

气候变化对我国油菜生产的影响

张树杰, 张春雷*

(中国农业科学院油料作物研究所, 农业部油料作物生物学重点开放实验室, 武汉 430062)

摘 要:近年来,我国气候发生了显著变化:一是年平均气温显著升高;二是年降水总量有增加趋势,但区域性和季节性明显;三是极端气候事件频率和强度显著增加;四是 CO₂ 浓度持续升高;五是日照时数缩短明显。受其影响,我国油菜种植面积近年来显著增加,特别是冬油菜,有明显的“北移、西扩”趋势,这与气温升高引起作物种植北界北移有关。尽管我国油菜的单产也呈现增加趋势,但其与气象因子变化之间的关系目前还不明确。由极端气候引起的农业灾害显著增加,油菜生产的不稳定性增大。因此,提高综合抗逆能力、促进稳产是油菜生产急需解决的问题。

关键词:气温;降水量;极端气候事件;种植面积;单产

中图分类号:X16 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)09-1749-06

Influences of Climate Changes on Oilseed Rape Production in China

ZHANG Shu-jie, ZHANG Chun-lei*

(Oil Crops Research Institute, CAAS, Key Laboratory of Oil Crop Biology of the Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China)

Abstract: Recently, the climatic conditions have been changed significantly in China, which is included the following aspects: 1) Annual average air temperature is significantly increased; 2) The annual average precipitation is slightly increased with spatial and temporal difference; 3) The frequency and intensity of extreme climate events is significantly increased; 4) The CO₂ concentration is continuously increased; 5) The sunshine hours are significantly decreased. Consequently, the cultivation area of oilseed rape, especially of winter oilseed rape, is significantly increased with the tendency that the planting boundary is moved to further northern and western. Although the rapeseed yield per unit area is significantly increased in recent years, the relations between the rapeseed yield and climatic factors are still unclear. While, the instability of rapeseed production is significantly increased with the frequency and intensity of extreme climate event increased. Therefore, it is a major assignment to increase the cross tolerance to various stresses and increase the stability of productivity of oilseed rape.

Keywords: air temperature; precipitation; extreme climate event; cultivation area; yield per unit area

近百年来,全球气候正经历一次以变暖为主要特征的变化过程,受其影响,我国气候也发生了显著变化。油菜是我国第一大油料作物,无论是种植面积、还是产量均居世界首位^[1-2]。明确气候变化对油菜生产的影响,提出并制定相应的应对措施,对保障国家食用油供给安全,增加农民收入、促进农村经济发展具有十分重要的意义。

1 气候变化对我国油菜产区生态环境的影响

我国油菜产区可以划分为 2 个大区(春油菜产区和冬油菜产区),其中冬油菜无论是在种植面积上,还是油菜籽产量上均占全国总量的 85%以上^[3]。

1.1 春油菜产区

春油菜产区可以划分为青藏高原、蒙新内陆和东北平原 3 个亚区^[3]。本区气候的共同特点是冬季严寒、夏季炎热,降水量偏少、分布不均,日照长、强度大,四季分明、昼夜温差大等,属于典型的春种夏收、一年一熟耕作制度区域^[3]。近年来,本区气候条件主要发生了以下变化:① 近地表气温逐年升高,暖冬趋势明显^[4-7]。

收稿日期:2011-03-19

基金项目:公益性行业科研专项(200903003)

作者简介:张树杰(1972—),男,陕西甘泉人,博士,助理研究员,主要从事作物栽培生理研究。E-mail:sjzhang1972@126.com

* 通讯作者:张春雷 E-mail:clzhang@vip.sina.com

近 50 a 间西部干旱和半干旱区年平均增温速率达 $0.034\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1[4]}$; 东北地区冬季和春季增温速率分别为 $0.063\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $0.049\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1[5]}$ 。②部分地区年降水量虽呈增加趋势,但仍然不能缓解冬春两季的旱情^[4,6-8]。一是因为降水量高度集中,夏季最多、春季最少;二是降水量增加主要是在秋冬季;三是强降水事件的频率和强度增加明显,有效降水没有增加甚至减少;四是年降水量在有些区域甚至还出现了显著下降的趋势,如蒙古高原中部和东北平原地区^[8]。③日照时数显著缩短,其中夏、秋季减少幅度最大^[9]。

1.2 冬油菜产区

冬油菜产区可以划分为黄土高原、黄淮平原、云贵高原、四川盆地、长江中游、长江下游和华南沿海 7 个亚区^[3]。黄土高原和黄淮平原冬季寒冷、干燥,年降水量少,气温回升快,春旱频繁,晚秋、早春常有寒潮霜冻,冻害严重。云贵高原和四川盆地冬季暖湿干燥,云南干湿两季分明,贵州干湿两季不明显,四川盆地寒潮不易侵入,但日照偏少。长江中下游属亚热带,气候温和、雨量充沛。长江中游春夏多雨、秋冬干旱,冬季冻害时有发生,春季升温快,寒潮频繁;长江下游季节性气候变化明显,四季分明,春季升温快、变幅小。华南沿海地区属亚热带地区,高温高湿,夏长冬短,雨量充沛^[3]。

近年来,各亚区气候变化具有以下特征:①气温升高显著,暖冬明显,夏季高温提前、极端高温频率增加^[6-8,10-12]。1960—2002 年,长江中下游地区年平均增温幅度 $0.013\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1[11]}$,华南沿海地区年平均增温速率为 $0.012\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1[12]}$ 。②各亚区降水量变化的区域性和季节性差异明显。黄土高原、黄淮平原、云贵高原和四川盆地降水量有增有减,降水分布不均趋势更加严重^[9,13-14];长江流域和华南沿海地区年降水总量虽有微弱增加,但季节差异较大,季节性干旱趋势加重^[15-17];③极端气候事件发生频繁、危害程度加大^[16-18]。④年日照时数逐年减少,尤其是夏季和冬季^[19-20]。⑤农业气象灾害时有发生,农业生产的不稳定性显著增加^[6-7,21-22]。⑥长江以南、青藏高原以东地区和四川盆地酸雨污染面积呈上升趋势^[23]。

2 油菜种植面积演变与气候变化的关系分析

2.1 近 30 a 我国油菜种植面积演变

根据农业部 2009 年最新统计,在最近 30 a,全国油菜种植面积总体上呈现增加的趋势^[24]。其中冬油菜种植面积增加较快,到 2005 年突破 680 万 hm^2 。春油

菜种植面积虽有增加,但增幅较小,2000 年以来,年种植面积维持在 50 万 hm^2 左右^[24]。

春油菜方面,蒙新内陆和青藏高原亚区年种植面积出现不同程度的增加,而东北平原亚区却呈下降趋势^[24]。2008 年,蒙新内陆、青藏高原和东北平原 3 个亚区春油菜种植面积分别是 1978 年的 2.5、2.2 倍和 0.01 倍(图 1a)。冬油菜方面,除了华南沿海亚区,其他亚区种植面积均出现大幅度的增长^[24]。其中以长江中游、黄土高原和四川盆地增长最快,2008 年冬油菜种植面积分别是 1978 年的 4.2、3.1 倍和 2.8 倍;其次为黄淮平原、云贵高原和长江下游,2008 年冬油菜种植面积分别是 1978 年的 2.3、2.0 倍和 1.7 倍(图 1b)。

2.2 气候变化对油菜种植面积的影响分析

气候变暖使作物生长期延长,多熟制边界向北推移,传统的油菜生产格局将被改变。研究表明,北半球中纬度地区平均气温升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,作物北界一般向北移动 15~200 km,而海拔高度向上移动 150~200 m^[25]。杜鹃和关泽群^[26]认为,我国三熟制的种植北界将从长江流域移至黄河流域,二熟制北界将从秦淮地区北移至内蒙古和东北的南部,到 2050 年,一熟制种植区面积将由现在的 62.3% 缩小至 39.2%,三熟制种植区面积将由目前的 13.5% 扩大至 35.9%,二熟制种植区面积维持基本不变。

近年来,我国油菜种植面积的增长总体上呈现出明显的“东减、北移、西扩、南进”特征^[27],其中黄土高原、黄淮平原、四川盆地和云贵高原亚区冬油菜种植面积增加较快(图 1b)。王栓全和刘东梅^[28]在渭北旱塬引种栽培甘蓝型冬油菜的成功,使冬油菜种植区域向北推进了半个纬度,海拔提高 400 m。朱维民^[29]研究发现,安徽淮北地区冬油菜种植面积在 1982 年时达到 14.2 万 hm^2 ,向北推移了 200 km 以上。孙万仓等^[30]研究发现,在西北寒旱区的酒泉和张掖,冬油菜也表现出良好的适应性和经济性状,表明西起新疆的伊宁、东至黑龙江的绥芬河以南,包括沿长城一线以及西藏、新疆中南部、东北平原南部可能是一个具有重要发展潜力的冬油菜种植带。这些研究结果表明,气候变暖使我国冬油菜潜在的种植面积显著增加,特别是在北方地区,冬油菜发展潜力十分巨大。

3 油菜单产演变与气候变化的关系分析

3.1 近 30 a 我国油菜单产演变

根据农业部 2009 年统计资料^[24],我国春油菜和冬油菜平均单产水平近年来一直处于增加的趋势,

2007年分别达到 $1\,884\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $1\,750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 分别是1978年的4.8倍和2.5倍。1997年以前, 我国春油菜单产要远远低于冬油菜, 特别是在1978—1988年的10 a间, 春油菜单产仅为冬油菜的50%左右; 1998年以后, 春油菜单产与冬油菜相当, 其中2006年和2007两年春油菜单产显著高于冬油菜。因此, 在过去的30 a, 我国油菜平均单产水平有了大幅度的提升, 其中春油菜增加幅度更大(图2)。

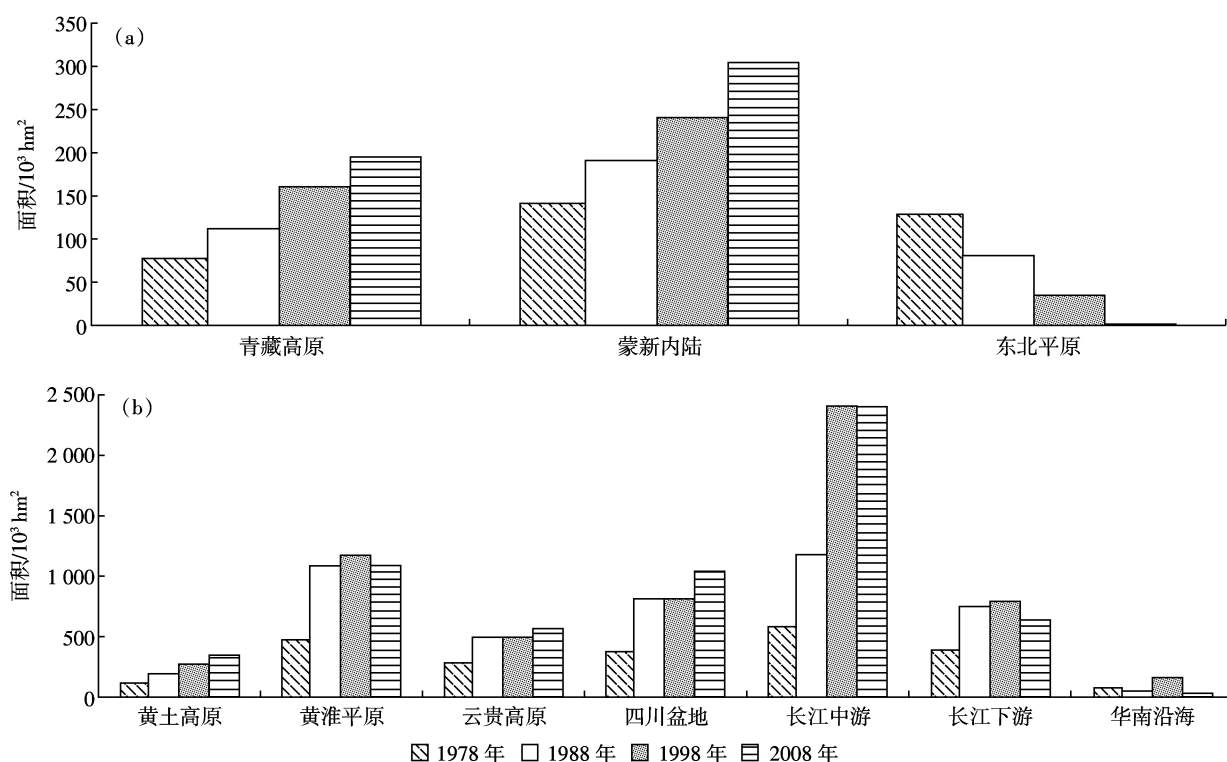
3.2 气候变化对油菜产量的影响分析

上世纪90年代以来, 全球社会和科学界十分关

注气候变化对农业生产能力及食物安全供应的影响。但与其他农作物相比, 气候变化对油菜生长及产量影响的研究还不多, 结果也不确定。

3.2.1 气温升高既是有利因素, 也有不利影响

气温升高能够促进作物新陈代谢、利于油菜生长, 也利于油菜的安全越冬, 但初夏高温却会引起油菜产量和品质的降低。Morrison 等^[31]和 Kutcher 等^[32]研究发现, 花期和角果期环境气温超过 $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 会显著降低油菜产量。同时, 气温升高还会给油菜生产带来其他不利影响: ①引起地表蒸发量增加, 土壤干旱发生



▨ 1978年 □ 1988年 ■ 1998年 ▨ 2008年

图1 各主产区油菜种植面积演变

Figure 1 Changes of oilseed rape cultivation area in recent 30 years in China

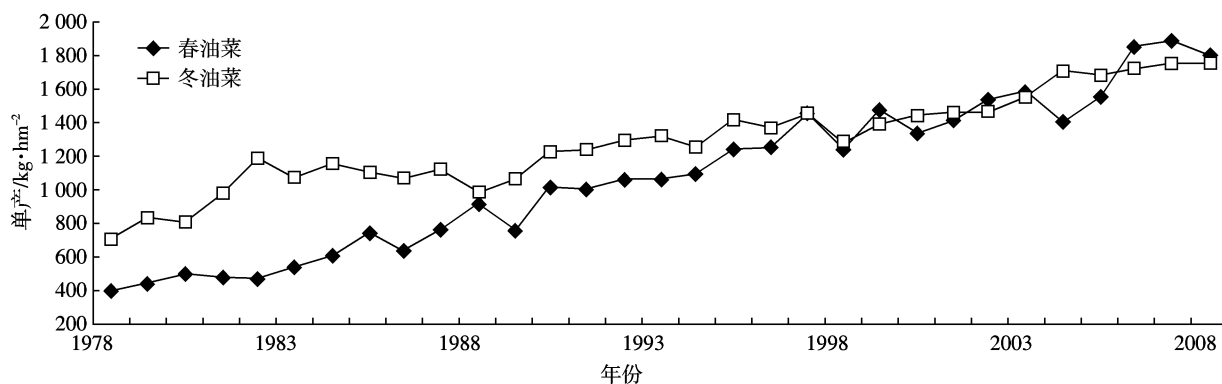


图2 近30 a我国油菜平均单产演变

Figure 2 Changes of yield per unit area in recent 30 years in China

的频率升高^[6-8]。②加快土壤有机质分解速度,造成土壤肥力下降。③冬季气温偏高,一方面会影响油菜的春花作用,另一方面会促使油菜出现早薹、早花现象,从而导致油菜对外界环境条件的抗逆能力减弱,收获产量大大降低。④暖冬造成主要农作物病虫害越冬基数增加、越冬死亡率降低、次年病虫害发生期提前、危害期延长等。同时,温度和湿度的增加,也为病虫害的发生和蔓延提供了有利的条件,从而使病虫害危害更加频繁和猖獗。

3.2.2 降水量分布不均,干旱和洪涝灾害形势严峻

全年总降水量在全国范围内虽然是增加趋势,但区域与季节间差异显著,而且降水集中、降水变率大是我国降水变化的基本特征^[6-8]。西北地区降水量虽然在各季节均有增加,但缺水形势仍然严峻,预计在2010—2030年间,西北地区年缺水量约为200亿 m^3 ;长江中下游地区降水增加的趋势主要集中在夏季和冬季,播种时干旱危害日益严重;华北地区降水量减少,干旱化加剧,水资源更加紧张;而华东、华中以及华南沿海地区极端降水事件显著增加,洪涝风险加大^[6-8]。同时,酸雨污染直接抑制油菜生长,降低油菜角果数和产量^[34]。

3.2.3 突发性极端气候事件的频次和强度加大,农业生产的不稳定性增加

近年来,我国极端气候事件(高温、干旱和强降雨等)出现的频次和强度显著增大^[6-7,21]。特别是进入20世纪90年代以来,我国每年因重大农业气象灾害引起的经济损失高达1000亿元以上。而2008年初南方大范围的长时间低温冻害使20个省区作物受灾面积达0.12亿 hm^2 ,受灾区域油菜单产比上年减少10%以上^[33]。据统计,在1978—2008的30a间,全国年自然灾害成灾面积呈现升高的趋势(特别是1985—2002年),其中旱灾和冻害成灾面积增加幅度更大^[23]。

3.2.4 CO_2 浓度升高利于油菜生产,但其作用效果并不明显

大气中的 CO_2 作为植物光合作用的原料,也是影响作物生长发育的主要生态因子。 CO_2 浓度增加,可以促进作物光合速率加快,提高作物水分利用率,进而促进作物的生长和产量的增加。Upriy^[35]和Högy等^[36]通过室内实验发现,高浓度 CO_2 使甘蓝型油菜(*Brassica napus* cv. *Campino*)地上部生物量、单位面积籽粒产量和产油量显著增加。但是,由于受其他环境条件的限制, CO_2 浓度升高的增产作用并不明显。

4 未来气候条件下我国油菜生产的对策和措施

4.1 深入研究气候变化条件下油菜种植带的漂移特征

气温升高,特别是冬季平均气温和极端最低气温升高,使得油菜种植带发生了明显的北移。但是,由于各区域具体的气候条件,给油菜生产带来了诸多的不利影响。如西北、华北地区的降水量分布不均,长江中下游地区播种期季节性干旱,以及频发的农业灾害等等。因此,要深入研究新的气候条件下油菜种植带漂移特征,明确各区域影响油菜生产的主要气象因子及限制因素,建立不同区域气候变化对油菜产量与关键品质影响的评估模型,提出优化对策。

4.2 根据区域气候特点,合理调整油菜种植制度

对于长江中下游和华南沿海地区的三熟制区,开展早熟优质油菜品种选育及配套栽培技术研究,缩短油菜生育期,缓解油菜与水稻之间的季节性争地矛盾,保障粮油共同协调发展;二熟制区,应以适应油菜机械化和轻简化生产的品种选育及栽培技术研究为重点,实现油菜生产的高产高效。黄土高原、黄淮平原、云贵高原和四川盆地应以耐寒抗旱品种选育为基础,抗寒抗旱栽培技术为重点,开展冬油菜耐寒抗旱引种栽培和推广试验,为冬油菜的“北移、西扩、南进”提供品种和栽培技术保证。针对长江中下游油菜播种期降水量偏少,冬季气温升高诱发油菜早薹早花问题,对播期进行适当的调整,既能避开播种时的干旱危害,又能有效防止早薹早花,变单纯的抗灾栽培为科学的避灾栽培。

4.3 以高品质、高抗性品种为基础,对现有栽培技术进行集装整合,提高油菜生产的整体抗逆水平

品种的抗逆性直接关系到油菜产量和品质的稳定性,也是提高油菜产量和品质的基础。科学、合理的栽培措施是保证油菜高产、高效,充分发挥品种优势的有力措施。但目前对油菜抗逆栽培技术及其机理的研究大多数仍停留在上世纪80年代的水平,各种应对措施比较零散、不够系统,抗灾能力十分脆弱。为了提高油菜生产的整体抗逆水平,一方面要加强高品质、高抗性油菜品种的选育工作,特别是能同时抗御多种灾害性气候油菜品种的选育工作;另一方面还要对现有的栽培措施进行集装整合,提出适合不同区域具体情况的最优栽培模式和技术方案。

4.4 加大对油菜病虫害发生及迁移规律的研究及监测力度

气候的变化,必然会对病虫害的发生、迁移产生

深远的影响。暖冬不仅会造成农作物病虫害越冬基数增加、次年发生期提前、危害程度加重;还会使病虫害发生界限和越冬北界向北推移,危害面积扩大。另一方面,气候变暖也使一年内害虫繁殖代数增加,迁移期和迁移规律发生变化。因此,必须通过对病虫害发生、迁移规律的研究和监测,预测、预报油菜病虫害的发生情况,提前进行防治,做到“预防为主、防治结合”,同时在防治过程中,应注重对生物防治的研究,实现综合防治。

4.5 深入研究气候变化条件下肥料转化、油菜生长发育及其养分吸收利用特征

气温升高,一方面会引起地表蒸发量增加,从而使土壤向暖干化发展;另一方面还会促使土壤有机质分解速度加快、土壤呼吸作用增强,从而影响土壤养分迁移转化和植物的吸收利用。同时,气候变化也会对油菜自身生长及生理过程产生影响。因此,必需着力研究新的气候条件下,土壤肥料的转化过程、油菜生长发育及其对土壤养分的吸收利用特征,科学合理地使用各种肥料,在提高肥料利用效率的同时还要降低环境污染风险。

4.6 深化油菜光合作用机理研究、提高 CO₂ 利用效率

深入研究新的气候条件下油菜光合作用过程及机理。充分利用当前气温升高,CO₂ 浓度增加的有利条件,克服日照时数和总辐射量降低的不利因素,提高油菜的光合效率,进而提高油菜籽的产量和品质。其中,要突出解决由高温引起的油菜光合作用变化及机理问题,提高油菜光合效率、延长油菜有效光合时间。

参考文献:

- [1] 王汉中. 我国油菜产需形势分析及产业发展对策[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(1): 101-105.
WANG Han-zhong. Strategy for rapeseed industry development based on the analysis of rapeseed production and demand in China[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2007, 29(1): 101-105.
- [2] 张树杰, 李玲, 张春雷, 等. 镉对油菜幼苗生长及微量元素含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(5): 836-842.
ZHANG Shu-jie, LI Ling, ZHANG Chun-lei, et al. Influences of cadmium on the growth and micro-elements contents of oilseed rape seedlings[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(5): 836-842.
- [3] 刘后利. 油菜遗传育种学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 46-58.
LIU Hou-li. Oilseed rape breeding[M]. Beijing: Publishing Company of Agricultural University of China, 2000: 46-58.
- [4] 任朝霞, 杨达源. 西北干旱区近 50 年气候变化特征与趋势[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(1): 99-102.
REN Zhao-xia, YANG Da-yuan. Trend and characteristics of climate change in arid region of Northwest China in recent 50 years[J]. *Journal of Earth Science and Environment*, 2007, 29(1): 99-102.
- [5] 高锋, 王宝书. 全球变暖与东北地区气温变化研究[J]. 海洋预报, 2008, 25(1): 25-30.
GAO Feng, WANG Bao-shu. A study on global warming and the temperature changes in the northeast region[J]. *Marine Forecasts*, 2008, 25(1): 25-30.
- [6] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
DING Yi-hui, REN Guo-yu, SHI Guang-yu, et al. National assessment report of climate change (I): Climate change in China and its future trend[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1): 3-8.
- [7] 林而达, 许吟隆, 蒋金荷, 等. 气候变化国家评估报告(II): 气候变化的影响与适应[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(2): 51-56.
LIN Er-da, XU Yin-long, JIANG Jin-he, et al. National assessment report of climate change (II): Climate change impacts and adaptation[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(2): 51-56.
- [8] 于淑秋. 近 50 年我国日平均气温的气候变化[J]. 应用气象学报, 2005, 16(6): 787-793.
YU Shu-qiu. The change of daily temperature during recent 50 years in China[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2005, 16(6): 787-793.
- [9] 张英娟, 董文杰, 俞永强, 等. 中国西部地区未来气候变化趋势预测[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(2): 342-349.
ZHANG Ying-juan, DONG Wen-jie, YU Yong-qiang, et al. A prediction of trend of the future climate change in the Western China[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2004, 9(2): 342-349.
- [10] 葛道阔, 金之庆. 气候及其变率变化对长江中下游稻区水稻生产的影响[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(1): 57-64.
GE Dao-kuo, JIN Zhi-qing. Impacts of climate change and its variability on rice production in the middle and lower valley of the Yangtze River, China[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2009, 23(1): 57-64.
- [11] 蔡佳熙, 管兆勇, 高庆九, 等. 近 50 年长江中下游地区夏季气温变化与东半球环流异常[J]. 地理学报, 2009, 64(3): 289-302.
CAI Jia-xi, GUAN Zhao-yong, GAO Qing-jiu, et al. Summertime temperature variations in the middle and lower Yangtze River and their related circulation anomalies in the eastern hemisphere in the past five decades[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(3): 289-302.
- [12] 陈特固, 曾侠, 钱光明, 等. 华南沿海近 100 年气温上升速率估算[J]. 广东气象, 2006, 3: 1-5.
CHEN Te-gu, ZENG Xia, QIAN Guang-ming, et al. Estimation on the warming rate at south China coastal areas over last 100 years[J]. *Guangdong Meteorology*, 2006, 3: 1-5.
- [13] 宁亮, 钱永甫. 中国年和季各等级日降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1010-1020.
NING Liang, QIAN Yong-fu. Analyses on trends of annual and seasonal four kinds of daily precipitation in China[J]. *Plateau Meteorology*, 2008, 27(5): 1010-1020.
- [14] 张金玲, 王冀, 甘庆辉. 1961—2006 年江淮流域极端降水事件变化特征[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(7): 3089-3091.
ZHANG Jin-ling, WANG Ji, GAN Qing-hui. Temporal and spatial

- variation characteristics of extreme precipitation events in the Yangtze and Huaihe River of China from 1961 to 2006[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2009, 37(7):3089-3091.
- [15] 梅伟, 杨修群. 我国长江中下游地区降水变化趋势分析[J]. 南京大学学报, 2005, 41(6):577-589.
- MEI Wei, YANG Xiu-qun. Trends of precipitation changes in the middle and lower Yangtze River, China[J]. *Journal of Nanjing University*, 2005, 41(6):577-589.
- [16] 杨金虎, 林志红, 王鹏祥, 等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1):75-83.
- YANG Jin-hu, JIANG Zhi-hong, WANG Peng-xiang, et al. Temporal and spatial characteristic of extreme precipitation event in China[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2008, 13(1):75-83.
- [17] 陈辉, 施能, 王永波. 长江中下游气候的长期变化及基本态特征[J]. 气象科学, 2001, 21(1):44-53.
- CHEN Hui, SHI Neng, WANG Yong-bo. Climate secular change and base state over the mid-lower reaches of Yangtze River[J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2001, 21(1):44-53.
- [18] 王冀, 林志红, 严明良, 等. 1960—2005年长江中下游极端降水指数变化特征分析[J]. 气象科学, 2008, 28(4):384-388.
- WANG Ji, JIANG Zhi-hong, YAN Ming-liang, et al. Trends of extreme precipitation indices in the mid-lower Yangtze River valley of China during 1960—2005[J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2008, 28(4):384-388.
- [19] 徐宗学, 赵芳芳. 黄河流域日照时数变化趋势分析[J]. 资源科学, 2005, 27(5):153-158.
- XU Zong-xue, ZHAO Fang-fang. Variation of sunlight radiation duration in the Yellow River Basin[J]. *Resources Science*, 2005, 27(5):153-158.
- [20] 柳艳菊, 闫俊岳, 宋艳玲. 近50年南海西沙地区的气候变化特征研究[J]. 地理科学, 2008, 28(6):804-808.
- LIU Yan-ju, YAN Jun-yue, SONG Yang-ling. Features of climate change over the Xishan Island over the South China Sea in recent 50 years[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(6):804-808.
- [21] 秦大河. 中国气候与环境演变(上)[J]. 资源与环境发展, 2007, 3:1-4.
- QIN Da-he. Climate and environment change in China (I)[J]. *Resources Environment and Development*, 2007, 3:1-4.
- [22] 高懋芳, 邱建军, 刘三超, 等. 我国低温冷冻害的发生规律分析[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(5):1167-1172.
- GAO Mao-fang, QIU Jian-jun, LIU San-chao, et al. Spatio-temporal pattern of cold frost damage in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(5):1167-1172.
- [23] 冯宗炜. 中国酸雨对陆地生态系统的影响和防治对策[J]. 中国工程科学, 2000, 2(9):5-11.
- FENG Zong-wei. Impacts and control strategies of acid deposition on terrestrial ecosystems in China[J]. *Engineering Science*, 2000, 2(9):5-11.
- [24] 中国农业部. 新中国农业60年统计资料[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- Chinese Ministry of Agriculture. Agricultural statistic data of recent 60 years in China[M]. Beijing: Chinese Agricultural Publishing Company, 2009.
- [25] 廖要明, 周小蓉. 气候变化对我国烟草生产及其适生地选择的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(4):137-138.
- LIAO Yao-ming, ZHOU Xiao-rong. Effects of climatic change on tobacco yield and the selection of its adaptive region in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(4):137-138.
- [26] 杜鹏, 关泽群. 气候变化及其对农业的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(16):4898-4899.
- DU Juan, GUAN Ze-qun. Climate change and its impact on agriculture[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2007, 35(16):4898-4899.
- [27] 殷艳, 廖星, 余波, 等. 我国油菜生产区域布局演变和成因分析[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(1):147-151.
- YIN Yan, LIAO Xing, YU Bo, et al. Regional distribution evolution and development tendency of Chinese rapeseed production[J]. *Chinese Journal of Oil Crops Sciences*, 2010, 32(1):147-151.
- [28] 王栓全, 刘冬梅. 渭北旱塬甘蓝型油菜北移的实践与认识[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(3):74-78.
- WANG Shuan-quan, LIU Dong-mei. Research of the remove winter oilseed rape in the Weibei Rainfed Highland[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1994, 12(3):74-78.
- [29] 朱维民. 江淮地区冬季气候变化对油菜、柑桔、小麦生产的影响[J]. 中国农业气象, 1995, 16(6):28-31.
- ZHU Wei-min. Probability feature of drought duration in Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Agricultural Meteorology*, 1995, 16(6):28-31.
- [30] 孙万仓, 马卫国, 雷建明, 等. 冬油菜在西北寒旱区的适应性和北移的可行性研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12):2716-2726.
- SUN Wan-cang, MA Wei-guo, LEI Jian-ming, et al. Study on adaptation and introduction possibility of winter rapeseed to dry and cold areas in Northwest China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(12):2716-2726.
- [31] Morrison M J, Stewart D W. Heat stress during flowering in summer Brassica[J]. *Crop Science*, 2002, 42:797-803.
- [32] Kutcher H R, Warland J S, Brandt S A. Temperature and precipitation effects on canola yields in Saskatchewan, Canada [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150:161-165.
- [33] 张学昆, 张春雷, 廖星, 等. 2008年长江流域油菜低温冻害调查分析[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(1):122-126.
- ZHANG Xue-kun, ZHANG Chun-lei, LIAO Xing, et al. Investigation on 2008 low temperature and freeze injury on winter rape along Yangtze River[J]. *Chinese Journal of Oil Crops Sciences*, 2008, 30(1):122-126.
- [34] 梁骏, 郑有飞, 李璐, 等. 酸雨对土壤酸化和油菜中后期生长发育的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3):1043-1050.
- LIANG Jun, ZHENG You-fei, LI Lu, et al. Effects of acid rain upon soil acidization and growth/development of rape crop in its middle-late stages[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3):1043-1050.
- [35] Upreti DC, Mahalaxmi V. Effect of elevated CO₂ and nitrogen nutrition on photosynthesis, growth and carbon-nitrogen balance in *Brassica juncea*[J]. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 2000, 184:271-276.
- [36] Högy P, Franzaring J, Schwadorf K, et al. Effects of free-air CO₂ enrichment on energy traits and seed quality of oilseed rape[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 139:239-244.