

## 适应气候变化的中国农业种植结构调整研究

李 阔, 许吟隆\*

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

**摘 要:** 近百年来, 全球正经历一次以变暖为主要特征的气候变化, 随着气候变化及其所带来的影响日益显著, 目前适应气候变化越来越成为全球关注的热点问题。我国已有的农业种植结构调整适应气候变化实践非常丰富, 但诸多研究者并未进行过系统的梳理, 对已有实践的适应气候变化内涵没有清晰地认识。为了更好的应对未来气候变化, 从种植制度、作物布局、品种布局三个方面阐述了气候变化对中国农业种植结构调整的影响。结合东北水稻玉米扩种、冬麦北移、华北“两晚”技术、长江中下游双季稻改制、南方冬季农业开发等典型适应气候变化案例, 探讨复种指数、间作套种模式、作物配置、种植界限、种植比例、抗旱品种、抗病虫害品种等农业种植结构调整的不同方面适应气候变化的内涵, 提出了种植结构调整中适应气候变化工作面临的关键问题, 倡导进一步加强气候变化各要素对种植熟制的综合影响研究, 深入开展农业精细区划与作物布局优化配置研究以及适应气候变化的育种多目标优化决策研究。

**关键词:** 气候变化; 适应; 种植结构; 种植制度; 作物布局; 品种布局

**doi:** 10.13304/j.nykjdb.2016.319

**中图分类号:** S162      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008-0864(2017) 01-0008-10

## Study on Adjustment of Agricultural Planting Structures in China for Adapting to Climate Change

LI Kuo, XU Yinlong\*

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences,  
Beijing 100081, China)

**Abstract:** During the past 100 years, the global climate has experienced a major change—become warmer and warmer. Along with this change, its influence has become increasingly remarkable. How to adapt to this change has been a world concerned hot spot. China has abundant practices on adjusting agricultural planting structure to adapt to climate change, but systematic carding is lacking. There is no clear cognition about the rich connotation on the existing practices to adapt to climate change. In order to better reply to climate change, this paper expounded the effect of climate change on China adjustment of agricultural planting structures from the following 3 aspects, including cropping system, crop distribution, cultivars layout. The paper also discussed the connotation on different ways of adjusting agricultural planting structures for adapting to climate change, including multiple-crop index, inter-cropping model, crops collocation, boundary of planting, proportion of crops, drought resisting varieties, disease and insect pests resistant varieties, combining with the typical cases, such as expansion of rice and corn planting areas in Northeast China, moving boundary of winter wheat further north, “two-later” technology in North China, changing double cropping rice in the middle and lower valley of the Yangtze River, exploiting winter agriculture in Southern China, etc.. The key issues facing the adjustment of agricultural planting structure for adapting to climate change were put forward. Studies on integrated impacts of each climate change factor on adjustment of agricultural planting structures should be further enhanced. The agricultural exquisite regionalization, optimal allocation of crops layout, and multi-objective breeding decision should be studied in depth.

**Key words:** climate change; adaption; planting structure; cropping system; crops distribution; cultivar layout

收稿日期: 2016-05-27; 接受日期: 2016-07-21

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAC09B00)资助。

作者简介: 李 阔, 助理研究员, 博士, 研究方向为气候变化影响风险评估与适应。E-mail: likuo@caas.cn。\* 通信作者: 许吟隆, 研究员, 博士, 研究方向为气候变化影响与适应。E-mail: xuyinlong@caas.cn

近几十年来,人们越来越认识到气候变化是人类共同面临的巨大挑战。IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第五次评估报告指出,1880–2012 年全球平均地面气温升高了  $0.85^{\circ}\text{C}$ ; 相对于 1850–1900 年,预测不同典型浓度路径(RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5)情景下 21 世纪末全球平均地面温度均可能升高超过  $1.5^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>。为了应对这一严峻挑战,2015 年底《联合国气候变化框架公约》近 200 个缔约方一致同意通过了《巴黎协定》,涵盖目标、减缓、适应、损失损害、资金、技术、能力建设、透明度、全球盘点等内容,其中指出各方将努力把全球平均气温升高控制在  $2^{\circ}\text{C}$  之内,并争取把升温进一步控制在  $1.5^{\circ}\text{C}$  之内<sup>[2]</sup>。气候变化与农业生产关系紧密,农业(种植结构、产量、品质等)对气候变化敏感性区域特征明显<sup>[3]</sup>,气候变化影响下不同地区种植结构调整的方向差异显著,因此系统总结中国适应气候变化的种植结构调整技术措施,将为未来中国粮食安全提供坚实保障。

种植结构是指一个地区或生产单位作物种植的品种、布局、配置、熟制的总体,包含作物种植的时空分布、种类、比例、一个地区或田间内的安排、一年中种植的次数和先后顺序<sup>[4]</sup>。根据农作物种植的分布特征,种植结构可以分为三个方面,包含种植制度、作物布局与品种布局;这三个方面既相互交叉<sup>[5]</sup>,又互有区别,种植熟制发生变化,作物布局肯定发生变化,若作物布局发生变化,则种植熟制与品种布局也可能发生变化;按照通常的观点来看,三者侧重点不同,种植熟制往往针对不同的积温带而言,作物布局主要针对大范围作物种植区域,品种布局针对小范围作物种植区域。

气候条件在很大程度上决定着作物生长发育进程和产量形成,区域种植结构是人类长期适应当地气候与生态条件及社会经济条件的结果<sup>[6]</sup>。气候变化对作物的影响日益凸显,种植制度、作物布局与品种布局也必须进行相应的调整。在中国农业种植历史中,农作物种植实践一直与气候变化紧密结合在一起,农民往往根据实际发生的气候变化状况自发调整种植结构;但过去的研究往往关注于农业气候资源(光、热、水、气)的变化,对于气候变化并未有整体的认识;随着近年来全球变化研究的增多,气候变化对农业种植结构的影响日益受到关注,但已有的农业种植结构调整

适应气候变化实践非常丰富,诸多研究者并未进行系统的梳理,对于已有实践没有清晰地认识。为了更好的应对未来气候变化,本文从种植制度、作物布局、品种布局三个方面系统梳理了气候变化与种植结构调整的关系,总结中国已有的农业种植结构调整适应气候变化的典型案例,提出种植结构调整中适应气候变化工作面临的关键问题与可行建议。

## 1 适应气候变化的种植结构调整层次

种植结构是一个复杂体系,包括种植制度、作物布局与品种布局三个主要方面。种植结构的调整受自然因素和社会经济因素两个方面的共同影响,其中社会经济变化是种植结构调整的主要驱动因素,而气候变化则是种植结构调整的重要制约因素。随着全球变暖,气候变化对种植结构的影响越来越显著,既给农业生产带来负面影响,也带来了有利因素。适应气候变化的核心是要趋利避害,适应气候变化的种植结构调整都是围绕这一核心开展。

在 20 世纪 80 年代之前,人们普遍未认识到气候变化及其所带来的影响,种植结构调整研究主要围绕社会经济因素进行分析,而往往忽视了气候变化因素在其中所起到的作用。随着全球变暖日益显著,气候变化越来越受到重视,气候变化对种植结构调整的推动作用逐渐被认识到。本研究从气候变化角度,重新审视过去 60 多年来中国种植结构调整的诸多案例,包括成功的经验与失败的教训。从种植结构调整的出发点来看,大部分措施是受社会经济因素驱动,为了稳产高产等经济目标,与气候变化没有必然关系,因此不能称之为适应气候变化措施;但有些措施主要是为了规避气候变化所引起的农业灾害,有些措施主观上是为了保障或提高经济效益,但客观上充分利用了气候变化所带来的水、热、光等农业气候资源变化,有些措施两者兼顾,这些则是适应气候变化的典型措施。研究通过对中国种植结构调整典型案例的分析,对比适应措施实施前后的差异,梳理其适应效果,总结出适应气候变化的种植结构调整特征。

### 1.1 种植制度调整

种植制度是一个地区或生产单位农作物的种

植熟制、间套轮作及休闲的总称,其中熟制是指一年中作物种植的次数和先后顺序,间作是指同一田地上同一生长期内分行或分带相间种植两种或两种以上作物的种植方式,套种是指在前季作物生长后期的株行间播种或移栽后季作物的种植方式,轮作是指在同一田地上有顺序的在季节间或年间轮换种植不同作物的种植方式。从气候变化来看,我国种植制度调整包括复种指数变化、间作套种轮作模式变化、作物配置变化三个方面,其中较典型的适应气候变化种植制度调整主要包括以下一些整体趋势。受全球温度升高影响,不同熟制的种植界线总体北移;全国复种指数呈上升趋势,其中熟制过渡地带和高原、山地以及丘陵地区,复种指数增幅较大;少数地区由于降水减少、缺乏灌溉条件,复种指数有所下降。气候变暖还促进了熟制过渡地区各种间作套种模式的推广。在一些干旱缺水地区,通常采取耗水高产作物与旱作节水作物的轮作方式。

## 1.2 作物布局调整

作物布局是指不同作物种植的比例(如粮-经-饲比例)与空间分布;从已有研究来看,作物布局调整包括作物种植边界变化、区域内部作物种植比例变化、作物种植区域整体移动三个方面,其中我国典型的适应气候变化的作物布局调整呈现出以下趋势。随着气候变暖,作物布局也呈现出北移趋势,如冬小麦种植北界北移西扩,东北地区水稻种植北界扩展至北纬 $52^{\circ}$ 地区,平原地区的玉米种植向北扩展了约 $4^{\circ}$ ;华南的热带、亚热带作物分布也明显北扩。气候变化影响到农业气候资源的时空分布,从而改变不同地区的作物种植比例,如东北地区高产水稻和玉米的种植面积大幅增加,大豆和春小麦种植面积减少;在气候明显暖干化和水资源严重匮乏的华北地区,水稻种植面积大幅度下降,小麦种植面积也有所压缩。气候变化还使农业气候资源的优势区域发生转移,如由于气候变暖导致东部棉区棉铃虫等病虫害加重,棉花主产区从20世纪90年代中期开始转移至新疆;由于环渤海太阳辐射减弱和降水显著减少,苹果主产区在20世纪80年代以后转移至海拔相对较高的黄土高原南部。

## 1.3 品种布局调整

品种布局是指不同品种的作物在时间和空间

上的分布;从气候变化角度来看,品种布局调整包括中晚熟品种扩种、耐旱品种扩种、冬性弱品种替代冬性强品种、灾后特早熟品种抢种、抗病虫害品种扩种等方面;由于不同区域的气候、生态、环境差异较大,因此以上品种布局调整措施往往是在某一特定区域行之有效的气候变化适应方法,不能一概而论,其中典型的适应气候变化品种布局调整有以下变化趋势:随着热量条件改善,各地普遍改用生育期更长的品种以挖掘增产潜力;由于冬季变暖,越冬作物普遍改用冬性有所降低的品种,提前进入生殖生长阶段,有利于增加籽粒数;气候暖干化地区由于水分条件的限制,加强了耐旱节水品种的选育和推广;极端天气气候事件多发,增加了特早熟救灾作物的种质储备和灾后抢种;针对气候变化使病虫害加剧,加强了抗病虫品种的选育和推广,如抗虫棉、脱毒种薯、脱毒苗(蔬菜、果树)等。

## 2 种植制度调整实践

过去20多年来,气候变暖使农作物春季物候期提前,生长期延长,生长期热量充足,进而对中国种植制度产生显著影响。受气候变化影响,种植制度调整成为农业适应气候变化的一项重要措施。种植制度通过改变复种指数、间作套种模式以及作物配置三个方面来适应气候变化。

### 2.1 复种指数的调整

随着气候变化,温度升高和积温增加,作物种植熟制发生显著变化,复种指数不断提高<sup>[7]</sup>。研究表明,1981-2007年间中国一年两熟制、一年三熟制的种植北界都较1950-1980年有不同程度北移,北移地区的复种指数明显提高。如,黄淮海地区水浇地、旱地一年两熟区的南界向北移动;江淮平原麦稻一年两熟区整体向北推移;长江中下游平原一年三熟、一年两熟区,北界向北移动,南界无明显变化,西界向西推进;华南一年三熟、一年两熟区,其北界向北移动。与此同时,种植熟制的改变在大部分地区有利于单位面积周年作物产量的提高<sup>[8]</sup>。如长江中下游平原由双季稻改为稻-麦(稻-油)种植,可以有效规避气候波动加剧导致的气象灾害和病虫害,实现高产稳产,客观上也减少了甲烷的排放;华北中北部地区冬小麦-

夏玉米套改平,可以高效利用气候变暖增加的热量资源,从而提高冬小麦-夏玉米的总产。有学者研究结果认为,由于热量资源的增加,全国的复种指数由1985年的143%增加到2001年的163.8%,其中青藏高原、西北、西南、华东和华南地区丘陵山地的复种指数增加幅度较大<sup>[9]</sup>;这些区域大多分布在不同系统的边缘地带,如农牧交错带地区,其对气候变化更为敏感,也更为脆弱,因此,在复种指数增加的情况下不同地区宜因地制宜地调整种植结构。同时水分状况的改变也是熟制调整的一个重要原因,如在华北的一些丘陵山区,虽然热量条件已能满足冬小麦-夏玉米一年两熟的要求,但由于降水减少和缺乏灌溉条件,仍以一年一熟的春玉米为主。

## 2.2 间作套种模式的改变

随着气候变暖,间作套种模式也在发生变化。例如,在冬小麦种植北界地带,气候变化导致热量资源增加,但仍然是“一茬有余,两茬不足”,为了有效地利用增加的热量资源,不同地区结合降水条件采取了各种间作、套种及轮作模式,其中冬小麦-夏玉米套种是最普遍采取的种植模式<sup>[10,11]</sup>。如在冬小麦种植北界地区小麦与玉米套种,一方面有效地利用了华北地区新增的热量资源,提高了冬小麦-夏玉米的产量,另一方面便于实施机械化作业,提高耕作效率。在农牧交错带及黄土高原等干旱缺水地区<sup>[12]</sup>,针对气候波动的加剧,耗水作物与抗旱作物往往采取轮作模式,若上一年度种植耗水作物,下一年度则种植耐旱作物,这样既能节约水资源,又能有效地适应气候暖干化导致的更为严峻的干旱缺水状况。

## 2.3 作物配置的变化

气候变暖为作物配置变化提供了客观条件或限制因素,而当地社会经济状况的变化往往对作物配置变化起到决定作用。气候变化对作物配置的影响主要体现在不同作物的搭配上。例如,川中丘陵地区过去以冬水田一季水稻生产为主,由于气候变化带来的冬春干旱加重,往往蓄不到足够的水,从20世纪70年代末以来,普遍改为小麦-玉米-红薯的旱三熟制<sup>[13,14]</sup>,一方面适应呈现暖干化趋势的气候状况,另一方面取得了显著的增产效果。

## 3 作物布局调整实践

气候变化导致不同区域的热量、水分条件以及病虫害等生物环境的改变,不同作物的适生区域也随之改变,加上市场需求的变化,调整作物布局势在必行。在气候变化背景下,作物布局调整不但能够适应气候变化,而且具有显著的经济效益,能够满足社会市场需求,同时具有一定的生态效益。从全国范围来看,作物布局调整主要存在以下三种模式适应气候变化:作物种植界限变化、区域内部作物种植比例变化和作物种植区域的整体转移。

### 3.1 作物种植界限的变化

由于不同地区气候变暖的程度和趋势不同,对作物布局的影响也不尽相同,其中作物种植界限变化尤为显著。理论上来看,气候变暖使得平均气温和积温升高,单纯从热量资源的角度出发,作物种植界限的变化总体表现为向高纬度和高海拔移动的趋势<sup>[15]</sup>。气候变暖使辽宁省、河北省、山西省、陕西省、内蒙古自治区、宁夏回族自治区、甘肃省和青海省冬小麦的种植北界不同程度北移西扩<sup>[16~19]</sup>。一方面适应气候变暖条件下小麦越冬期温度升高和极端低温出现频率减少的状况,充分利用中国北部地区的自然资源,提高土地利用效率,增加复种指数;另一方面有效的改善小麦品质,节约成本,增产增收并优化作物种植结构。冬小麦与春小麦对比研究发现,冬小麦的蛋白质含量及湿面筋含量比春小麦分别提高了28%和39%,同时冬小麦的每公顷播种量比春小麦少50%,产量却高1500 kg左右。东北地区水稻播种面积大幅度增加,其种植北界已移至大约北纬52°的呼玛等地区<sup>[20]</sup>。在西北地区,其东部冬小麦种植北界已向北扩展了50~100 km,向西延伸明显,种植分布也从海拔1800~1900 m上升到2000~2100 m,种植面积扩大了10%~20%<sup>[21,22]</sup>;热带亚热带地区作物也出现北移现象,有效利用气候变暖带来的热量资源增加,提高农民的经济效益,并满足了全国市场的需求。棉花适宜种植区的海拔高度升高了100 m左右;复种作物适宜种植区的海拔高度升高了约200 m,相应的种植面积明显扩大<sup>[23,24]</sup>。在西藏地区,玉米种植的海拔高度逐渐提高,目前在海拔3840 m

的地方已可种植<sup>[25]</sup>。然而,由于降水减少的缘故,有些地区的作物种植北界也呈现出南移的趋势<sup>[26]</sup>,如雨养冬小麦-夏玉米稳产的种植北界大部分区域由于近年来该区降水量减少从而向东南方向移动。气候暖干化还使得农牧交错带的春小麦种植面积缩小,部分地区种植界限南移。

### 3.2 区域内部作物种植比例的变化

区域内部作物种植比例的变化与作物空间布局紧密结合在一起,两者相互重叠但又不完全一致。热量资源的增加使得水稻在黑龙江扩种成功,粮食作物的种植比例因之发生很大变化,总体上已从以小麦和玉米为主变化为以玉米和水稻为主<sup>[27]</sup>,从而有效利用了气候变化带来的东北地区作物生长季的热量资源增加,提高了粮食产量,满足了社会需求。东北水稻种植北界向北扩展,其种植面积较 20 世纪 70 年代增加了 4.5 倍,东北玉米分布向北推移了大约 4 个纬度,其种植面积较 20 世纪 70 年代增加了 1.4 倍。随着气候暖干化,华北地区大面积压缩水稻种植比例<sup>[28]</sup>,河北黑龙港地区减少了需水量较大的小麦、水稻的种植比例,不断扩大棉花与谷子等抗旱作物的种植<sup>[29]</sup>,从而适应气候变化导致的华北地区干旱缺水加剧的状况;气候变暖冬季温度上升,增加的富裕热量资源使西南山区扩大了冬季复种马铃薯面积<sup>[30]</sup>,种植面积增长了 68%,单产增长了 37%,总产增长 1.2 倍,在有效利用气候变化带来的冬季热量资源增加基础上,开发生产更优质的农产品。在甘肃省中部半干旱地区,由于受气候变化影响干旱灾害频发,小麦产量低而不稳,耐旱作物糜、谷、马铃薯、胡麻、豆类等种植面积迅速扩大,干旱年份尤其突出<sup>[31,32]</sup>。南方冬季农业开发越来越普遍<sup>[33]</sup>,在利用气候变暖带来的南方冬季热量资源增加的同时,提高了当地农户的经济效益,并满足了市场需求。以广西为例,大力发展蔬菜、绿肥、马铃薯等冬季作物,以及热带水果、甘蔗、喜温花卉、荫生观叶植物等,冬季农业产值达到 510 多亿元。作物种植比例的变化与作物配置变化本质相同,既受到社会经济条件的驱动,也受到气候变化及其影响的制约。

### 3.3 作物种植区域的大规模转移

受气候变化影响,作物种植优势区域主体迁移。如由于气候变暖导致华北地区棉铃虫等病虫

害加剧,其棉花种植比例大幅减少,并向西部迁移<sup>[34]</sup>。棉花主产区经历了从南方地区向北方地区,再向西北的新疆地区迁移的过程,1980-2015 年,新疆棉花种植面积占全国比重从 7.8%达到了 50.1%;近年来,受变暖及云量增加的影响,优质烟草种植区域越来越向云贵高原转移<sup>[35]</sup>。20 世纪 90 年代以来,出现显著的“北烟南移”,从黄河流域、东北地区向云贵地区与中南地区集中,有效利用温度升高与降水变化带来的农业气候资源的变化,其中云南省和贵州省烟草种植面积占据全国前两位,分别为 32.6%与 14.6%;随着气候暖干化,降水减少,优质苹果主产区由环渤海地区向黄土高原地区迁移<sup>[36]</sup>,种植面积占全国比重从 33%增长到 56%,呈现出明显的“西移北扩”趋势,有效利用气候变暖带来的局地降水增加、温度升高的有利条件。

## 4 品种布局调整实践

气候变化导致温度与降水产生变化,进而对品种布局调整产生影响。由于不同区域气候变化的程度和趋势不同,对品种布局的影响也不尽相同。适应气候变化的品种布局调整主要体现在四个方面:随着热量资源增加,生育期延长,部分地区中晚熟品种逐渐替代早熟品种;受气候暖干化影响,一些地区呈现干旱缺水趋势,耐旱品种逐渐替代原有耗水量比较大的品种;由于温度升高,部分地区冬性较弱的品种逐渐替代冬性较强的品种;受气候变化影响极端气候事件(干旱、暴雨)频发,灾后紧急种植适宜救灾的作物,替代原有作物,从而实现抗灾救灾的目标。

### 4.1 中晚熟品种种植面积扩大

气候变化引起不同区域作物品种类型发生显著变化。随着气候变暖,为了有效利用气候变化带来的冬季热量资源增加条件,东北北部早熟品种转换为中早熟品种,中部由中早熟转换为中熟,南部地区作物品种逐渐由中熟品种转换为中晚熟品种;以水稻为例,东北不同地区根据气候变化调整适宜的水稻品种,使得水稻单产普遍增加,增产率可以达到 10%~20%以上。针对一些农民盲目改用生育期过长品种,导致冷害与霜冻害造成减产的教训,东北三省的气象和农业部门开展农业

气候区划细化工作<sup>[37-39]</sup>,整个东北地区按照每 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 积温间隔,划分出若干积温带。建议随着气候变暖,可以跨越一至两个积温带引种,但不要跨越三个以上的积温带。中晚熟品种扩种既要充分利用气候变化影响下增加的热量资源,又要考虑避免过度适应,通过理论与实践发现其平衡点。在华北地区,为适应气候变化导致的冬季气候变暖、无霜期延长、积温增加的状况,有效利用热量资源,在当地采用“两晚”技术为玉米改用中晚熟品种提供了条件<sup>[40]</sup>,通过调整玉米品种,适当牺牲小麦产量,节约小麦用水,重点挖掘玉米增产潜力,最终提高全年总产;以河北为例,“两晚”技术可以每年增产 80 万 t 玉米,节水 15 亿  $\text{m}^3$ 。

#### 4.2 耐旱节水作物品种种植比例不断提高

随着华北地区气候的暖干化,耐旱节水品种种植比例不断提高,以张家口农科院育成的杂交谷子为例,其具有很强的耐旱性与丰产性<sup>[41]</sup>。该杂交谷子品种具有高产、节水、优质等特点,在张家口市坝下地区表现出了显著的增产优势和增收效果<sup>[42]</sup>,近几年推广面积迅速增加,2010 年张家口市杂交谷子种植面积达到了 5.35 万  $\text{hm}^2$ ,其平均产量比当地粮食平均产量增产 50%。同时,该杂交谷子在埃塞俄比亚等国试种成功,初测单产达 4 500  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,比当地苔麸、手指谷等主要农作物增产 2 倍以上<sup>[43]</sup>。除了利用传统育种技术发掘耐旱节水作物品种,还要充分利用基因工程技术培育耐旱节水新品种,尤其是传统技术与新技术的结合,将极大地提高耐旱节水新品种的成功率与有效性。

#### 4.3 越冬作物品种的冬性适度减弱

在气候变化影响下,黄淮海地区冬季变暖,冬小麦品种开始由冬性较强的品种逐渐替代为冬性较弱的品种<sup>[44,45]</sup>。冬小麦品种的冬性与丰产性之间往往存在矛盾,冬性较强的品种由于穗分化开始较晚,通常增产潜力较小;而冬性较弱的品种,虽然抗寒性较差,但如能安全越冬,增产潜力一般要大于冬性强的品种。过去几十年由于黄淮海地区冬季较为寒冷,为了保障冬小麦的生长,往往采用冬性较强的品种;近年来受气候变化影响,黄淮海地区冬季逐渐变暖,冬性较弱品种可以安全越冬,穗分化提前,增加粒数,冬小麦产量也得

到一定幅度提升,因此冬性较弱品种逐渐替代了原有品种。该适应措施一方面有效利用了气候变化影响下增加的热量资源,另一方面提高了冬小麦的产量,在黄淮海地区逐渐得到推广应用。

#### 4.4 灾后抢种救灾作物

随着气候变化,极端气候事件发生频繁,灾后抢时播种特早熟作物品种是抗灾救灾的有效措施。南方对于受灾绝收的水稻田、旱作田、蔬菜田,在及时排水降渍后,要适时补种、改种玉米、毛豆、绿豆、水生蔬菜、再生稻等<sup>[46]</sup>;北方根据灾后剩余热量的多少,抢种特早熟谷子、红小豆、绿豆、荞麦等作物或大白菜、萝卜等秋菜。救灾作物能够最大限度降低灾害带来的损失,保障农民的口粮,并为下一季种植打好基础。

#### 4.5 推广抗病虫害作物品种

针对气候变化使病虫害加剧,直接影响作物的生长发育,因此加强抗病虫害品种的选育和推广,如抗虫棉、脱毒种薯、脱毒苗(蔬菜、果树)等<sup>[30]</sup>,一方面降低病虫害导致的减产、绝产风险,稳定作物产量,另一方面提升作物的品质。

### 5 存在问题及建议

种植结构调整是农业适应气候变化的重要举措,应当推进种植结构调整研究不断深入。本文从全国角度出发,对中国诸多研究学者在种植制度调整、作物布局调整和品种布局调整方面的研究以及已经开展的工作经验进行了总结,包括华北冬小麦-夏玉米套改平、南方双季稻改制、东北水稻和玉米扩种、华北地区两晚技术、冬麦北移、热带亚热带作物北移、南方冬季农业开发等诸多典型适应气候变化措施。通过分析气候变化条件下中国种植结构调整的科学研究结果和实践,可以发现目前仍存在很多不足,有待进一步深入研究,对实践工作不断改进完善。根据中国种植结构调整适应气候变化研究及工作中的状况,概括总结了目前的主要问题。

#### 5.1 过度适应

由于气候变化的幅度、范围在不同地区呈现不同的状况,因此必须依托实际的调查研究,开展种植结构调整工作;由于对气候变化影响认识的不清晰,往往导致在实际工作中过度适应。对于

过度适应,应在种植结构调整过程中,注意避免作物种植范围过分北移,避免在过高海拔种植不适宜的作物,避免选育生育期过长的品种,避免种植冬性下降过多的品种,避免作物播种过早或过晚。以东北水稻、玉米为例,随着气候变暖,一些地区将种植区域向北扩展或改用生育期过长品种,导致冷害与霜冻害造成减产的教训频发。过度适应往往是对气候变化带来的热量、光照、水分等资源增加抱侥幸心理,忽视了气候变化所带来的波动加剧、极端事件频发,导致适应措施不当。

## 5.2 盲目适应

盲目适应是在对气候变化及其影响认识不清晰的基础上采取的适应行动,往往适得其反,导致不必要的损失。不同区域应因地制宜,结合本区域的气候变化特征,适度调整种植结构。由于对气候变化以及社会经济状况认识的模糊,往往造成跟风式的盲目种植,如2012年北京房山地区暴雨灾后跟风抢种大白菜和萝卜,虽然灾后抢种救灾作物是一项很好的适应措施,但农户一窝蜂的抢种,反而造成作物市场价格的剧烈波动,并未达到降低损失的目的。从盲目适应角度来看,对于种植结构调整,应当注意避免盲目引种,避免不考虑市场需求和社会经济因素大面积改种作物,避免不分地形扩种作物。

## 5.3 气候变化各要素(光、热、水等)对种植熟制的综合影响研究不足

现阶段气候变化单要素对种植熟制影响研究比较多,往往以热量资源作为判断种植熟制的主要标准;但光照、水分、风等要素对种植熟制的影响也非常重要,种植熟制往往受到气候变化的综合影响,仅从单要素研究尚不能全面揭示其发展变化规律,为了更好地适应气候变化,应当开展气候变化各要素(光、热、水等)对种植熟制的综合影响研究。将气候变化各要素——光、热、水、风等作为一个整体,综合分析其对种植熟制所产生的影响。以华北一些丘陵山区为例,随着气候变暖,热量条件已能满足冬小麦-夏玉米一年两熟的要求,但由于气候变化导致的降水减少,同时灌溉条件不足,在这些地区仍以一年一熟的春玉米为主。

## 5.4 复杂地形的农业精细区划与作物布局优化配置研究不足

中国地形复杂多变,在相同气候背景下,由于

地形差异,农业生产的作物布局以及品种布局往往不同,为了有效保障粮食生产,挖掘气候资源潜力,需要开展复杂地形的农业精细区划与作物布局优化配置研究。以福建省云霄柑橘种植为例,运用GIS技术,综合考虑气候、地形、土地利用等要素,以极端最低气温为控制因子,辅以年降雨量、年相对湿度、坡度、坡向等影响因子,开展精细区划,将云霄县划分为早熟品种适宜区、中熟品种适宜区、晚熟品种适宜区、不适宜区,实现复杂地形的精细区划与作物布局的优化配置,提升了当地的柑橘产量与效益。但类似的适应措施还很少见,因此需要进一步针对中国丘陵、山地等不同地形的复杂情况,开展农业精细区划与作物布局优化配置研究,促进农业生产的因地制宜,使之在适应气候变化的基础上,提升粮食产量与经济效益。

## 5.5 适应气候变化的育种多目标优化决策研究不足

育种目标包含高产、优质、高效、抗性四个方面,为了适应气候变化,育种方向往往仅能兼顾某一个或两个方面,为了更好地应对气候变化并保障农业生产及生态环境可持续发展,需要开展适应气候变化的育种多目标优化决策研究。综合考虑高产、优质、高效、抗性四个方面,既针对当前目标,又兼顾中长期目标,开展适应气候变化的育种多目标优化决策研究。以华北小麦育种为例,一直以丰产性、稳定性、品质及成本作为育种目标,随着气候变化的日益加剧,抗旱性、抗病虫害等抗逆性品种选育显得日益重要,对抗逆性品种选育的研究越来越多,但如何综合考虑高产、优质、高效、抗性,开展适应气候变化的育种多目标优化决策研究,将是未来育种研究的重要方向。

## 6 结语

从古至今,农业一直在适应气候的过程中不断向前发展。工业革命以来,全球变暖日益显著,我国在农业种植结构调整方面积累了丰富的适应气候变化实践,许多学者从种植结构调整角度开展了研究,但从适应气候变化角度并未进行过系统的梳理,因此对于已有实践的适应气候变化内涵没有清晰地认识。为了指导未来应对气候变化行动,本文从种植制度、作物布局、品种布局三个方面阐述了气候变化对中国农业种植结构调整的

影响,结合东北水稻玉米扩种、冬麦北移、长江中下游双季稻改制、南方冬季农业开发等典型适应气候变化案例,探讨复种指数、间作套种模式、作物配置、种植界限、种植比例、抗逆品种等农业种植结构调整不同实践的适应气候变化内涵与适应效果。

从我国已有的农业种植结构调整适应气候变化实践可以看出,种植结构调整中适应气候变化工作仍面临许多问题。近几十年来大多是被动或自发的适应行动,主动适应相对较少,分散式的适应较多,整体适应规划较少,同时气候变化对种植结构调整的影响研究仍较为不足。针对这些问题,一方面应从整体角度对种植结构调整进行统一规划,主动采取相应的适应行动,降低气候变化所带来的损失与适应成本,增加适应效益;另一方面倡导进一步加强气候变化各要素对种植熟制的综合影响研究,深入开展农业精细区划与作物布局优化配置研究以及适应气候变化的育种多目标优化决策研究,为农业种植结构调整适应气候变化提供科学支撑。

#### 参 考 文 献

- [1] IPCC. Climate Change 2013: The physical science base. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. UK, Cambridge: Cambridge University Press, 2013, 1-300.
- [2] 巢清尘, 张永香, 高翔, 等. 巴黎协定——全球气候治理的新起点[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(1): 1-8.  
Chao Q C, Zhang Y X, Gao X, et al.. Paris agreement: A new start for global governance on climate [J]. Climate Change Res., 2016, 12(1): 1-8.
- [3] Piao S L, Gais P, Huang Y, et al.. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China [J]. Nature, 2010, 467(7311): 43-51.
- [4] 邓蓉. 现代农业基础知识[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011, 15-28.  
Deng R. Basic Knowledge of Modern Agriculture [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011, 15-28.
- [5] 李克南, 杨晓光, 慕臣英, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响Ⅷ——气候变化对中国冬小麦冬春性品种种植界限的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(8): 1583-1594.  
Li K N, Yang X G, Mu C Y, et al.. The possible effects of global warming on cropping systems in China Ⅷ — the effects of climate change on planting boundaries of different winter-spring varieties of winter wheat in China [J]. Sci. Agric. Sin., 2013, 46(8): 1583-1594.
- [6] 周曙东, 周文魁, 林光华, 等. 未来气候变化对我国粮食安全的影响[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2013, 13(1): 56-65.  
Zhou S G, Zhou W K, Lin G H, et al.. The impact of future climate change on China's food security [J]. J. Nanjing Agric. Univ. ( Soc. Sci. ), 2013, 13(1): 56-65.
- [7] 杨晓光, 刘志娟, 陈卓. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响-VI. 未来气候变化对中国种植制度北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1562-1570.  
Yang X G, Liu Z J, Chen F. The possible effects of global warming on cropping systems in China VI—Possible effects of future climate change on northern limits of cropping system in China [J]. Sci. Agric. Sin., 2011, 44(8): 1562-1570.
- [8] 赵锦, 杨晓光, 刘志娟, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响Ⅱ. 南方地区气候要素变化特征及对种植制度界限可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1860-1867.  
Zhao J, Yang X G, Liu Z J, et al.. The possible effect of global climate changes on cropping systems boundary in China Ⅱ. The characteristics of climatic variables and the possible effect on northern limits of cropping system in China [J]. Sci. Agric. Sin., 2010, 43(9): 1860-1867.
- [9] 张强, 邓振镛, 赵映东, 等. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1210-1218.  
Zhang Q, Deng Z Y, Zhao Y D, et al.. The impacts of global climatic change on the agriculture in northwest China [J]. Acta Ecol. Sin., 2008, 28(3): 1210-1218.
- [10] 范士超, 褚庆全, 何浩, 等. 小麦-玉米两熟制产量限制因素及其提升技术途径——以山东省龙口市为例[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(6): 6-12.  
Fan S C, Chu Q Q, He H, et al.. Assessment of yield limiting factors and technical measures to improve yield in wheat-maize double-cropping system: A case study of Longkou city, Shandong province [J]. J. China Agric. Univ., 2010, 15(6): 6-12.
- [11] 张经廷, 王志敏, 周顺利. 夏玉米不同施氮水平土壤硝态氮累积及对后茬冬小麦的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(6): 1182-1190.  
Zhang J T, Wang Z M, Zhou S L. Soil nitrate N accumulation under different N-fertilizer rates in summer maize and its residual effects on subsequent winter wheat [J]. Sci. Agric. Sin., 2013, 46(6): 1182-1190.
- [12] 梁银丽, 曹导叶, 由海霞, 等. 西北半湿润渠灌区作物节水高效种植制度[J]. 西北农业学报, 2006, 15(3): 50-53.  
Liang Y L, Cao D Y, You H X, et al.. Water saving and efficient cropping system in northwest semi-humidity irrigation area [J]. Acta Agric. Boreali-Occidentalis Sin., 2006, 15(3): 50-53.
- [13] 任万军, 杨文钰. 川中丘区农业结构调整的研究[J]. 作物杂志, 2001, 4(2): 7-10.  
Ren W J, Yang W Y. Study on agricultural planting structures in hilly land of middle Sichuan province [J]. Crops, 2001, (2): 7-10.
- [14] 李钟, 郑祖平, 张国清, 等. 四川丘陵区“芋/玉/豆”模式主要栽培技术及效益[J]. 耕作与栽培, 2010, 4(5): 64-65.  
Li Z, Zheng Z P, Zhang G Q, et al.. Main cultivation technologies and benefits of potato-maize-soybean model in hilly land of Sichuan province [J]. Culture Planting, 2010, (5): 64-65.



- [15] 杨晓光, 刘志娟, 陈 卓. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响-I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 329-336.  
Yang X G, Liu Z J, Chen F. The possible effects of global warming on cropping systems in China I. The possible effects of climate warming on northern limits of cropping systems and crop yields in China [J]. Sci. Agric. Sin., 2010, 43(2): 329-336.
- [16] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响-IV. 未来气候变暖对东北三省春玉米种植北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2280-2291.  
Liu Z J, Yang X G, Wang W F, et al.. The possible effects of global warming on cropping systems in China IV. The possible impact of future climatic warming on the northern limits of spring maize in three provinces of Northeast China [J]. Sci. Agric. Sin., 2010, 43(11): 2280-2291.
- [17] 邓振镛, 张 强, 徐金芳, 等. 西北地区农林牧业生产及农业结构调整对全球气候变暖响应的研究进展[J]. 冰川冻土, 2008, 30(5): 835-842.  
Deng Z Y, Zhang Q, Xu J F, et al.. The progress in researches on the impact of global warming on agriculture-forestry-stockbreeding production and agricultural structure adjustment in Northwest China [J]. J. Glaciol. Geocryol., 2008, 30(5): 835-842.
- [18] 邓振镛, 张 强, 王 强, 等. 中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对技术[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6278-6288.  
Deng Z Y, Zhang Q, Wang Q, et al.. Solutions for impacts of warming and drying on grain crops in North China [J]. Acta Ecol. Sin., 2010, 30(22): 6278-6288.
- [19] 刘德祥, 赵红岩, 董安祥, 等. 气候变暖对甘肃夏秋季作物种植结构的影响[J]. 冰川冻土, 2005, 27(6): 806-812.  
Liu D X, Zhao H Y, Dong A X, et al.. Impact of climate warming on summer-autumn crop planting structure in Gansu province [J]. J. Glaciol. Geocryol., 2005, 27(6): 806-812.
- [20] 云雅如, 方修琦, 王丽岩, 等. 我国作物种植界线对气候变暖的适应性响应[J]. 作物杂志, 2007, (3): 20-23.  
Yun Y R, Fang X Q, Wang L Y, et al.. Adaptive response of crop planting boundary to climate warming in China [J]. Crops, 2007, (3): 20-23.
- [21] 刘德祥, 董安祥, 梁东升, 等. 气候变暖对西北干旱区农作物种植结构的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 831-836.  
Liu D X, Dong A X, Liang D S, et al.. Affect of climate warming on crop planting structure in arid zone of Northwestern China [J]. J. Desert Res., 2007, 27(5): 831-836.
- [22] 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 119-125.  
Liu D X, Dong A X, Deng Z Y. Impact of climate warming on agriculture in northwest China [J]. J. Nat. Res., 2005, 20(1): 119-125.
- [23] 邓振镛, 张 强, 韩永翔. 甘肃省农业种植结构影响因素及调整原则探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 126-129.  
Deng Z Y, Zhang Q, Han Y X. A discussion on the main principles and impact factors in planting structure adjustment in China [J]. Agric. Res. Arid Areas, 2006, 24(3): 126-129.
- [24] 邓振镛, 张 强, 刘德祥, 等. 气候变暖对甘肃种植业结构和农作物生长的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 627-632.  
Deng Z Y, Zhang Q, Liu D X, et al.. Effects of climate warming on cropping structure and crop growth in Gansu province [J]. J. Desert Res., 2007, 27(4): 627-632.
- [25] 何奇谨, 周广胜. 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3931-3939.  
He Q J, Zhou G S. Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China [J]. Acta Ecol. Sin., 2012, 32(12): 3921-3939.
- [26] 李祎君, 王春乙. 气候变化对我国农作物种植结构的影响[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(2): 123-129.  
Li Y J, Wang C Y. Impacts of climate change on crop planting structure in China [J]. Adv. Climate Change Res., 2010, 6(2): 123-129.
- [27] 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[R]. 北京: 科学出版社, 2011, 97-101.  
Writing Committees of 《The Second National Assessment Report of Climate Change》. The Second National Assessment Report of Climate Change [R]. Beijing: Science Press, 2011, 97-101.
- [28] 王长燕, 赵景波, 李小燕. 华北地区气候暖干化的农业适应性对策研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(5): 646-652.  
Wang C Y, Zhao J B, Li X Y. Study on agricultural adaptation to warming and drying climate in North China [J]. Arid Land Geo., 2006, 29(5): 646-652.
- [29] 王 滨, 张发旺, 程彦培, 等. 基于农业种植结构的黑龙江地区水资源供需平衡分析[J]. 水土保持通报, 2012, 32(2): 182-185.  
Wang B, Zhang F W, Cheng Y P, et al.. Supplies and demands balance of water resource in consideration of agricultural cultivation structure in Heilonggang district [J]. Bull. Soil Water Conservation, 2012, 32(2): 182-185.
- [30] 李卫东, 刘介民, 田祚茂, 等. 西南山区脱毒马铃薯推广的实践与思考[J]. 作物杂志, 2008, (3): 86-89.  
Li W D, Liu J M, Tian Z M, et al.. Thinking and practices of spreading of detoxification potatoes in Southwest China [J]. Crops, 2008, (3): 86-89.
- [31] 房世波, 韩国军, 张新时, 等. 气候变化对农业生产的影响及其适应[J]. 气象科技进展, 2011, 1(2): 15-19.  
Fang S B, Han G J, Zhang X S, et al.. Climate change affects crop production and its adaptation [J]. Adv. Meteorol. Sci. Technol., 2011, 1(2): 15-19.
- [32] 姚小英, 邓振镛, 蒲金涌, 等. 甘肃省糜子生态气候研究及适生种植区划[J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 52-56.  
Yao X Y, Deng Z Y, Pu J Y, et al.. A study on ecoclimate of prosomillet and its suitable planting regions in Gansu [J]. Arid Meteorol., 2004, 22(2): 52-56.
- [33] 易小林, 邓 鹏, 杨声激. 广西冬季农业气候资源开发与利用探索[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(6): 113-114.  
Yi X L, Deng P, Yang S G. Exploiting and utilizing of agroclimatological resources in Guangxi [J]. Anhui Agric. Sci. Bull., 2009, 15(6): 113-114.
- [34] 朱启龙. 中国棉花主产区生产布局分析[J]. 中国农村经济,

- 2009 (4): 31-38.
- Zhu Q L. Analysis on production layout of cotton in China [J]. Chin. Rural Econ., 2009, (4): 31-38.
- [35] 吴述德, 屈生彬, 杜绍明, 等. 云南主产区气候热环境与优质冬香料烟生产关系的探讨 [J]. 资源科学, 2005, 27(5): 160-167.
- Wu S D, Qu S B, Du S M, *et al.*. Effects of sunlight radiation on the production of quality winter-spring oriental tobacco in Yunnan province [J]. Res. Sci., 2005, 27(5): 160-167.
- [36] 刘天军, 范英. 中国苹果主产区生产布局变迁及影响因素分析 [J]. 农业经济问题, 2012, (10): 36-42.
- Liu T J, Fan Y. Analysis on factors of production layout transition of apples in China [J]. Issu. Agric. Econ., 2012, (10): 36-42.
- [37] 季生太, 杨明, 纪仰慧, 等. 黑龙江省近 45 年积温变化及积温带的演变趋势 [J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 133-137.
- Ji S T, Yang M, Ji Y H, *et al.*. Change of accumulated temperature and evolution trends of accumulated temperature zone over last 45 years in Heilongjiang province [J]. Chin. J. Agrometeorol., 2009, 30(2): 133-137.
- [38] 王永力, 杨德光, 李玲. 黑龙江省第一积温带玉米各生育时期环境温度变化分析 [J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(7): 69-73.
- Wang Y L, Yang D G, Li L. Analysis of environment temperature changes of maize growth period in the first accumulated temperature zone in Heilongjiang province [J]. J. Northeast Agric. Univ., 2013, 44(7): 69-73.
- [39] 王艳秋, 高煜中, 潘华盛, 等. 气候变暖对黑龙江省主要农作物的影响 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(6): 373-378.
- Wang Y Q, Gao Y Z, Pan H S, *et al.*. Effect of climate warming on major crops in Heilongjiang province [J]. Adv. Climate Change Res., 2007, 3(6): 373-378.
- [40] 李常保. 玉米、小麦两晚增产栽培新技术 [J]. 河北农业科技, 2008, (20): 10.
- Li C B. New cultivating technology of "Liangwan" on maize and wheat for increasing yield [J]. Hebei Agric. Technol., 2008, (20): 10.
- [41] 王晓明, 王德权, 王峰, 等. 杂交谷子在张家口市坝上地区种植试验初报 [J]. 河北农业科学, 2011, 15(6): 12-14, 17.
- Wang X M, Wang D Q, Wang F, *et al.*. Preliminary study on the cultivation test of hybrid millets Bashang area of Zhangjiakou city [J]. J. Hebei Agric. Sci., 2011, 16(6): 12-14, 17.
- [42] 李顺. 我国杂交谷子生产现状与高产栽培技术 [J]. 农业科技通讯, 2011, (7): 137-140.
- Li S. High yield cultivation techniques and production status of hybrid millet in China [J]. Bull. Agric. Sci. Technol., 2011, (7): 137-140.
- [43] 刘建军, 赵治海. 杂交谷子在埃塞俄比亚的栽培技术及推广经验 [J]. 河北农业科学, 2012, 16(4): 9-12.
- Liu J J, Zhao Z H. Cultivation technology and extension experiences of hybrid millet in Ethiopia [J]. J. Hebei Agric. Sci., 2012, 16(4): 9-12.
- [44] 李晓林, 白志元, 杨子博, 等. 黄淮海部分主推冬小麦品种越冬及拔节期的抗寒生理研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(1): 40-48.
- Li X L, Bai Z Y, Yang Z B, *et al.*. Cold resistant physiology of some main wheat varieties at wintering and jointing stages in Huanghuai area [J]. J. Northwest Agric. Forest Univ. (Nat. Sci.), 2013, 41(1): 40-48.
- [45] 李勇, 杨晓光, 王文峰, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响-V. 气候变暖对中国热带作物种植北界和寒害风险的影响分析 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2477-2484.
- Li Y, Yang X G, Wang W F, *et al.*. The possible effects of global warming on cropping systems in China V-The possible effects of climate warming on geographical shift in safe northern limits of tropical crops and the risk analysis of cold damage in China [J]. Sci. Agric. Sin., 2010, 43(12): 2477-2484.
- [46] 张艾芹, 邱艳, 朱新伟. 受涝农作物灾后补救技术 [J]. 现代农业科技, 2009, (7): 188, 191.
- Zhang A Q, Qiu Y, Zhu X W. Remedy technologies of crop plants after flood disasters [J]. Modern Agric. Sci. Technol., 2009, (7): 188, 191.