

全球气候变化影响 我国大豆生产的利弊分析

金之庆 葛道阔 陈华 郑喜莲

(江苏省农业科学院, 南京 210014)

摘 要

采用作物模拟模型与气候变化情景耦合的方法,评价了全球气候变化对我国东北、华北和长江中下游平原大豆、产量和灌溉量的影响;还结合若干成功的农业气候指标和计算方法,分析了研究区域未来夏播大豆种植北界的地理位移,以及水分条件和大豆品质方面的变化等。对 CO_2 浓度增加的直接生理影响也进行了考虑。

关键词 气候变化;大豆生产;作物模拟模型

前 言

作者等^[1,2]曾采用大气环流模型(GCMs)与作物模拟模型耦合的方法,并结合若干农业气候指标,评价了未来气候变化对我国南方水稻以及对北方冬小麦生产的影响。本文是上述研究的姊妹篇,目的在于勾划全球气候变化影响我国大豆生产的轮廓。

一、本研究的意义

中国是栽培大豆的起源国家,本世纪30年代之前,为世界最大的大豆生产国。此后大豆生产在美国、巴西和阿根廷等国家发展迅速,在我国却徘徊不前。目前我国大豆种植面积已退居世界第三位,总产量列第四位^[3]。这种状况与“大豆王国”的称号很不协调。鉴于

* 国家自然科学基金资助项目“全球气候变化对我国粮食生产的影响”的一部分。承高亮之研究员指导,盖钧镒教授和潘铁夫研究员对本文初稿提出宝贵意见,特此致谢。

本文于1993年9月8日收到。

This paper was received on Sep. 8, 1993.

大豆具有很高的营养与经济价值,而我国又拥有丰富的品种和环境资源,许多有识之士提出了“重振大豆王国”的口号。本文拟通过评价全球气候变化影响我国大豆生产的研究,为上述观点提供科学依据。本研究之所以重要,还因为:①80年代以来,我国大豆主产区已出现持续增温趋势^[4],并且随着温室效应的不断加强,这种趋势将继续发展^[5];②大豆光合作用对CO₂浓度增加的反应至为敏感^[6],而这一点尚未引起足够重视。

二、我国大豆生产现状和农业生态系统描述

我国大部分地区都能满足大豆生长发育和产量形成对热量的要求,但大豆作物实际分布还受到降水量和耕作制度的制约^[7,8,9];年降雨量1,000mm的等值线是大致划分我国水稻与旱作的界线;而500mm等值线又是决定大豆能否大面积种植的分水岭。因此我国大豆生产主要集中在东北和华北平原(见表1)。长江中下游素以种植水稻为主,但大豆作物仍散见于纵横阡陌之间,加上耕作水平较高,其面积与产量均占全国第三位。鉴于以上理由,本文将集中评价未来气候变化对以上三个种植区大豆生产的影响。

表1 中国大豆主产区有代表性的站点、种植面积和总产占全国的百分比(1991年^[10])

Table 1 Percentages of land use and overall outputs of soybean in 3 main producing areas, China (according to statistics of 1991)

种植区 Growing area	有代表性地点 Representative site	面积 Area(%)	总产 Output(%)
东北平原春播大豆区 Northeast China Plain	黑河、哈尔滨、长春、延吉、沈阳	40.5	45.1
华北平原夏播大豆区 North China Plain	北京、石家庄、郑州、济南、徐州	27.5	25.8
长江中下游春夏播大豆区 Mid. & Low. of Yangtze R.	南京、合肥、武汉	14.0	14.8
合计 Sum		82.0	85.7

东北平原大豆生长季内温度适中、日照充裕、雨热同步,加之土壤肥沃,十分有利于大豆生长和优良品质的形成;但其北部热量不足常造成冷害,较长的光周期亦只适合种植感温性强和生育期短的品种。华北平原北部为半干旱、南部为半湿润地区,大豆多接冬小麦种植,雨热光同季亦为本区气候一大优点;但结荚期气温偏高,降水量不均致使旱涝频仍,常造成产量不稳。长江中下游平原属湿润性气候,生长季气温居高不下,常导致热害;阴湿寡照又使大豆易染病虫害。

材料和方法

一、作物模型

1. SOYGRO(大豆生长模型)概述

SOYGRO 是由美国佛罗里达州立大学 Jones 等^[11]研制的以日为模拟时间单元、以植

物生理学为基础的大型作物模拟模型。早期的 SOYGRO 主要用于描述大豆作物的碳、氮平衡和产量形成等生理过程,后来又相继增加了物候发育^[11]和土壤水分平衡^[12]等模块,形成了 SOYGRO V5.42。它不仅模拟自然条件(天气、土壤、纬度等),还能模拟管理措施(灌溉、施肥、播期、密度等)和遗传特性等因子对大豆生长发育与产量形成的影响。该模型迄今已在一些大豆生产国得到验证。但应当指出,SOYGRO 5.42 是为在正常生长条件下的大豆作物设计的,因此它并不能模拟在高温和高 CO_2 浓度下大豆的生长发育和产量形成。为此,美国环境保护署(US EPA)组织有关专家对其作了改进,使之成为能应用于气候变化影响评价研究的一种有效工具。下文为方便计,仍称这种经改进的模型为 SOYGRO。

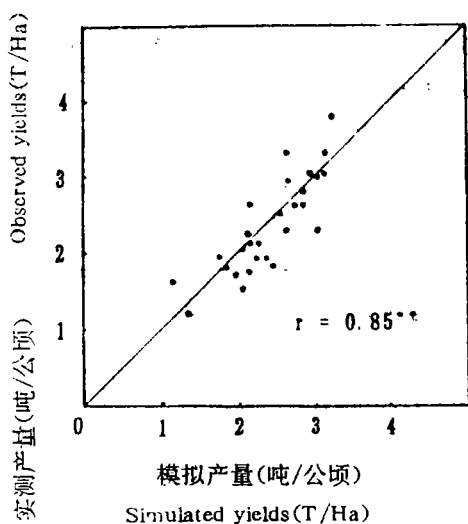


图1 SOYGRO 的模拟产量与实测值之比较

Fig. 1 Comparison between simulated SOYGRO yields and observed yields

对 SOYGRO 进行了灵敏度分析,以判明各气候要素的变化在影响大豆产量方面所起的作用。具体做法是:①假定各地未来生长季的增温幅度(ΔT)依次为 0°C 、 $+2^\circ\text{C}$ 和 $+4^\circ\text{C}$,降水量变幅(ΔP)分别为 0 、 -20% 和 $+20\%$,②利用上述增(变)幅对各地逐日历史气候资料进行订正,使每个地点都得到 9 种气候变化的简单组合(见表 2),③在各组合下分别运行 SOYGRO,可得到当气候要素改变时大豆模拟产量的变化百分比(与当前气候,即 $\Delta T = 0^\circ\text{C}$, $\Delta P = 0$ 的情况相比)。表 2 以哈尔滨和武汉为例,给出灵敏度分析的结果。

由表 2 可见:当 $\Delta P = 0$ 且 $\Delta T = +2^\circ\text{C}$ 时,哈尔滨灌溉大豆的模拟产量较之当前产量的模拟值提高了,但增温 4°C 反不如增温 2°C 有利;在武汉,当 $\Delta P = 0$ 时,即使增温 2°C ,亦造成模拟产量下降,而增温 4°C 则造成产量锐减,这显然与当前哈尔滨热量不足、武汉过剩有关。在雨育方式下,当 $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ 且 $\Delta P = -20\%$ 时,不论是哈尔滨还是武汉,模拟产量都下降了;当 $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ 且 $\Delta P = +20\%$ 时,两地的模拟产量都较之当前值提高;如果 $\Delta T =$

2. 遗传参数的确定和模型的验证

在应用 SOYGRO 对我国大豆生产进行气候影响评价之前,先输入各地连续种植三年以上的大豆试验资料和同期、同地的天气、土壤资料,采用“试错法”^[13]对当地有代表性品种的遗传参数加以确定,同时对 SOYGRO 在我国大豆主产区的适用性亦进行了广泛验证。图 1 给出了供试品种的模拟产量与实测值之比较,说明 SOYGRO 在研究区域是适用的。

3. 灵敏度分析

全球气候变化主要表现在增温和降水类型的改变上。因此还

+4℃且 $\Delta P = -20\%$,则造成严重减产。以上结果表明,采用 SOYGRO 作为评价我国气候变化影响的工具是合适的。

表 2 当气候条件改变时,SOYGRO 模拟产量的变化百分比(未计 CO₂ 浓度的直接影响)

Table 2 SOYGRO percent change in yield with varied climatic conditions
(direct effects of CO₂ were not included)

地 点 Site	ΔP	$\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = +2^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = +4^{\circ}\text{C}$
哈尔滨 Harbin	0%①	0	3.1	1.0
	+20%②	2.1	2.8	-1.4
	-20%②	-4.6	-6.4	-12.8
武汉 Wuhan	0%①	0	-9.7	-24.3
	+20%②	13.4	-11.0	-39.0
	-20%②	-13.4	-34.1	-56.1

①自动灌溉方式, Automatic irrigation; ②雨育方式, Rainfed

4. CO₂ 浓度增加对大豆的直接生理影响

除气候变化自身的影响(CC)外,本文还考虑了大气 CO₂ 浓度变化对大豆光合作用的影响,又称为直接影响或生理影响(PE),考虑了光合作用订正系数。

在高 CO₂ 浓度下,当温度处于最适至上限范围时,大豆光合作用将增强。因为叶片内外浓度梯度增大有利于 CO₂ 分子被光合反应吸收利用,结果有更多的 CO₂ 分子进入叶片。参照文献^[14],本文取 CO₂ 倍增时(指有效倍增,即浓度为 555ppm,因为这时 CO₂ 和其他痕量气体的综合效应相当于 CO₂ 倍增的效果)大豆光合作用的订正系数为 1.21。即是说,当模拟倍增条件下大豆光合速率时,以这个参数简单地乘以常态浓度下(330ppm)的光合速率。

二、区域性气候变化情景

在前述灵敏度分析中给出的气温增幅(ΔT)和降水量变幅(ΔP)带有很大的随意性。即使对它们的取值与国际上权威的估计值相一致(如美国科学院和 IPCC 曾估计,当 CO₂ 倍增时全球平均气温将上升(1.5—4.5℃),亦不足可取。因为这类估计值所指的是全球气候要素的年平均变化,区域不同、季节不同,都会各有所异。因此本文采用国际上通用的 GISS、GFDL 和 UKMO 三种 GCMs 在各网格点上的输出结果,并结合各地 20—30 年的逐日气候资料,由计算机程序自动生成当 CO₂ 倍增时研究区域的气候变化情景。有关生成这些区域性气候变化情景的方法和步骤,可参见文献^[16]。

在 3 种情景中,以 UKMO 最为“极端”,GFDL 相对“温和”,而 GISS 在我国北方“温和”,在南方则相当“极端”^[17]。各种情景的不一致性增加了评价结果的不确定性。根据现有知识,尚无法确认哪种情景较为可信,亦无法弄清它们今后可能出现的概率。因此本文强调利用 3 种情景同时进行分析,然后比较其异同。凡趋势一致的,即认为今后出现的可能性较大,反之则较小。

三、若干农业气候指标与方法

1. 气候的干湿变化

采用大豆生长季的蒸散比(β)作为衡量各地气候干湿状况的指标^[18],即

$$\beta = \Sigma ET / \Sigma ET_0 \quad (\beta \leq 1) \quad (1)$$

其中, ΣET 为雨育条件下大豆生长期的实际蒸散量, ΣET_0 同期蒸散力。 ET_0 的计算方法仍采用 Priestly-Taylor 方程;而 ET 则为土壤实际蒸发量(E_s)与群体实际蒸腾量(E_p)之和。 E_s 取决于土壤温度和表层可供蒸发的水分, E_p 是根长密度与土壤含水量的函数^[12]。 β 值愈大,说明实际蒸散量愈接近蒸散力,可供蒸散的水分越多,地面越湿润;反之越干燥。通过比较各地在当前气候以及在不同气候变化情景下的 β 值,即可估计研究区域未来气候的干湿变化。

2. 夏播大豆种植北界的迁徙

我国夏播大豆的种植北界实质上也是冬小麦的种植北界,因为研究区域的夏播大豆一般都以冬小麦为前茬作物。某个地区只有满足种植冬小麦的热量条件,方可于麦收之后夏播大豆。本文援引作者等^[2]在确定我国冬小麦种植北界时采用的热量指标,对各地的 3 种气候变化情景进行查询,并据此估计当 CO_2 倍增时我国夏播大豆种植北界的迁徙。

3. 水分利用效率(WUE)的变化

大豆的 WUE 可定义为^[15]:

$$WUE = Y_c / ET \quad (2)$$

其中 Y_c 为籽粒产量,采用 SOYGR0 的模拟值; ET 为全生育期的实际蒸散量,由 SOYGR0 的输出值给出。通过对当前和不同情景下的 WUE 进行比较,即可了解它未来变化的趋势。

4. 大豆品质的变化

含油量、蛋白质含量和油分碘值是衡量大豆品质优劣的主要数量指标。本文采用前人归纳出的一些简单经验式,对我国大豆品质的变化进行评价:①5—9 月平均温度每升高 $1^\circ C$,大豆含油量下降 0.28%^[7](注:黑龙江省北端因目前热量不足,含油量较低,故不在此列);②5—9 月平均温度每升高 $1^\circ C$,蛋白质含量增加 0.561%^[18];③6—9 月平均温度每升高 $1^\circ C$,大豆油分碘值减少 1.98^[18],据此可计算各地在不同情景下的含油量、蛋白质含量和油分碘值,并与当前气候条件下的模拟值相比较。

四、资料来源

作物资料取自研究区域 13 个有代表性地点连续种植三年以上的大豆生态或品种区域试验,包括播期、种植密度、行株距、成熟期、籽粒产量等,分别由中国农科院作物所、气象所、油料所,吉林省农科院、黑龙江农垦科学院和江苏省农科院等单位提供;同期的天气资料由当地气象台站提供;20—30 年的逐日气候资料取自北京气象中心资料室出版的《中国地面气象记录》和《中国太阳辐射资料逐年日值》。各地有代表性土壤类型,根据文献^[19,20],并参照与作物资料相匹配的土壤资料加以确定;反映不同深度土层特性的剖面资料取自自己发表的有关土壤调查的出版物。

结果与分析

拟分两种情况讨论:①气候变化单独的影响(CC);②气候变化和 CO_2 浓度增加的综

合影响(CC+PE)。在模拟大豆产量时,还考虑雨育和自动灌溉两种供水方式。

一、气候变化对干湿状况的影响

当 CO_2 倍增时,由于气温增高、降水类型改变以及蒸散作用加强,研究区域大豆生长季干湿状况将发生变化。地点不同,情景不同,都会有不同的结果。在 UKMO 情景下,整个研究区域的平均 β 值由当前的 0.91 下降到 0.86,有变干的趋势;在 GISS 和 GFDL 情景下,平均 β 值均为 0.89,与当前值相差不大。如按分区讨论,东北平原在 3 种情景下,变化趋势较为一致:北部(黑河、哈尔滨)生长季的平均 β 值由当前的 0.99 下降到 0.95,南部(沈阳、延吉)由 0.95 下降到 0.90,而中部(长春)与当前值(0.95)基本持平,说明东北平原的北部和南部有变干趋势,但不严重。华北平原生长季的 β 值视不同情景而异:在 GISS 和 GFDL 情景下, β 值维持现有水平(0.93);在 UKMO 情景下,下降至 0.87。其中北京、石家庄在 UKMO 情景下变干、郑州在 GFDL 情景下变湿的趋势都很明显,这主要与这些情景中降雨量的变化有关。在长江中下游,GFDL 和 UKMO 情景下的 β 值与当前值(0.76)基本持平;但在 GISS 情景下, β 值却下降到 0.71。其中武汉下降到 0.51,旱象明显。这主要是因为 GISS 情景下,生长季的降水量明显减少^[16]。

二、气候变化对产量的影响

1. 气候变化的单独影响(CC)

1) 雨育大豆

在 3 种气候变化情景下,除黑河和长春外,其他地点的模拟产量都较当前值(BASE)下降。其中以 UKMO 情景下的减幅最烈,平均为 -26.8%;其次为 GISS 和 GFDL 情景,分别为 -13.6% 和 -10.9%。如按区域划分,以长江中下游减幅最大,3 种情景下的平均产量较 BASE 下降了 29.5%;华北和东北平原次之,分别为 -21.6% 和 -4.3%。在每一种情景下,南方减产程度甚于北方的趋势都很明显。

造成各地大豆模拟产量下降的原因不尽相同。在东北平原,哈尔滨在 3 种情景下模拟产量较之 BASE 平均下降了 4.5%,原因一是生长季模拟降雨量减少,使水分供求之间产生矛盾;二是增温缩短了生育期,使鼓粒期灌浆不充分。哈尔滨之所以减产幅度较小,与增温改善了目前热量不足的状况有关。沈阳和延吉在 3 种情景下,模拟产量都呈下降趋势(平均下降 24.6~33.8%),主要因为大幅度增温(6℃)使当前推广品种的适生环境受到破坏,不仅生育期缩短,而且光合作用、结荚和籽粒生长等都受到压抑。在华北平原,除个别地点和个别情景外,模拟产量大多呈下降趋势。减产的主要原因是高温、尤其是结荚期的高温造成花荚脱落,座荚率降低。长江中下游模拟产量下降 24.7%~32.0%,原因是当前生长季的气温已经很高,大幅度增温将使大豆作物丧失良好的生存条件。如武汉目前 7 月份平均气温已达 28.8℃,月降雨量为 156mm,按 GISS 情景,当 CO_2 倍增时气温将在此基础上增加 6.6℃,降雨量亦减少 5 成^[16],因此模拟产量下降了 76.8%。

和上述结果相反,长春在 GISS 和 GFDL 情景下,模拟产量增加了 6.8%,原因是该地生长季模拟降水量未见明显减少;黑河在 3 种情景下模拟产量都较之 BASE 大幅度增加(30.8~53.8%),主要是因为该地目前热量不足的状况得到了改善。

2) 灌溉大豆

选择自动灌溉方式运行 SOYGRO 的结果表明,东北平原北部的模拟产量较之 BASE 增加而南部减少。如黑河在 3 种情景下,模拟产量平均增加了 54.9~63.9%,哈尔滨在 GISS 和 GFDL 情景下增产 3.8~6.1%,长春在 3 种情景下也增产 10.0~15.9%。说明当水分不是限制因素时,变暖的气候有利于我国高纬地区大豆产量的提高;在水分条件可能变差的哈尔滨,良好灌溉条件将有利于大豆增产。但在纬度较低的其他各点,尽管在 3 种情景下灌溉大豆的减产幅度较之雨育大豆均有所降低,但和 BASE 相比仍减产明显。以上结果说明在这些地区,良好的灌溉条件只能缓和、但不能补偿因增温带来的负效应。

2. 气候变化和 CO_2 增加对产量的综合影响(CC+PE)

如果考虑 CC+PE,不论是选择雨育还是自动灌溉方式,也不论是选择哪种气候变化情景,东北和华北平原所有地点的模拟产量都大幅度增加。按情景划分,在 GISS 情景下,13 个点的雨育大豆较之 BASE 平均增产 31.6%,灌溉大豆为 36.7%;在 GFDL 情景下,雨育大豆增产 32.9%,灌溉大豆 34.7%;在 UKMO 情景下,雨育大豆和灌溉大豆分别增产 14.5%和 30.2%。如按区域划分,在 3 种情景下,东北平原雨育大豆平均增产 33.9%,灌溉大豆 40.7%;华北平原雨育大豆和灌溉大豆分别增产 30.4%和 37.9%;长江中下游雨育大豆和灌溉大豆分别增产 7.1%和 15.9%。例外的是武汉,雨育大豆在 GISS 和 UKMO 情景下,分别减产 57.3%和 11.0%,灌溉大豆在 GISS 情景下仍然减产 3.4%。由此可见, CO_2 浓度增加可以在很大程度上补偿或抵消高温造成的减产效应,对我国东北和华北平原的大豆生产尤为有利,对长江中下游平原的大部分地区,也是利多于弊。

三、对灌溉需要量的影响

当 CO_2 倍增时,如果仅考虑 CC,在 3 种气候变化情景下,研究地区大多地点的灌溉需要量(WD)都增加了。按区域划分,东北的 WD 较之 BASE 增幅最大(平均 44.8%),这可能与该区增温幅度较大,以及当前温度较低、BASE 的基数较小有关;其次是长江中下游(平均 28.7%)和华北平原(12.1%),后者之所以增幅较小,与某些地点在某些情景下模拟降雨量增加不无关系。按气候变化情景划分,在极端的 UKMO 情景下,所有各点的 WD 都增加了,平均增幅为 68.1%,原因是大幅度增温加剧了作物的蒸散作用,在某些降雨量可能减少的地区(例如哈尔滨),尤其如此。在 GISS 和 GFDL 情景下,各地 WD 的变化不一,一般在模拟降雨量减少的地区,WD 呈增加趋势,反之也成立。较为特殊的是武汉在 GISS 情景下 WD 增加一倍多,原因是增温幅度较大,降水量又锐减;郑州在 GFDL 情景下 WD 减少了 59.3%,主要是因为模拟的年降水量明显增加。

如果考虑 CC+PE,在不同情景下各地 WD 的变化趋势与上述情形大致相同,在数量上则有过之而无不及。这也许是因为产量提高了,叶面积较大,需要更多的灌溉水。

四、夏播大豆种植北界的位移

我国夏播大豆的种植北界目前东起辽东半岛南缘,经渤海沿长城西行,接岷山、大雪山(见图 2 实线)。当 CO_2 倍增时,北界的位置如图 2 虚线所示。以上结果说明随着气候变暖,在辽宁省南半部将会逐渐推行以“冬小麦+夏大豆”为主的耕作制度,以取代目前一年一季的春小麦或春大豆。

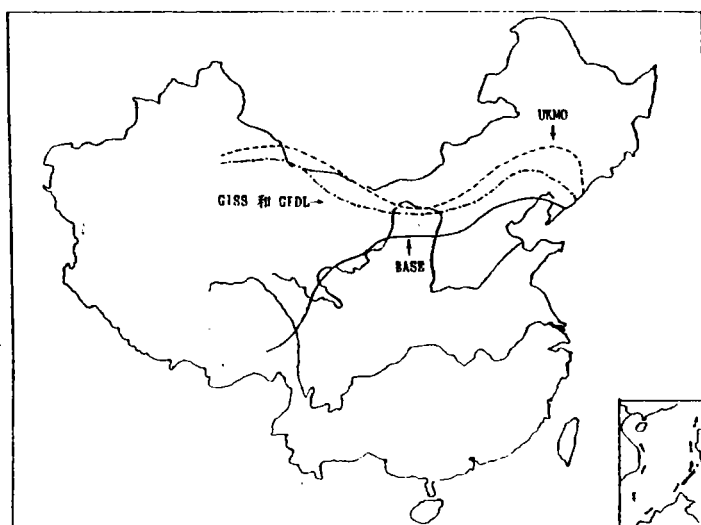


图 2 当 CO_2 倍增时,我国夏播大豆的种植北界

Fig. 2 The northern limits for summer sowing soybean in China when CO_2 doubled

五、对大豆品质的影响

随着温度升高,我国大豆品质性状亦将发生变化。总的说来,含油量和油分碘值除在黑龙江因热量条件改善略有提高外,在其余各地均有下降趋势;蛋白质含量在所有地点都有增加趋势。在 GISS 情景下,13 个点的模拟含油量平均下降 1.16%;模拟蛋白质含量平均增加 2.32%;模拟油分碘值平均减少 5.86。在 GFDL 情景下,含油量平均下降 1.38%;模拟蛋白质含量增加 2.76%;而模拟油分碘值减少 4.91。在 UKMO 情景下,模拟含油量和蛋白质含量的变化百分比分别为 -2.23%, +4.46%, 而油分碘值则减少 8.01。如按区域划分,东北平原在三种情景下,模拟含油量平均下降 1.68%,模拟蛋白质含量平均增加 3.36%,模拟油分碘值平均减少 6.65。在华北平原,上述 3 项指标的平均变幅依次为 -1.51%, +3.03% 和 -5.84;在长江中下游为 -1.57%, +3.15% 和 -6.29。显然,变化较大的是东北平原,其次才是长江中下游和华北平原。

结 语

下述结果有助于理解全球气候变化对我国大豆生产有利与不利的影响:

1. 当 CO_2 倍增时,如果仅考虑 CC,增温对研究区域北部黑龙江和吉林省的大豆生产是有利的,但对其以南的广大地区、特别是对长江中下游的大豆生产,将造成不利影响。
2. 在气候可能变干的某些高纬地区(如哈尔滨),良好的灌溉条件可以提高大豆产量;但在中低纬地区,灌溉只能在一定程度上缓和、却不能弥补因高温带来的减产效应。
3. 如果考虑 CC + PE,在东北和华北平原,雨育和灌溉大豆的模拟产量都大幅度增加;但在长江中下游增产幅度较小,有些地点(如武汉)在某些气候变化情景下(如 GISS),

甚至会减产。

4. 我国夏播大豆的种植北界将向高纬地区推进 3—5 个纬度,这意味着夏大豆的种植面积将扩大,各地的复种指数将提高。

5. 如果考虑 CC+PE,我国大豆作物的 WUE 在东北和华北平原将明显提高,在长江中下游平原无明显改善,甚至有所下降。

6. 大幅度增温会造成我国大豆品质在某些方面下降,如含油量和碘值降低。但蛋白质含量却提高了,考虑到大豆是植物蛋白的主要来源,因此对改善我国食物结构有利。

总之,在未来 50 年内,全球气候变化对我国松辽平原和华北平原的大豆生产是有利的,对长江中下游平原不利因素较多。考虑到前者是我国大豆的主产区,因此利大于弊。

参考文献

- [1] 金之庆、葛道阔等,南京林业大学学报(生态专辑),1991,10: 17--28
- [2] 金之庆、方娟等 1991,作物学报,2: 186—197
- [3] 张桐,世界农业,1993,5: 64
- [4] 章基嘉、徐祥德等,1993,中国农业气象,2: 11—16
杨继武,1992,气候变化与作物产量,中国农业科技出版社
- [5] 高亮之、金之庆,1994,江苏农业学报,2: 1—12
- [6] Rose, E. . 1989, The Potential effects of Global Climate Change on the United States. Appendix C — Agriculture. U.S. EPA, Washington, (3), 7—1—7—7
- [7] 潘铁夫,1989,大豆气象,农业出版社,北京
- [8] 吕世霖、程舜华等,1981,山西农业大学学报,1(1): 10—17
- [9] 卜慕华、潘铁夫,1982,大豆科学,1(2): 105—121
- [10] 中国农业年鉴,1992,农业出版社
- [11] John Hanks and J. T. Retchie (edi.), Modeling Plant and Soil Systems, 1991, Madison, Wisconsin, U.S. A
- [12] Ritchie, J. T. , A user — oriented model of the soil water balance in wheat. In: E. Fry and T. K. Atkin (eds). Wheat Growth and Modeling. 1985. Plenum Publishing Corporation, NATO—ASI Series, 293—305
- [13] Jones, J. W. , K. J. Boote, G. Hoogenboom, S. S. Jagtap and G. G. Wilkerson, SOYGRO V5. 42—Soybean Crop Growth Simulation Model User's Guide, 1989, University of Florida
- [14] Peart, R. M. , J. W. Jones, R. B. Curry, K. Boote, L. H. Allen, Jr. , The Potential Effects of Global Climate Change On the United State—Report to Congress. 1989, U.S. EPA, Washington. 2—1—2—54
- [15] Priestly, C. H. B. and R. J. Taylor, On the assessment of surface heat and evaporation using large scale parameters. Monthly Weather Review 100: 81—92, 1972
- [16] 金之庆、陈华等,1992,中国农业气象,(5): 13—20
- [17] 陆渝蓉、高国栋,1982,农业气象,(3): 14—18
- [18] 丁振麟,1956,作物学报,4(4): 313—320
- [19] 中国科学院南京土壤研究所,1986,中国土壤图集,9—18,地图出版社,北京
- [20] 熊毅、李庆远,1987,中国土壤(第二版),12—19,科学出版社,北京

POSITIVE AND NGATIVE EFFECTS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON SOYBEAN PRODUCTION IN CHINA

Jin Zhiqing Ge Daokuo Chen Hua Zheng Xilian

(Jiangsu Academy of Agricultural Sceinces)

Abstract

Using an approach to link crop simulation model and climate change scenarios, the effects of global climate change on soybean, yield and irrigation requirement in the North-east China Plain, the North China Plain and the Middle and Lower Valley of the Yangtze River were evaluated. Besides, changes in the northern limit for summer-sowing soybean, moisture condititon and soybean quanlity were analyzed, interms of several successful agroclimatic indices and mathematical methods. The direct effects of CO₂ on soybean yield were also considered.

Key words Climate change; Soybean production; Crop simulation

《中国农业科学》1995 年征订启事

《中国农业科学》是中国农业科学院主办的综合性农牧业科学学术刊物。主要报道我国农牧业科学在基础理论和应用技术研究方面的学术论文,重要科研成果的专题报告,各学科研究的新进展和综述等。读者对象是国内外农牧业科技工作者和院校师生。农业生产战线上的干部等。

本刊为双月刊,每册 16 开本 96 页,另附图版 2—4 页。国内发行每册定价 6.80 元,全年 40.80 元。全国各地邮局办理订阅,代号:2—138。

国外发行由中国国际图书贸易总公司(中国国际书店)承办,代号:BM 43

本刊承接国内外广告业务。