、保水并获得适宜经济效益的生态农业技术。保护性耕作通过免耕、少耕、地表覆盖等措施，可以增加天然降水入渗，大幅度减少地表径流和蒸发，增强抗旱节水能力，有效缓解气



带状保护性耕作

候变化带来的不利影响。我国内蒙古的保护性耕作效果研究表明,保护性耕作可以调节旱作农田的温度和水分变化、降低农田呼吸和增加土壤碳储量、防止风蚀水蚀和防御沙尘暴、改善农户生计和增加农民收入,对提高气候变化适应能力具有一定的实施潜力。

#### 4.2.1 旱作保护性耕作与土壤温度和水分

##### 4.2.1.1 旱作保护性耕作与土壤温度

秸秆覆盖和地膜覆盖对光辐射吸收转化和热量传导均有影响。一方面,覆盖在地表形成一层土壤与大气热交换的障碍层,既可以阻止太阳直接辐射,也可以减少土壤热量向大气散失,同时还可以有效地反射长波辐射;另一方面,免耕形成的土壤结构容重低,不利于热量向土壤中传导。因此,覆盖条件下土温年、日变化趋向缓和,低温时有“增温效应”,高温时有“降温效应”。内蒙古自治区2005~2008保护性耕作试验研究表明,播种期农田干燥风大,太阳辐射较强,保护性耕作方式(留低茬、留高茬、低茬覆盖、高茬覆

盖)地表由于有作物残茬和秸秆覆盖,地温受气温影响较小,常规耕作地表裸露,地温对气温变化较敏感,因此,随着气温的升高,地温增长较快,明显高于保护性耕作地温;生育中期时气温和土壤温度均达到最大值,常规耕作土壤温度明显高于保护性耕作;生育后期时气温和日照强度均比盛夏减弱,各种处理后的土壤温度都随着气温的降低陡然下降,与保护性耕作相比,常规耕作下降的幅度最大,留低茬覆盖次之,留高茬和留高茬覆盖地温差别不大;成熟期气温变化剧烈,昼夜温差增大,此时保护性耕作地温基本不受气温变化的影响,处于一种相对恒定的状态,而常规耕作地温下降幅度较大,至收获期明显低于保护性耕作(图4-2)。

##### 4.2.1.2 旱作保护性耕作与土壤水分

土壤蒸发是土壤损失水分的重要途径之一,特别是在降雨量少,蒸发量大的地区更是如此。利用秸秆覆盖和地膜覆盖能显著减少裸间蒸发量,提高水分的利用效率;在土壤表面覆盖一层秸秆,避免了降水对

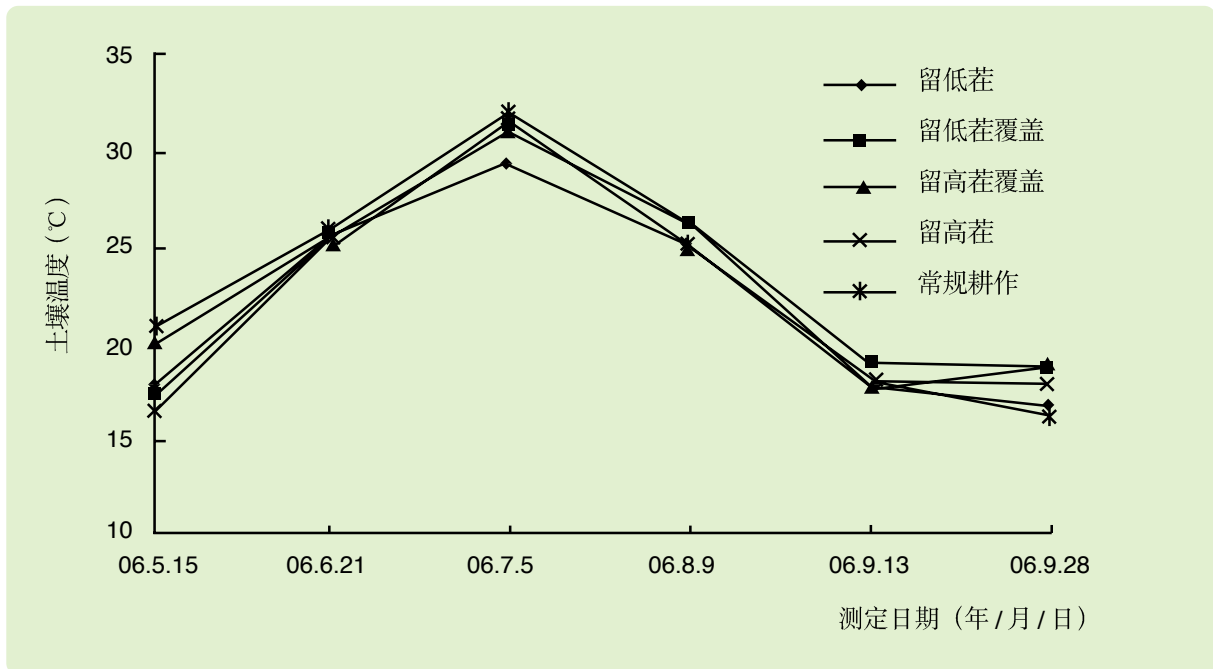


图 4-2 不同耕作方式 5cm 土层温度的季节变化

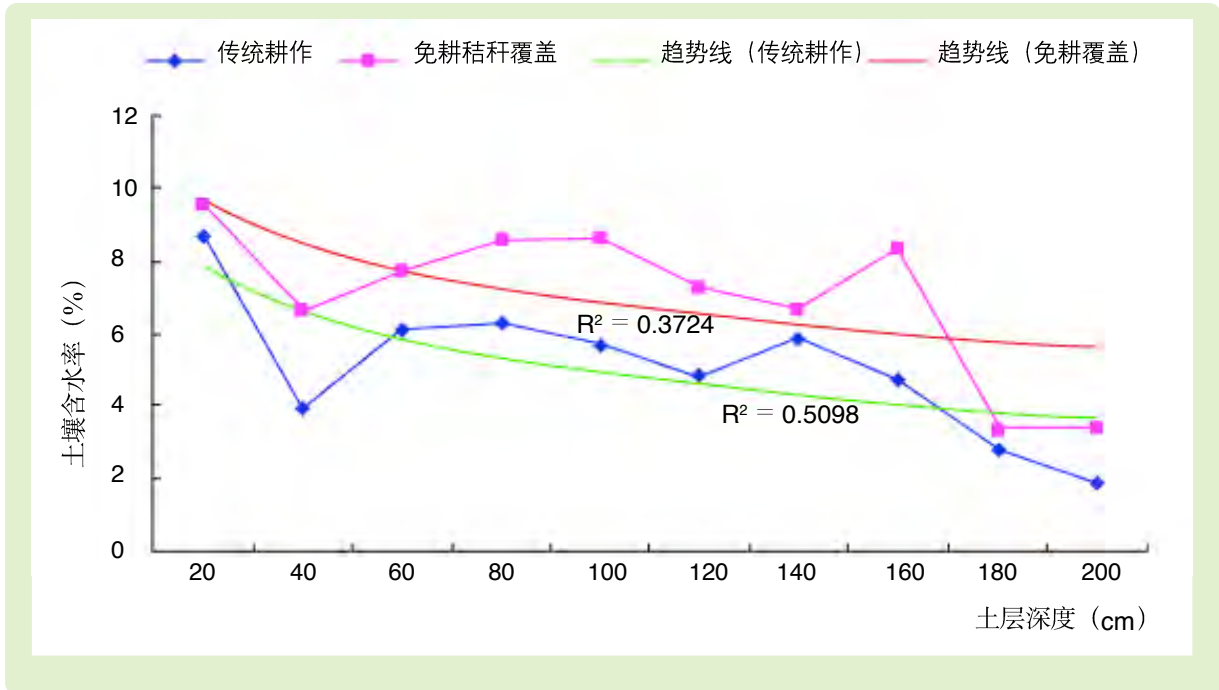


图 4-3 免耕覆盖与传统耕作不同土层土壤水分变化

地表的直接冲击，团粒结构稳定，土壤疏松多孔，因而土壤的导水性强，降水就地入渗快，地表径流少。以往内蒙古保护性耕作试验表明，秸秆覆盖农田在不同生育时段上，0~200cm 土层的土壤储水量都大于传统耕作，其抑蒸保墒效应非常显著。在0~200cm 土层内，传统耕作和免耕覆盖处理水分含量都随土层深度的增加而降低；在各个分层取样上免耕覆盖的含水率都高于传统耕作，其中在20~40cm、160~180cm 最为显著，分别比传统耕作高70.05%和78.75%；在0~20cm 土层内，传统耕作和免耕覆盖处理的土壤含水率均最高，分别是8.73%和9.52%，免耕覆盖比传统耕作高9.09%，说明表层土壤水分受环境和作物根系大量吸收影响较大，但免耕覆盖土壤含水量比传统耕作增加明显（图4-3）。

#### 4.2.2 旱作保护性耕作与土壤碳变化

造成农田土壤呼吸强度高的因素很多，耕作是其

中最重要的因素，各种耕作方式都会对土壤造成不同程度的扰动。对土壤扰动最小的耕作措施是免耕作，也称零耕作或直接播种。传统耕作有损于土壤结构，增加团聚体被破坏的敏感性。实行免耕作，土壤碳在土壤中的平均滞留时间延长，有机质流失减少有可能恢复土壤的有机质，并能有效缓解大气CO<sub>2</sub>浓度的升高和温室效应。2005~2007年在内蒙古西辽河流域研究了免耕和垄作玉米土壤呼吸速率的变化，结果表明，免耕玉米在全生育期均显著降低了土壤呼吸速率（图4-4）。保护性耕作可以增加土壤碳储量，2005~2008年在内蒙古清水河县对不同耕作的耕作方式耕层土壤微生物量碳的研究表明（图4-5），在各生育时期均以留高茬覆盖土壤微生物量最高，传统耕作（T）最低，在收获期4种保护性耕作土壤微生物量碳表现为留高茬覆盖（NHS）>留低茬覆盖（NLS）>留高茬（NH）>留低茬（NL）。与传统耕作相比，播种期、灌浆期、收获期分别增加64.4%、39.7%、27.1%、16.9%，65.6%、

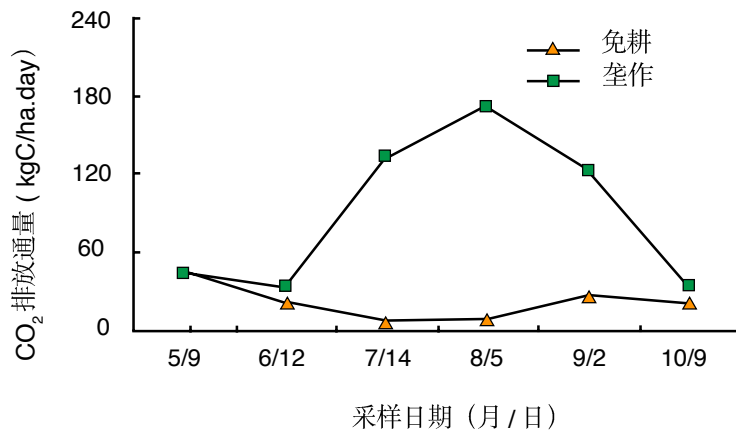


图 4-4 免耕和垄作玉米土壤呼吸速率变化

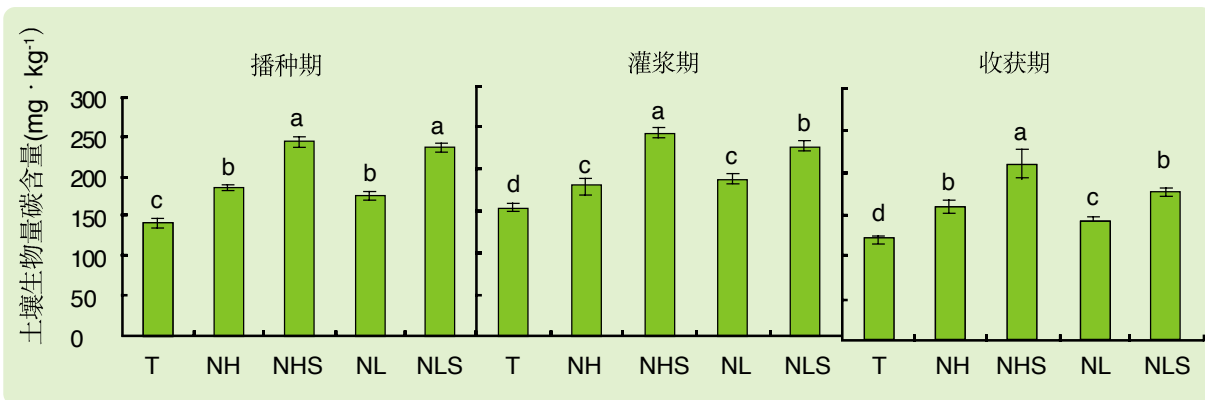


图 4-5 不同耕作方式玉米土壤微生物量碳的变化

44.2%、25.3%、18.1%，91.2%、56.8%、41.2%、34.8%，且差异达到显著水平。

#### 4.2.3 保护性耕作与防治农田风蚀沙化

我国北方旱农区地貌的总体特征是以黄土高原和丘陵沟壑区地形为主，属于比较典型的干旱、半干旱以及半湿润干旱区，这些地区的生态环境十分脆弱，发展面临的主要问题是干旱与风蚀。由于长期以来人们采用传统的不合理的耕作方式和对土地掠夺式开发，形成了大量裸露、疏松土地，尤其是在冬春季节，气候干燥又多大风，使大量农田退化甚至沙化，为沙尘暴提供了大量的沙尘源，形成影响社会、危害人民健康的沙尘暴。保护性耕作技术由于采用了少耕、免耕

措施，尽可能地降低土壤耕作的强度和次数，并用作物残茬覆盖保护地表，抗风雨侵蚀能力大为提高，同时，还增加土壤水分，增强表层土壤之间的吸附力，使可风蚀的小颗粒含量减少，从而有效地减少农田扬尘。

根据内蒙古清水河县2004年、2005年、2006年对不同耕作方式对径流量与土壤侵蚀量影响研究(表4-1)，留高茬的径流量分别较传统耕作减少34.8%、72.3%、32.2%，相应的土壤侵蚀量分别较传统耕作减少44.5%、38.4%、62.5%；留高茬覆盖的径流量分别较传统耕作减少62.3%、68.4%、67.5%，相应的土壤侵蚀量分别较传统耕作减少74.2%、52.3%、75.6%。保护性耕作显著降低了水土流失量，尤其是秸秆覆盖耕作方式的保水保土效果更明显。另外，对

表 4-1 不同耕作方式对土壤水土流失量的影响

| 年度   | 留高茬   |                                | 留高茬覆盖                                       |                                | 传统耕翻  |                                |
|------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|
|      | 地表径流量<br>(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) | 土壤侵蚀量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 地表径流量<br>(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) | 土壤侵蚀量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 地表径流量<br>(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) | 土壤侵蚀量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) |
| 2004 | 52.24                                       | 644                            | 30.38                                       | 300                            | 80.48                                       | 1162.5                         |
| 2005 | 27.21                                       | 279                            | 30.96                                       | 216                            | 98.12                                       | 453.0                          |
| 2006 | 240.36                                      | 970.5                          | 115.19                                      | 928.5                          | 354.56                                      | 2586                           |

表 4-2 砂田、裸田土壤不同层次水分含量

| 土层类型 | 0cm~10cm | 10cm~20cm | 20cm~30cm | 30cm~40cm |
|------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 砂田   | 12.21    | 14.13     | 15.53     | 16.01     |
| 裸田   | 8.96     | 9.93      | 10.37     | 10.16     |



玉米留茬覆盖



宁夏中部砂田的减尘、增温、保水、减蒸效果的观测表明(表4-2):砂田上部0.2m、0.5m、0.8m、1.0m、1.5m处相对裸田平均分别减尘53.1%、45.5%、38.4%、33.6%、39.1%，总体上来说砂田相对裸田减尘可达41.9%；砂田相对裸田平均增温2℃左右，而不同土层0cm、5cm、10cm、15cm、20cm分别增温0.7℃、0.9℃、2.1℃、1.8℃、2.1℃；砂田0cm~10cm、10cm~20cm、20cm~30cm、30cm~40cm相对裸田保水分别为26.6%、29.7%、33.2%、36.5%；砂田相对裸田蒸发量降低28.7%。

#### 4.2.4 保护性耕作与农民生计

农田进行免耕覆盖后,与传统耕作相比提高了土壤保水保肥能力,同时提高了土壤有效养分含量,改善土壤肥力,这正是免耕增产的原因所在。但是,各地区在实施保护性耕作的前几年,由于病虫害和杂草控制较难,往往增产效果并不明显。事实上我们选择保护性耕作,并不是仅仅考虑作物的产量,而是考虑保护性耕作突出的优势和特点是能够减少机械投入和

土壤耕作次数,动力消耗小,人畜力用工少,因而可以节省农业生产性成本。在作物不减产或略有增产的情况下,比传统耕作表现出明显的节本增效作用。

根据2005~2008年在内蒙古清水河县进行的调查(表4-3),不论是否计算人工成本,保护性耕作的产投比都明显高于传统耕作,而且机械作业的传统耕作的产投比高于以人畜力为主的传统耕作,说明机械化有利于提高农业生产水平,增加农民收入。在应用保护性耕作的第1年,保护性耕作单产比传统耕作低9.6%；第2年留低茬、留高茬、留低茬覆盖、留高茬覆盖分别比传统耕作单产降低27.6%、23.7%、15.9%、3.8%；第3年以留高茬覆盖处理单产最高,较传统耕作处理增加7.2%,产量居第2位的是留低茬覆盖,比常规耕作增加5.5%,留高茬及留低茬处理的单产分别较传统耕作减产4.1%和11.6%,但其减产幅度较前两年明显减少。实行保护性耕作,虽然作物的产量没有大幅度的提高,但种子、化肥、地膜及劳动力等投入较少,所以其产投比高于传统耕作,纯收入比传统耕作高1516.3元/hm<sup>2</sup>(表4-4)。

表4-3 不同耕作方式对玉米产量的影响

| 处理   | 留低茬      | 留低茬覆盖    | 留高茬覆盖    | 留高茬      | 常规耕作     |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2005 | /        | /        | /        | 4909 b B | 5432 a A |
| 2006 | 4762 c E | 5528 c C | 6333 b B | 5015 d D | 6579 a A |
| 2007 | 4012 c E | 4789 b B | 4870 a A | 4355 d D | 4541 c C |

表4-4 不同耕作方式下产值与收入比较

| 处理   | 籽粒收入<br>(元/hm <sup>2</sup> ) | 秸秆收入<br>(元/hm <sup>2</sup> ) | 种子<br>(元/hm <sup>2</sup> ) | 化肥、农药<br>(元/hm <sup>2</sup> ) | 劳动力<br>(元/hm <sup>2</sup> ) | 农机投入<br>(元/hm <sup>2</sup> ) | 总投入<br>(元/hm <sup>2</sup> ) | 纯收入<br>(元/hm <sup>2</sup> ) |
|------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 免耕   | 20475                        | 1297.5                       | 771                        | 1541.8                        | 2766                        | 1680                         | 1809.9                      | 13203                       |
| 常规耕作 | 19251                        | 823.1                        | 516.2                      | 2769.2                        | 7254                        | 181.4                        | 3328.8                      | 11687.5                     |

以上的分析表明,保护性耕作方式地表由于有作物残茬和秸秆覆盖,地温受气温影响较小,土温变化趋向缓和,低温时有“增温效应”,高温时有“降温效应”,对于缓解气候变化的增温效应有一定的帮助;秸秆覆盖农田0~200cm土层的土壤储水量都大于传统耕作,其抑蒸保墒效应非常显著,免耕显著降低了土壤呼吸速率,土壤碳在土壤中的平均滞留时间延长,有效缓解大气CO<sub>2</sub>浓度的升高和温室效应;保护性耕作技术采用了少耕、免耕措施,降低了土壤耕作的强度和次数,并且用作物残茬覆盖保护地表、抗风雨侵蚀能力大为提高,同时还增加土壤水分,增强表层土壤之间的吸附力,使可风蚀的小颗粒含量减少,从而有效地减少农田扬尘;保护性耕作突出的优势和特点是能够减少机械投入和土壤耕作次数,动力消耗小,人畜力用工少,可以节省农业生产性成本,在作物不减产或略有增产的情况下,比传统耕作表现出明显的节本增效作用。因此,气候变化条件下,利用保护性耕作的优势,无疑既实现了环境友好的农业可持续发展模式,同时也降低了气候变化的不利影响,是一种双赢的适应技术选择。

### 4.3 农田林网生态农业模式

农田林网是广大平原和丘陵农区结合山、水、田、林、路而营造的以保护农田为主要功能的林网体系,它是林农有机结合而形成了复合农业系统,具有防止风沙干旱、调节气候、改善农业生产条件、保障农业高产稳产等功能,是我国典型的生态农业模式之一。

由于林网在调节气候、改善农田生态环境、提高农业产出等方面的显著作用,使实行农田林网的区域能够更好地适应和减缓气候变化,抵御气候变化带来的不利影响。

#### 4.3.1 林网区农业的气候变化适应能力提高

农田林网能够显著降低风速,提高农田抵抗灾害的能力。研究表明,林网可使风速降低30%左右(代力民,2006),从而有效防止或减轻了风沙对农业的危害。

由于林带的防风和遮阴作用,引起农田空气温度的变化。林带对空气温度的影响表现出季节性变化,春秋季节有增温作用,平均增温0.5~2.0℃左右;夏季具有降温作用,平均降低6~10℃左右;冬季有升温作用,幅度为1~3℃(郑亮等,1999)。由于农田林网降低了农田的最高温度,提高了最低温度,延长了作物的生长期,减弱了干热风、霜冻等危害,对作物生长发育有积极作用(刘艳春,1995)。农田林网的这种调节微区域环境的作用,给农作物的生长创作了一个良好的条件,使农作物的产量大幅度增加(李文华,1994)。

农田林网显著改善农田水分状况。使得一般情况下,蒸发量平均降低7.3%~51%(袁建新,1991)。在林带保护下,土壤湿度均有明显增加,整个生长季节中,林网内表层土壤含水量、贮水量、有效水含量均高于林网外,平均分别比林网外高5.9%、8.7%、13.3%,林网内相对湿度提高1%~7%(宋兆民,1990),土壤含水量提高2%~3%(马秀玲,1990)。

同时,农田林网还能有效减少系统内水土流失量,改善土壤特性、肥力和结构,有利于微生物的衍生和繁殖等功能,从而增强系统的抗逆能力。

农田林网有效改善农田小气候、增强土壤肥力和有益生物等环境功能,使得这一系统抵御气候变化负面影响的能力显著增强,提高了适应气候变化的能力。

#### 4.3.2 增加系统碳汇减缓气候变化

在农田林网中,由于高大树木的强大防护效益,显著提高了系统内的物质产出。国内外大量的生产实

践和科学研究表明,林带对很多农作物的增产效果明显,一般增产幅度在10%~30%之间(阎树文,1993)。林网内的作物可增产10%,蔬菜增产40%~50%,牧草可增产80%~100%(李文华,1994;李秀江,2000)。而且农田林网可以获得显著的林产品收益。据杨修(1983)对豫东平原农桐间作生物生产力的分析,在农桐间作条件下,林木的生产力可占系统总生产力的9.6%~13.3%(杨修,1986)。以上分析表明,农田林网不仅增加了作物产量,而且获得了林木的收益,从而显著提高了系统的碳汇作用,一般可使系统的碳汇提高20%~40%左右。这说明,农田林网对减少大气温室气体含量,保护和改善农田环境以及减缓气候变化具有重要作用。随着人们对全球气候变化问题的日益关注,农田林网在适应和减缓气候变化方面的作用将越来越受人们的重视。

## 4.4 农业适应的区域发展案例

### 4.4.1 东北水稻种植的适应性调整

东北大部分地区属于湿润或亚湿润气候,年平均降水量500~800mm,年平均气温在-1~9℃之间,适合农牧业发展。东北地区的人均耕地、森林面积和蓄积量均居全国之首,是我国重要的商品粮食基地和最大的林区。1900~1920年东北地区大约增温0.7℃,1920~1970年温度基本保持稳定状态,20世纪70年代以来气温升高了1.0℃,是我国近50年(1951~2000年)增温最快、范围最大的地区之一。冬季升温高于夏季,夜间升温高于日间,气温日差减小。各项热量指标均显示温度呈波动中增加的趋势,与全球变化趋势一致。低温冷害曾是东北地区生产的主要限制因素之一,尽管上世纪80年代以来东北平原低温冷害、冰雹灾害发生概率有所降低,但是危害程度却在加重。

由于气候变暖增加了农业气候热量资源,为作物

种植制度的调整提供了可能。黑龙江省温度增幅最大的地区位于松嫩平原,三江平原和大兴安岭地区次之。20年中,黑龙江省粮食作物种植结构从主要以小麦和玉米为主的粮食作物种植结构变化成为以玉米和水稻为主。

农业热量资源的增加,从延长生长季和增加有效积温两个方面对水稻生产产生有利影响。东北地区平均温度每变化1℃,≥10℃的日数变化6~7天,积温变化150~200℃左右,相当于水稻早、中、晚3个熟级之间的积温差。所以,在其他条件允许的情况下,年平均温度变化1℃,水稻种植熟级可变化一个熟级。据此与1951~1980年平均值比较,20世纪80年代黑龙江省各站点的积温增加45~200℃,90年代增加210~360℃。从生长季变化看,80年代以来,随着春秋季节的变暖,全省初霜日期推后,大部分地区终霜日期提前,无霜期延长。与70年代相比,全省80年代的无霜期延长4天,90年代的无霜期延长7天,北部地区较南部地区无霜期延长的幅度更大。上述变化大约可以使水稻种植提高1~2个熟级,并使原水稻种植的次适宜区变为适宜区、原不适宜区部分地变为适宜区。所以,近20年黑龙江省水稻播种面积大幅度增加,2007年播种面积已达3300万亩,而2000年为2500万亩,1980年只有400万亩,以前是水稻禁区的伊春、黑河如今也可以种植水稻;并且在原属水稻种植次适宜和不适宜地区的47℃以北地区,水稻种植面积的相对增长的比例最大。

黑龙江省水稻种植面积增减的阶段性与温度变化阶段之间存在着良好的对应关系,但水稻种植面积变化略滞后于温度变化。20世纪80年代中期以来全省水稻种植面积的显著增加是对同期温度增高的响应。东北地区水稻播种面积变化,在一定程度上反映了适应气候变化行为的结果,适应气候变化对东北的粮食生产起到积极的促进作用。适应的原因体现在三

个方面,一是基础设施建设力度不断加大,水利灌溉条件较好;二是水稻受天气影响的波动小;三是东北稻米各地市场普遍受到欢迎,价格坚挺。此外,玉米作为另一种喜暖的粮食作物,由于对水分的要求较之水稻低,因此主要表现出了向北扩展的趋势;而小麦作为喜寒的粮食作物,在温度、经济和技术等因素的影响下呈现显著的北退现象。

东北地区水稻扩种既是适应气候变化,充分利用气候资源获得高产农业的体现,也是强化农业环境治理,实现高效农业的有利措施。原来包括三江平原在内的低产田,产量只有100公斤左右,通过水稻种植,以稻治涝,产量提高到500公斤以上。为改造中低产田树立了样板,积累了成功的经验。当然,为了维护自然生态系统的功能和结构,保护湿地合理利用耕地需要进行科学的分析和决策。水稻的扩种也不是无限制的开发和扩大。

研究表明,未来东北地区气候变化仍以温度增高为主要特征,可能加剧粮食生产的负面影响。在这样的背景下,提高甚至稳定东北地区粮食产量,水稻生产仍然具有重要地位,同时水稻发展也面临新的严峻挑战,进一步加强适应能力建设,任务已经非常紧迫。

首先,从维护生态平衡,实现可持续发展的角度出发,三江平原的湿地开发潜力将不会太大,东北地区水稻种植面积维持在5000万亩的水平上较为合理。

其次,水资源短缺将严重限制水稻生产发展。由于东北地区水资源形势紧张,辽宁和吉林两省已没有足够的水资源用来进一步开发水稻。唯一的出路在于发展和推广节水种稻技术。东北地区常用的农业节水措施包括间歇灌溉、浅湿灌溉、分蘖后期晒田、地膜覆盖栽培(茆智,2002)等等,使用这些方法的水稻田能够有效实现节水。虽然目前东北已有一些地区在节水种稻,但仍需要在更广泛的区域大力推广这些技术,确保本地区水稻种植的可持续发展。

第三,低温冷害、稻瘟病仍然是东北水稻发展的最大制约因素,导致年度间单产水平波动剧烈。吉林省和黑龙江省稻区,稻瘟病发病率轻的田块减产10%~20%,甚至50%~80%。如果能有效地控制低温冷害和稻瘟病的发生,可使东北水稻总产量在较高的水平上稳步增加。栽培措施既影响水稻抗病力,又影响病菌生长发育,其中肥、水管理关系最为密切。氮肥施用过量会降低植株抗病能力。另外,凡采用浅灌、勤灌和适时落水晒田等节水措施的地块发病轻(李明贤,2004)。

#### 4.4.2 宁夏适应和生态发展结合

近30多年来宁夏气温总体呈逐渐升高趋势。从上世纪90年代开始,宁夏气温明显升高,正距平(超过平均值)达0.6℃,而2001~2003年更高达1.1℃,冬季增温幅度较大,夏季较小。宁夏年平均降水从1971~2000年在波动中持续下降,进入21世纪后降水量有所增加,但自2004年秋季以来,降水持续偏少。宁夏由于特殊的地理环境和气候条件,干旱、冰雹、暴雨、霜冻、大风、沙尘暴等是宁夏最主要的自然灾害。据统计,1985~1994年,气象灾害造成的直接经济损失平均每年达2.8亿元;1995~2004年,直接经济损失年均超过4亿元,占自治区国内生产总值的1.9%~6.5%。2004~2005年,全区大部分地区出现了特大干旱,尤其是中部干旱带发生了50年来最严重的旱灾,作物生长发育基本停止,牧草不能返青,人畜饮水困难,对山区农牧业生产、人民生活及生态建设都造成严重影响。

气候变暖会改变降水和降水格局,导致气候更加不稳定,极端气候事件(如异常高温、干旱等)出现频率和强度增加,同时气候变化也使宁夏的热量资源增加,使种植结构调整成为可能。目前,根据气候变化对宁夏农业影响的双重性,即有利影响和不利影

响,宁夏因地制宜,扬长避短,调整农业生产结构,发展生态农业。

近年来随着气温逐年升高,农业生产中积温增加,日照增加,无霜期延长,农业结构根据资源条件进行了发展和调整,这些种植和经营模式的调整,都是生态农业发展的组成部分。宁夏根据气候变化,扬长避短,开展综合的生态农业模式建设。如引进生长期长、产量大、优质的玉米和水稻新品种,发展特色农业产业枸杞、晒甜瓜、酿酒葡萄等;在确保四大作物小麦、水稻、玉米、马铃薯基本生产水平的同时,降低小麦、水稻面积,增加玉米、马铃薯面积,充分挖掘气候资源潜力。农业应对气候变化的措施是多种技术的集合,以固原市为例,该区是严重缺水地区,随着冬季雪量减少严重,固原市引进了抗旱新品种,帮助农民深耕、压土、保墒,大力发展避灾农业,压缩

春作物,增加秋作物,减少春小麦播种面积,增加冬小麦播种面积,增加马铃薯和地膜玉米的播种面积等。

过去宁夏是半农半牧区,有4000万亩天然草原,随气候变暖,草原生态逐渐恶化。根据气候变化后环境脆弱的特点,宁夏积极开展农、林、畜综合发展的生态模式建设。2001年全区实行封山禁牧,在年降雨量大于100mm的地区人工种草,全区人工种草700万亩。在宁夏中部干旱带,鼓励农民种植牧草,利用自己种植的牧草,来圈养牛羊牲畜,这样不仅使环境得到改善,也使得农民增收了。此外,对于一些环境极度恶化的地区,开展移民调庄工程,如红寺堡工程,现在已经移民40多万人,通过移民减缓环境压力,并在新的移民点合理开垦农田,进行基础设施建设,调整耕作方式,实现生态和环境的协调发展,这样不仅改善了农民生活水平,而且缓解了生态环境压力。

## 参考文献

- 代力民,王宪礼,王金锡.三北防护林生态效益评价要素分析,世界林业研究,2006,13(2):47~51
- 郝志新,郑景云,陶向新.辽宁省冬小麦种植北界研究,中国农业气象,2002,23(4):5~8
- 纪瑞鹏,班显秀,张淑杰.辽宁省冬小麦北移热量资源分析及区划,农业现代化研究,2003,24(4):264~266
- 李明贤.黑龙江省水稻常见的生产障碍发生规律及防御对策,黑龙江农业科学,2004,(1):42~44
- 李文华,赖世登.中国农林复合经营,科学出版社,1994
- 刘艳春.农田防护林网的益处与营造,河北林业科技,1995,(6):25
- 茆智.水稻节水灌溉及其对环境的影响,中国工程科学,2002,4(7):8~16
- 马秀玲.林网对小麦气孔阻挡影响的研究,见:黄淮海平原综合防护体系经济效益研究,北京农业大学出版社,1990
- 气候变化国家评估报告编写委员会.气候变化国家评估报告,科学出版社,2007
- 任海,彭少麟.恢复生态学导论,科学出版社,2001
- 宋兆民.黄淮海平原综合防护林体系生态经济效益的研究,北京农业大学出版社,1990
- 谢立勇,侯立白,高西宁等.冬小麦M808在辽宁省的种植区划研究,沈阳农业大学学报,2002,33(1):6~10
- 阎树文.农田防护林学,中国林业出版社,1993
- 杨修.农桐间作生态系统生物量和生产力的研究,河南农业大学学报,1986,20(4):485~509
- 袁建新.农田防护林的气象效应,现代农业,1991(10):21
- 郑亮,李滨,汪德玉等.安徽省淮北平原农田防护林网效益分析,安徽林业科技,1999,(4):7~9
- 方修琦,盛静芬.从黑龙江省水稻种植面积的时空变化看人类对气候变化影响的适应,中国环境资源网,2008.8.02



## 第五章

# 生态农业适应气候变化的 对策与建议

应对气候变化的对策多种多样，既需要硬件建设，如防灾抗灾基础设施建设，灾后恢复重建等，也需要软件的改善。因此，制定合理的适应措施，增强适应能力，对减轻气候变化的不利影响，推进我国可持续发展战略的实施具有十分重要的作用。生态农业注重林、田、水、草等协调发展，关注农业与经济、技术、环境的有机配合，重视保护资源和合理利用资源，提高资源利用的持久性，这些都和气候变化适应密切相关，也是气候变化适应过程中极力倡导的内容，因此结合生态农业开展气候变化适应，无疑对于环境发展和农业稳定都具有积极的促进作用。

## 5.1 开展气候变化条件下的生态农业建设

在气候变化条件下，由于热量条件、供水能力、病虫害发生、大气组成等诸多因素的改变，必然会对传统的农业生产模式造成冲击，而生态农业是协调环境和农业二者关系的一种可持续发展模式，可持续生态农业是我国优先发展领域，适应气候变化是我国面临的一个紧迫问题，两者结合可以减少气候变化的不利影响。因此，挖掘气候变化背景下的生态农业优势，是农业和环境协调发展的理想选择之一。

生态农业力求协调发展与环境之间、资源利用与保护之间的矛盾，将粮食生产、经济作物种植、畜牧业发展等与第二、三产业结合起来，形成生态上与经济上的良性循环，实现经济、生态、社会效益的统一。气候变化条件下，各级机构应积极倡导基于生态农业基础上的农业种植结构调整，改变传统的种植业二元结构，逐步形成粮—经—饲三元结构，使饲料作物的生产形成相对独立的产业。目前我国根据气候条件，对区域的农业结构调整已形成了初步的构架。长江中下游区、华北区以及西南区、东北区将逐步提供更多

的饲料粮，这样会降低农业生产对气候条件的严格要求；在华北区，生育期短而能高产的新品种已经育成并用于生产，但还应开展抗旱品种的选育，南部由于变暖，可扩大油菜、绿肥等冬作物比例。西南区的农业结构调整要依靠水利交通等基础设施的进一步改善，并适合本地的商品生产的发展（林而达，1994）。

目前，我国依据气候变化的结构调整方面已经有了一些具体的实例，例如我国东北和西北推行的冬麦北移，以及引进生长期长的优质新品种，发展特色果蔬生产，都是对气候变化的积极适应；宁夏地区在确保粮食基本产量水平的同时，适当压缩了小麦、水稻面积，增加玉米、马铃薯面积，同时在原来二元结构种植（粮食作物+经济作物），变为现在的三元结构（粮食作物+经济作物+牧草），在冬小麦后种植黑麦草、饲料玉米等增加一茬牧草种植，促进畜牧业的发展。这不仅适应了气候变化，同时农业生产收益也大大提高。随着气候变暖，我国荒漠化、草原生态恶化严重，加之人为活动的影响，生态破坏严重，因此，2000年全国开始实行封山禁牧以及退耕还林还草，对一些降水少、耕地质量差的地区鼓励生态恢复和人工种草，并从政策上予以一定的辅助。如宁夏地区的退耕还林还草的农户，每年一亩地补助200元，一般种树补贴8年，种草补贴3年。农户可以利用自己种植的牧草，来圈养牛羊牲畜。这样，不仅使生态环境得到改善，也使得农民增加了收入。

## 5.2 普及低成本的生态农业适应技术

农业是气候变化的主要敏感领域，由于我国农业生产水平相对落后、农民生活水平比较低，对气候适应能力也相对薄弱。因此，气候变化条件下的生态农业建设，要首先考虑推荐使用低成本的适应技术。生态农业不仅要表现在环境友好，也体现在经济高效。

在水资源匮乏区,根据目前生产水平,积极推广节水高效农技技术,包括节水灌溉技术、蓄水保水技术、肥水配合技术等,采用合理的种植结构结合集雨补灌可以使农业成本相对降低。如我国河南省、陕西省等地修建水窖,将雨水收集起来,在旱季用于作物灌溉,大大提高了雨水的利用效率。合理的种植结构也可以提高水分利用率,一些地区也可根据当地情况,修建梯田、发展等高种植等,这些技术不仅能减少防止水土流失,而且能够充分利用水资源。此外,农田中高矮作物、特性组间套复种,也是充分利用立体空间、合理搭配的生态农业模式,例如果粮间作、林草间作、枣粮间作、桐粮间作等都是根据互补互利的原理建立的立体开发利用模式。

作物育种也是气候变化的适应措施之一,不仅包括抗病虫害的品种筛选,也包括耐热和耐旱的筛选。我国以前在育种方面,很少考虑干旱问题,现在则不断增加在抗旱育种上的投资,同时提高科技含量,利用选育杂交等技术,来加强农作物的抗旱能力。

农业应对气候变化的措施是多种技术的集合,包括农艺本身的技术提升,也包括一些辅助支持技术。我国农业部门应根据气候变化趋势,积极组织和帮助农民调整农业种植结构,采用农民能用得起、用得上的生产技术,积极发展可持续的生态农业。

### 5.3 提高公众的生态农业和气候变化适应意识

如何适应气候变化很大程度上受如何应对过去气候变化的习惯影响。长期而缓慢的气候变化,如果没有明显的波动和天气极端事件,则有利于农民自动的适应气候变化,对新技术需求迫切度减弱,但如果一旦未来天气极端事件增加,那么农民自动适应的能力就面临严重的挑战,而开发新技术,加强技术转让,更

可靠的长期气候预测、预警系统,对增强适应能力则变得尤为重要。因此,气候变化的适应问题不是简单的局限于农民本身,还需要这个社会的参与,其中包含了政府机构、科技等多部门的合作,因此提高全社会公众的气候变化意识,增加对生态农业的认识,是共同适应气候变化的必然选择。

适应是一个相对比较复杂的过程,因天、时、地、人而不同,需要综合考虑部门间的总体设计,区域的可持续发展,在适应的同时考虑减缓,如风力发电、沼气池建设、秸秆还田等,适应中也需要引入综合评价、风险管理等理念,因此社会的广泛参与是保证适应效果前提。宁夏是我国第一个将气候变化纳入“十一五”区域发展规划的省份,在国内的诸多气候变化行动中,始终是一个先行者,取得了诸多的成就和实践经验,值得其他省份借鉴和参考。充分利用广播、电视、报刊等新闻媒介,通过多种途径和方式,广泛开展宣传教育,使全社会提高气候变化的意识,开展自觉的气候变化适应和减缓行动,促进区域的持续发展。

### 5.4 制定适应行动的激励政策

气候变化已有的影响是现实的多方面的。各个领域和地区都有不利影响。未来的气候变暖将可能会对我国的生存环境产生重大影响,从而可能使我国的经济部门特别是农业及沿海地区在未来遭受严重后果。适应对策可以部分减轻不利影响,应对气候变化的行动应将逐步纳入国民经济中长期规划和计划,增加投入。

增加农资补贴,使农民切实收益,给农民进行环境服务支付。环境服务支付是补偿生产者因转变操作方式提供不同组合或更高水平的环境服务而损失的收益。在许多情况下,对生产者支付是为了减少其生产决策造成的环境损害——例如引发水土流失,影响当



地水体系统。然而，环境服务支付计划也可以用来奖励那些提供环境服务抵消其他行业造成损害的农业生产者，或者提供激励，鼓励农民进行能够满足消费者对于特定环境状况需求的操作。

同时也要注意取消不良激励措施。在某些情况下，政策措施会导致激励，这种激励将会产生不利的外部影响。有些支持农业部门的措施可能会让某些农民做出一些损害环境的举动。化肥补贴就是一个例子，这种补贴使得农民过量地使用化肥，造成径流和水体污染；另外能源补贴加剧了地下水的提取。支持政策的影响很多取决于政策的制定，即政策是否与具体操作或投入联系起来或“成对”，或者是否以直接支付的形式出现。一般说来，由对投入或产出的价格支持转向农业支持政策的直接现金支付，会减少对环境造成的损害。然而，即使是直接支付，但如果是建立在以前的生产或投入基础上，也可能导致产生消极外部影响的激励（联合国粮食及农业组织，2007）。

## 5.5 适应的行动建议

从宏观决策方面，主要的适应战略包括逐步建立气候变化影响的监测系统，建立气候灾害监测、预警、分析和决策支持系统；开展气候灾害的重点防御工程建设，并对工程后期的环境和生态进行综合评估；加强气候变化影响和适应的科学研究，建立适应气候变化的科技支持系统，提高中国应对气候变化的分析和决策能力；组建气候灾害决策管理机构，建立统筹全局的指挥调度系统，降低气候灾害的损失；增强气候灾害的防范意识，将气候变化逐步纳入国民经济和社会发展的中长期规划和计划中；气象灾害的保险体系也是规避风险增强适应能力的重要措施。

主要领域的适应选择包括：1) 加强农业基础设施建设，选育抗逆农作物品种，发展包括分子标记辅



助育种等新技术，强化优势农产品的规模化种植带，突出高产、稳产，增强农业抗灾能力；2) 加强水利基础设施建设，提高防洪、抗旱、供水能力及其应变能力，将气候变化对水资源承载能力的影响作为约束条件考虑，并使这一要求具体地落实到建设项目中；3) 继续植树造林，并提高物种对环境变化的适应能力，加大对自然保护区的保护和管理力度，加强森林火灾预防及病虫害的防治；4) 根据气候变化以草定畜，改变超载过牧，避免草场退化，停止荒漠化趋势并使其向好的方向转化，增强草原畜牧业抗灾能力；5) 提高防潮设施的设计标准，强化沿海防潮设施的建设；6) 继续加强致病气象灾害预报，建立预报、监测和监控网络，扩大预防疫区。

各区域的适应措施则各有侧重：在东北地区，继续采用冬麦北移，增加水稻种植面积等措施，合理利用农业技术，利用变暖的有利条件，促进粮食生产；在华北地区，建立节水型生产体系，因地制宜防治沙漠化，促进区域社会经济的可持续发展；在西北地区，合理配置水资源，发展节水农业，保护和改善生态环境，提高旱区农业适应能力；在华中地区，要加大防

洪抗旱减灾工作的力度,加强工程蓄水行洪能力,加强对血吸虫病的监测和预防;在西南地区,加强泥石流滑坡预测预报和预警系统的建设,加快和提高水土保持各项治理工程的进度、质量,要加强对西藏天然草地的保护;在华东、华南的沿海地区,根据海平面

上升趋势,逐步提高沿海防潮设施的等级标准,加强台风和风暴潮的监测和预警能力。由于适应对策可以减轻部分不利影响,从长期来看对国民经济和社会发展具有重要的意义,应将适应气候变化的行动逐步纳入国民经济和社会发展的中长期规划和计划。



### 参考文献

联合国粮食及农业组织. 粮食及农业状况, 2007

林而达, 王京华. 我国农业对全球变暖的敏感性和脆弱性, 农村生态环境, 1994, 10 (1): 1~5

## 图书在版编目 (CIP)数据

气候变化与中国粮食安全 / 居辉等著. — 北京: 学苑出版社, 2008.10

ISBN 978-7-5077-3158-3

I. 气… II. 林… III. 气候变化-影响-粮食-问题-研究-中国 IV. F326.11 P468.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 150584 号

责任编辑: 陈 真

装帧设计: 徐徐书装

出版发行: 学苑出版社

社 址: 北京市丰台区南方庄2号院1号楼

邮政编码: 100079

网 址: [www.book001.com](http://www.book001.com)

电子信箱: [xueyuan@public.bta.net.cn](mailto:xueyuan@public.bta.net.cn)

销售电话: 010-67674055 67675512 67678944

经 销: 新华书店

印 刷 厂: 北京正道印刷厂

印 张: 5.25

开本尺寸: 787×1092 1/16


字 数: 50千字

版 次: 2008年10月北京第1版

印 次: 2008年10月北京第1次印刷

定 价: 20.00元

责任编辑：陈真  
装帧设计：徐徐书装

 再生纸印刷

ISBN 978-7-5077-3158-3



9 787507 731583 >

定价：20.00元