

大豆在黑龙江省的生态适应性及种植格局

刘 丹, 杜春英, 于成龙

(黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨, 150030)

摘 要:在近几年黑龙江省气温增加、降水量又无明显变化的气候背景下,以黑龙江省为研究对象,基于生态适宜性评价的基本理论,利用 GIS 技术、模糊数学等方法,通过构建研究区大豆生态适宜性评价模型,研究了大豆在黑龙江省的种植格局。结果如下:大豆适宜在黑龙江省大部分地区种植。把大豆的生态适宜性由高到低分为 4 个级别:最适宜、适宜、较适宜和不适宜。最适宜种植大豆的区域主要分布在黑河地区南部、齐齐哈尔市东部、绥化地区东北部的部分县(市),以及哈尔滨东部、牡丹江北部和鸡西西部部分地区,其总面积达 1 150 hm²,占研究区总面积的 21.30%。该项研究可为地区种植模式的优化和大豆产业化的调整提供更为客观的、灵活性的参考。

关键词:黑龙江;大豆;种植格局

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2008)03-0433-04

Ecological Adaptability Evaluation and Planting Division of Soybean in Heilongjiang Province

LIU Dan, DU Chun-ying, YU Cheng-long

(Heilongjiang Province Institute of Meteorological Sciences, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: Under the background of rising temperature and unobviously changing precipitation in recent years in Heilongjiang Province. Based on the theory of ecological adaptability evaluation, GIS technology and fuzzy mathematics, planting structure of soybean in Heilongjiang Province was studied through constructing evaluation model of ecological adaptability. Results showed that soybean was suitable in the large areas in the whole province. The ecological adaptability of soybean was divided into four grades, they are optimum, suitable, comparatively suitable and unsuitable. The most suitable areas were 1150 ha and occupied 21.30% of the whole Province, which included the south of Heihe, the east of Qiqihaer and Harbin, the northeast of Suihua, the north of Mudanjiang and the west of Jixi. This study maybe provide an objective and flexibility reference for regional adjustment of planting structure and optimization of planting pattern.

Key words: Heilongjiang Province; Soybean; Planting division

根据某一地区特定的环境条件,及时地对当地主要农作物的生态适应性进行有效的综合评价,对该地的农业生产将具有重要的指导意义^[1]。黑龙江省作为我国最大的大豆生产省份,其种植面积、总产量、单产量以及商品量都居全国各省市之首^[2],在近几年黑龙江省气温增加、降水量又无明显变化的气候背景下^[3],为进一步提升黑龙江省的大豆品质和单产,提高大豆的生产效益和农民种植大豆的积极性^[4-5],有必要依据近 30 年气候资料来重新划分大豆的种植区域,以期对地区种植模式的优化和大豆产业化的调整提供更为客观的、灵活性的参考。

另外,目前在对农作物生态适宜性评价和种植区划的研究上,多数集中于只考虑气候因素^[6-7],而忽略了影响农作物生长发育的其它因子,尤其是有时起决定性作用的土壤因子^[8-9]。且多数作物生态适宜性评价无论在生态因子的选择上,还是在作物和地区的选择上都比较单一,所采用的数学模型简单,因子权重的确定方法人为干扰因素大,且在种植格局研究中缺乏精确的地理信息数据的支撑,因此其结论存在一定的局限性。针对上述问题,基于生态适宜性评价的基本理论,利用 GIS 技术、模糊数学等方法,以黑龙江省为研究对象,通过构建研究区大豆生态适宜性评价模型,利用层次分析法确定各指

收稿日期:2008-01-30

基金项目:黑龙江省科技厅资助项目(GB07B108);黑龙江省气象局重点技术研究资助项目(2D200603)。

作者简介:刘丹(1974-),女,博士,工程师,主要研究方向为生态工程。E-mail: nefuliudan@yahoo.com.cn。

标的权重,并对其进行种植格局的研究,从而实现黑龙江省大豆种植格局的划分。

1 研究区概况

黑龙江省位于中国的东北部,介于东经 $121^{\circ}11' \sim 135^{\circ}05'$,北纬 $43^{\circ}26' \sim 53^{\circ}33'$ 之间,全省土地面积(即研究区总面积)4542 万 hm^2 。全省耕地面积居全国第 1 位,东北部的三江平原、西部的松嫩平原,是中国最大的东北平原的一部分,平原占全省总面积的 37.0%,同时,该省土地肥沃,有机质含量高,黑土、黑钙土、草甸土面积占全省耕地总面积的 67.6%,是世界上有名的三大黑土带之一。

黑龙江属中温带到寒温带的大陆性季风气候,年平均气温在 $-4 \sim 5^{\circ}\text{C}$,年平均降水量 450 ~ 550 mm,年日照时数一般在 2300 ~ 2800 h。气温由东南向西北逐渐降低,南北差近 10°C 。夏季气温高,降水多,光照时间长,适宜农作物生长。

2 数据来源

应用的 1977 ~ 2006 年气象数据来自黑龙江省气象中心,此数据包括各地逐日太阳辐射、降水量、平均温度等数据。土壤分布的基础数据来自于“联合国粮食及农业组织”的官方网站(网址为: <http://www.fao.org/>)和《黑龙江省农业地图集》(1999)。

3 结果与分析

3.1 作物生态适宜性评价模型的建立

开展作物的生态适宜性评价研究,必须正确地筛选参加评价的生态指标,合理地确定权重,并采用适宜的评价方法。基于显著性、稳定性、主导性、区域差异性和可操作性原则,通过对大豆生态适应性资料的分析,并结合黑龙江省的实际,从众多生态因子中筛选出年积温($\geq 10^{\circ}\text{C}$)、产量形成期总辐射/ $\text{MJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、生育期降水量/ mm 、土壤 pH 值和土壤质地作为生态适宜性评价的基本指标,这些因子是在大豆生长发育过程中最重要、最普遍、且容易定量测量的因子。

另外,定义大豆在地域 k 的综合生态适宜性指数(以下简称综合适宜指数) EA_k 为:

$$EA_k = 1 - \sum_{i=1}^p EL_{ik} \times W_{ik}$$

式中: EA_k 的域值为 $[0, 1]$, EA_k 越小,大豆在地域 k 种植的生态适宜性越差, EA_k 越大,则生态适宜

性越好。 EL_{ik} 为单生态因子稀缺性指数, W_{ik} 为所对应的权重^[10]。

3.2 基于 GIS 的大豆种植区划分

土地评价单元同时决定着土地评价工作量的大小和评价成果的精度,利用 ARCGIS 软件的空间分析功能,将黑龙江省土壤图、地貌类型图、单生态因子分布图叠置获得土地评价单元。

3.2.1 单生态因子的量化 生态学上将生物在生长发育过程中适应所处特定环境的最大上、下限阈值和最适区的两端点称为作物的生态三基点。以较常用的大豆品种为参照确定的大豆生态因子适宜范围^[10](表 1)。其中土壤指标的量化是根据黑龙江省土壤质地,参照陈立亭^[11]的土壤肥力评分标准,将黑土、黑钙土、草甸土、白浆土、暗棕壤、沼泽土、棕色针叶林土、盐土分别依次赋予级别数值 8, 7, 6, ..., 1, 水体赋予数值为 0。其余各项因子指标均以 4 月下旬为基准进行量化的。

表 1 大豆生态因子适宜范围

Table 1 The suitable range of ecological factors for soybean

生态因子 Ecological factors	最低阈值 Lowest threshold	最适范围 Optimum range	最高阈值 Highest threshold
年积温 T($\geq 10^{\circ}\text{C}$)	2 000	2 300 ~ 2 600	3 600
产量形成期总辐射 R/ $\text{MJ}\cdot\text{cm}^{-2}$	300	1 350 ~ 10 000	10 000
生育期降水量 P/ mm	250	400 ~ 500	800
土壤 pH 值 Soil pH value	4	6.2 ~ 7.2	10
土壤质地 Soil texture	4	6 ~ 8	8

T: annual accumulated temperature, R: total radiation in yield formation stage, P: the precipitation in the growing season.

3.2.2 气候因子插值 由于收集的气象数据是单点气象测站的观测数据,只能代表其周围小范围气象要素,而黑龙江省土地面积较大,气象观测站相对稀少,要获得任意区域内局部的气象要素数据,利用邻近该区域气象站点的资料,通过插值生成研究区气象要素的空间分布图,是一种有效的解决方法。利用 ARCGIS 中的空间分析模块,选择研究区 81 个气象测站为样本,用普通克里格法对气温、降水量和辐射进行插值。

3.2.3 指标的无量纲化 大豆对生态因子的最适要求与生长地域实际存在的生态因子状况存在差

距,同时,各生态因子对大豆的作用又具有明显的异质性,相互之间不便于直接进行比较分析。文章根据大豆对生态因子需求的三基点原理,计算大豆对生态因子的最适要求与生长地域实际存在的生态因子状况的差距,即单因子生态距离。

记地域 k 生态因子 i 的状态值为 X_{ik} ,大豆对生态因子 i 的三基点要求为 X_{i1} (存活最低阈值), X_{i2} (生活最适范围下限值), X_{i3} (生活最适范围上限值) 和 X_{i4} (存活最高阈值)。则大豆在地域 k 关于生态因子 i 的单因子距离为:

$$Y_{ik} = \begin{cases} 1 & X_{ik} < X_{i1} \\ (X_{i2} - X_{ik}) / (X_{i2} - X_{i1}) & X_{i1} \leq X_{ik} < X_{i2} \\ 0 & X_{i2} \leq X_{ik} < X_{i3} \\ (X_{ik} - X_{i3}) / (X_{i4} - X_{i3}) & X_{i3} \leq X_{ik} < X_{i4} \\ 1 & X_{ik} > X_{i4} \end{cases}$$

式中: $i = 1, 2, \dots, p$ (p 为分析评价设计生态因子数)

$k = 1, 2, \dots, n$ (n 为参与分析评价的地域数)

3.2.4 单生态因子的稀缺性指数计算 单因子稀缺影响指数表示生态因子与作物需求差异对作物正常生长影响的大小。大量研究资料表明,作物单因子生态距离与生态因子稀缺对作物生长的实际影响并不是直线相关的关系,而呈曲线相关关系,且不同因子生态距离与其稀缺影响指数的关系也是不同的。在参照作物生态因子对作物生长发育及产量形成的关系模型,光^[12]和水分^[13]等生态因子生态距离与其稀缺性指数 EL_{ik} 的关系采用幕函数进行描述,对温度^[12]和土壤^[14]等生态因子生态距离与其稀缺性指数 EL_{ik} 的关系采用 S 型曲线进行描述。即:

$$EK_{ik} = (Y_{ik})^\alpha = \begin{cases} 2^{(\beta-1)} Y_{ik}^\beta & 0 \leq Y_{ik} \leq 0.5 \\ 1 - 2^{(\beta-1)} \times (1 - Y_{ik})^\beta & 0.5 \leq Y_{ik} \leq 1 \end{cases}$$

式中: α, β 为参数。在参照前人文献的基础上,确定大豆光、水分和土壤的 $\alpha = 0.7$, 温度的 $\beta = 2.8$ 。

利用作物生长指标的无量纲化公式和单生态因子的稀缺性指数计算公式,利用 ARCGIS 软件,得到大豆各单生态因子的分布图(图略)。

3.2.5 指标权重的确定 在大豆生态适宜性评价中,各参评因素因对适宜性的贡献大小不同而具有不同的相对重要性,这就需要采用合适的方法来确定其相应的权重。确定权重的方法很多,常见的有

专家征询法、主成分分析法、层次分析法、相关分析法、灰色关联分析法等,研究采用层次分析法(AHP)确定各参评因素的权重。AHP 法先以各因素相对重要性的定性分析为基础,然后把专家的经验数量化,进而定量确定各因素的权重。

由于在大豆单生态因子稀缺性指数的计算表明,研究区辐射对 3 作物的生长发育并未造成不良影响,因而,在确定指标权重时未考虑辐射。在所有评价指标中, $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温的权重最大(表 2),为 0.4615,其次为生育期降水量,权重值为 0.2778,土壤的控制作用较弱。

表 2 生态适宜性因子权重列表
Table 2 The weight list for ecological suitability factors 目标层

目标层 Target layer	变量总体 Variable		
Wa	A 1.0000		
准则层 Rule layer	年积温 T($\geq 10^\circ\text{C}$)	土壤 Soil	生育期降水量 P
Wb	B1 0.4615	B2 0.2607	B3 0.2778
方案层 Schematic layer	土壤质地 Soil texture	土壤 Ph 值 Soil ph value	
Wc	C1 0.4826	C2 0.5174	

T: annual accumulated temperature, P: the precipitation in the growing season.

3.2.6 综合生态适宜性区划 利用 ARCGIS 软件,将各个生态适宜性因子的稀缺性指数专题图进项矢量化,然后进行空间叠加,根据综合生态适宜指数模型,采用因子加权叠置法,得到大豆的综合生态适宜指数。

由于生态适宜性指数分级及量化的过程中往往不能非常确切地定量在某一准确的位置上,而是大体在某一范围内,即它具有一定的模糊性,再将多个因子综合起来,其模糊性更为突出。基于以上考虑,采用模糊聚类分析的方法,将各专题图叠置整合后的数据作为模糊集,从模糊集概念出发,进行模糊聚类分析。

叠置后根据新产生的叠置图和属性库中的参数,根据模糊聚类计算,应用 $l = 0.80$ 参数所得的 14 个类型,在根据近似原理进一步合并成生态适宜等级,形成大豆生态适宜性级别示意图(如图 1)。图中把大豆的生态适宜性分为 4 个级别,由高到低为:最适宜、适宜、较适宜和不适宜。

从大豆生态适宜性级别分布的空间特征可见,

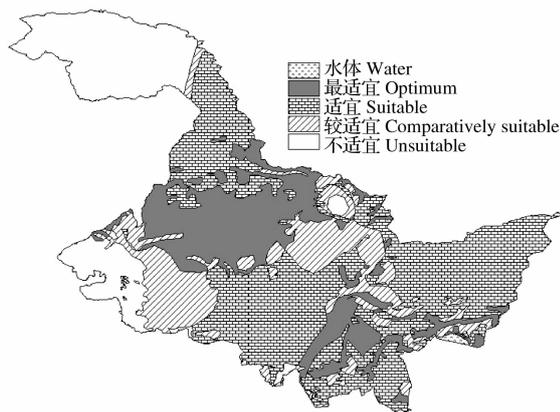


图1 黑龙江省大豆生态适宜性级别示意图

Fig.1 The schematic diagram about ecological suitability grade of soybean in Heilongjiang province

最适宜种植大豆的区域主要分布在黑河地区南部、齐齐哈尔市东部和绥化地区东北部的部分县(市),同时,哈尔滨东部、牡丹江北部和鸡西西部部分地区也很适宜种植大豆,其总面积达 1 150 hm²,占研究区总面积的 21.30%;适宜种植大豆的区域范围较大,分布于黑河地区北部、佳木斯、鹤岗、双鸭山、七台河地区、牡丹江南部地区以及哈尔滨地区,其总面积达 2 270 hm²,占研究区总面积的 42.14%;较适宜的区域主要分布在绥化地区西部、大庆地区以及伊春、鹤岗部分地区,其总面积达 940 hm²,占研究区总面积的 17.39%;除水体外的不适宜区域主要分布在大兴安岭大部齐齐哈尔西南部,其总面积达 1 017 hm²,占研究区总面积的 18.82%。

4 结论与讨论

一个地区内不同作物的生态适宜性存在一定的差异,是作物引种布局的主要依据。因此,对一个地区内各种作物的生态适宜性进行比较,确定各作物种植的生态理论比例,可以为作物种植提供生态基础上的指导。通过对大豆在黑龙江省生态适应性的研究和种植格局的划分,主要结论如下:

大豆适宜在黑龙江省大部分地区种植。最适宜种植大豆的区域主要分布在黑河地区南部、齐齐哈尔市东部和绥化地区东北部的部分县(市),同时,哈尔滨东部、牡丹江北部和鸡西西部部分地区也很适宜种植大豆,其总面积达 1 150 hm²,占研究区总面积的 21.30%;除水体外的不适宜区域主要分布在大兴安岭大部齐齐哈尔西南部,其总面积达 1 017 hm²,占研究区总面积的 18.82%。

在生态适宜性评价过程中,由于黑龙江省地形复杂、气候变率大、土壤类型多种多样,而土壤 pH 值数据又只限于定点调查数据,因而在具体数据处理过程中出现以点代面的现象,势必会造成一定的偏差。同时,在大豆生态适宜性评价过程中,研究尺度较为宏观,并未考虑某个适宜区内的微立地、光照等条件的差异性而出现部分地块并不适宜作物种植的情况。因此,评价成果不可避免地会出现一定的相对性,但是可以肯定的是,成果的相对性和空间的差异性并不影响成果整体的参考价值。

参考文献

- [1] 谢云. 国外作物生长模型发展综述[J]. 作物学报, 2002, 28(2): 47-52. (Xie Y. A review on the development of crop modeling and its application[J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(2): 47-52.)
- [2] 柏继云, 孟军, 吴秋峰. 黑龙江省大豆生产预警指标体系的构建[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(4): 568-572. (Bai J Y, Meng J, Wu Q F. Construction of pre-warning indexes system of soybean production in Heilongjiang province [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2007, 38(4): 568-572.)
- [3] 刘丹. 黑龙江省土地覆盖景观格局对气候变化响应的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007: 25-50. (Liu D. Study on the landscape pattern of land cover responds to climate change in Heilongjiang province [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2007: 25-50)
- [4] 胡国华, 陈庆山, 张锡铭. 黑龙江省大豆品质区划的探讨[J]. 大豆科学, 2006, 25(2): 118-122. (Hu G H, Chen Q S, Zhang X M. Discussing of soybean quality regionalization in Heilongjiang [J]. Soybean Science, 2006, 25(2): 118-122.)
- [5] 宁海龙, 张大勇, 胡国华, 等. 东北三省大豆蛋白质和油含量生态区划[J]. 大豆科学, 2007, 26(4): 511-516. (Ning H L, Zhang D Y, Hu G H, et al. Regionization of protein and oil content in soybean (*G. max* Merrill) in the northeast of China [J]. Soybean Science, 2007, 26(4): 511-516.)
- [6] 常青, 王仰麟, 李双成. 中小城镇绿色空间评价与格局优化——以山东省即墨市为例[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3701-3710. (Chang Q, Wang Y L, Li S C. Green space spatial assessment and pattern optimization for towns; a case study of Jimo in Shandong Province, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(9): 3701-3710.)
- [7] Zeyaur R, Khan, John A. Combined control of *Striga hermonthica* and stem borers by maize *Desmodium* spp intercrops [J]. Crop Protection, 2006, 25(9): 989-995.
- [8] Fabiola S, Koji H, Hadi A. Practical application of a land resources information system for agricultural landscape planning [J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 79(1): 38-52.

(下转第 441 页)

- [2] Fridovich I. Superoxide dismutase [J]. *Annual Review of Biochemistry*, 1975, 44: 147-159.
- [3] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学 [M]. 上海: 科学出版社, 1999: 375-380. (Yu S W, Tang Z C. *Plant physiology and molecular biology* [M]. Shanghai: Science Press, 1999: 375-380.)
- [4] 刘厚诚, 邝炎华, 陈日远. 缺磷胁迫下长豇豆幼苗膜脂过氧化及保护酶活性的变化 [J]. *园艺学报*, 2003, 30(2): 215-217. (Liu H C, Kuang Y H, Chen R Y. Changes of lipid peroxidation and activities of protective enzymes in asparagus bean seedling under phosphorus-deficiency stress [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2003, 30(2): 215-217.)
- [5] 潘晓华, 刘水英, 李锋, 等. 低磷胁迫对不同水稻品种叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响 [J]. *中国水稻科学*, 2003, 17(1): 57-60. (Pan X H, Liu S Y, Li F, et al. Effect of low-phosphorus stress on membrane lipid peroxidation and protective enzyme activities in rice leaves of different cultivars [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2003, 17(1): 57-60.)
- [6] 李锋, 李木英, 潘晓华, 等. 不同水稻品种幼苗适应低磷胁迫的根系生理生化特性 [J]. *中国水稻科学*, 2004, 18(1): 48-52. (Li F, Li M Y, Pan X H, et al. Biochemical and physiological characteristics in seedlings roots of different rice cultivars under low-phosphorus stress [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2004, 18(1): 48-52.)
- [7] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 59-60, 173-175. (Zou Q. *Guide of phytophysiological experiment* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 59-60, 173-175.)
- [8] 张宪政. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 5-96. (Zhang X Z. *Guide of phytophysiological experiment* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 5-96.)
- [9] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 5-8. (Zhang Z L. *Guide of phytophysiological experiment* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1990: 5-8.)
- [10] 孙彩霞, 刘志刚, 荆艳东. 水分胁迫对玉米叶片关键防御酶系活性及其同工酶的影响 [J]. *玉米科学*, 2003, 11(1): 63-66. (Sun C X, Liu Z G, Jing Y D. Effect of water stress on activity and isozyme of the major defense-enzyme in maize leaves [J]. *Journal of Maize Science*, 2003, 11(1): 63-66.)
- [11] 张士功, 刘国栋. 低磷和干旱胁迫对小麦生长发育影响的研究初探 [J]. *西北植物学报*, 2002, 22(3): 574-578. (Zhang S G, Liu G D. Effects of low-phosphorus and drought stresses on growing of wheat [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2002, 22(3): 574-578.)
- [12] 钟鹏, 宋占林, 李志刚, 等. 干旱和低磷胁迫对大豆叶保护酶活性的影响 [J]. *中国农学通报*, 2005, 21(2): 153-155. (Zhong P, Zhu Z L, Li Z G, et al. Effects of low-phosphorus and drought stresses on protective enzyme activities of soybean [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(2): 153-155.)
- [13] 张玉霞, 李志刚, 钟鹏. 缺磷胁迫对大豆膜脂过氧化及保护酶活性的影响 [J]. *中国农学通报*, 2004, 20(4): 196-198. (Zhang Y X, Li Z G, Zhong P. Influence of lipid peroxidation and activities of protective enzymes in soybean under phosphorus deficiency stress [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2004, 20(4): 196-198.)
- [14] Giannopolitis C N, Ries S K. Uperoxide dismutases. Purification and quantitative relationship with soluble protein in seeding [J]. *Plant Physiology*, 1977, 59: 315-318.
- [15] 蒋明义, 荆家海, 王韶唐. 渗透胁迫对水稻膜脂过氧化及体内保护酶系统的影响 [J]. *植物生理学报*, 1991, 17(1): 80-84. (Jing M Y, Jing J H, Wang S T. Influence of lipid peroxidation and activities of protective enzymes in rice under osmotic stress [J]. *Journal of Plant Physiology*, 1991, 17(1): 80-84.)
- (上接第 436 页)
- [9] 王丽霞, 任志远. 山西省大同市农业生态气候适宜度评价 [J]. *地理研究*, 2007, 26(1): 53-59. (Wang L X, Ren Z Y. Appraisal and analysis of agriculture eco-climatic amenity in Datong city of Shanxi province [J]. *Geographical Research*, 2007, 26(1): 53-59.)
- [10] 张静. 作物—地域多种组合中作物生态适宜性评价与权重配置方法的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2005: 15-39. (Zhang J. Study on the weight endowing and crops eco-adaptability evaluation in the in varies combinations of crops and regions [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005: 15-39.)
- [11] 陈立亭. 黑龙江省气候与农业 [M]. 北京: 气象出版社, 2004: 15-35. (Chen L T. *Climate and agriculture in Heilongjiang province* [M]. Beijing: Meteorological Press, 2004: 15-35.)
- [12] 王夫玉, 张洪程, 赵新华. 温光对水稻籽粒充实度的影响 [J]. *中国农业科学*, 2001, 34(4): 396-402. (Wang F Y, Zhang H C, Zhao X H. Study on the effects of temperature and illumination on grade of filled grain in rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(4): 396-402.)
- [13] 石惠恩, 李春喜. 小麦中后期灌溉对产量和营养品质的影响 [J]. *河南职业技术师范学院学报*, 1989, (Z1): 108-112. (Shi H E, Li C X. Effects of irrigation at middle final stage on the grain yield and nutrient quality of winter wheat [J]. *Journal of Henan Vocation-technical*, 1989, (Z1): 108-112.)
- [14] 黄策, 王天铎. 水稻群体物质生产过程的计算机模拟 [J]. *作物学报*, 1986, 12(1): 1-8. (Huang C, Wang T Z. Computer simulation of biomass production in rice community [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1986, 12(1): 1-8.)