

松嫩平原的粮食生产潜力分析及建议

杨 飞¹, 姚作芳², 刘兴土³, 闫敏华³

(1. 资源与环境信息系统国家重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院北京国家技术转移中心, 北京 100086; 3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012)

摘 要: 采用基于积因子位次数据赋值求权重方法改进的层次分析算法对松嫩平原各地区粮食生产潜力和主要影响因素贡献进行分析。研究结果表明: 松嫩平原粮食增产潜力最大的地区是哈尔滨、绥化和长春, 增产潜力最小的地区是黑河(该市所属的嫩江县、五大连池市和北安市属松嫩平原); 各地区粮食生产潜力存在差异的主要原因是各地区的水土资源和气候条件的不同, 两者的权重系数均为 0.28, 其次是科技投入, 其权重系数为 0.25。在松嫩平原地区, 粮食生产潜力影响最大的因素是各市的黑土面积比例, 其贡献系数为 0.22, 这是松嫩平原区别于其它地区的重要特点; 其次是作物生长期的平均气温, 再次是化肥的是施用量, 两者的贡献权重分别为 0.13 和 0.10。为有效增强松嫩平原地区的农业生产能力, 需要重点加强对黑土的保护和对农田水利基础设施建设, 加大农业科技投入和推广, 扩大适应气候变暖的高产作物和品种的种植面积。

关键词: 粮食生产潜力; 层次分析法; 积因子; 松嫩平原;

中图分类号: S162.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0207-06

Assessment of grain production potential in Songnen Plain and relevant suggestions

YANG Fei¹, YAO Zuo-fang², LIU Xing-tu³, YAN Min-hua³

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. The Beijing National Technology Transfer Center of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086, China; 3. Northeast Institute of Geography and Agro-ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012, China)

Abstract: Songnen plain production potential and contributions of its major impact factors were assessed by using analytic hierarchy process (AHP) method derived from Accumulation Factor Sequence Evaluating weight method. Recommendations and some suggestions were proposed based on the study results and the current situation of Songnen plain grain production. The study results showed that Harbin, Suihua and Changchun had the highest grain production potential, and Heihe City had the smallest one. Water and soil resource and climatic condition were major limit factors causing the difference of production potential, and contribution weight of both of them were 0.28. The second factor causing production potential difference was science and technology investment, and its contribution weight was 0.25. In Songnen Plain, black soil ratio was the largest factor determining the food production potential; its contribution weight was 0.22. Average temperature and fertilizer use were also the important factors for food production potential, and their contribution weights were 0.13 and 0.10. In conclusion, to improve food production, it is very important to enhance the protection of black soil and strengthen the construction of farmland water conservancy infrastructure, to increase investment and promote application of agricultural science and technology, and to expand the planting area of high - yield crop or species that adapted well to the climate warming.

Keywords: food production potential; AHP; accumulation factor; Songnen plain

粮食生产潜力, 也可以称为理论潜力, 它是假设耕作技术、管理水平等都处于最佳状态时的生产能力, 粮食生产潜力具有时空性, 即粮食生产潜力具有作物生产所需的气候条件都得到满足, 劳动力投入、

收稿日期: 2012-12-13
基金项目: 中国博士后基金(07Z7602CZ1); 国家环保部公益性重大项目(201009017)
作者简介: 杨 飞(1981—), 男, 山东枣庄人, 博士, 助理研究员, 研究方向为农业生态、环境遥感。E-mail: yangf00_i@163.com。

明显的区域差异性 or 随经济技术等条件的改变而变化^[1]。

粮食安全问题日益突出,粮食生产潜力研究备受关注,我国学者对此方面研究也比较关注。竺可桢^[2]首次讨论了光能对粮食潜力的影响;陈明荣^[3]认为水分是作物生长中一个十分重要和活跃的生态因素;陈阜等^[4]运用田间定位试验、高产田块调查及理论公式测算等多角度方法,得到春小麦产量与降水、风速、温度、日照等 8 个气象因子间的回归模型,并计算不同年代不同作物的生产潜力。近年来,作物生产潜力模型不仅局限于气候潜力的研究,而且也扩展到其它的相关领域。申元村^[5]、周锁铨等^[6]在气候生产潜力的基础上用土壤有效系数订正气候生产潜力;尚新明^[7]应用 Miami 模型系统分析了定西地区气候资源生产潜力及其利用率。目前总体上已经形成由光合潜力、光温潜力、光温水潜力到土地生产潜力的经验——机理模型和成熟的计算流程^[8-9],并被广泛地应用到不同尺度的粮食或土地的生产潜力评价中^[1,10],这些研究结果对认识农田生产潜力和指导生产实践起了重要作用。也有研究表明,粮食生产潜力不仅受光照、气温、水分、土地等多种自然因素的直接影响,同时也受化肥、农药、农业管理等科技因素的重要影响^[11-14],这些影响指标在不同尺度、不同地区的贡献也有明显差异^[15]。曾希柏等^[16]认为化肥施用量对粮食单产贡献作用非常大,并依据二者关系认为今后我国的化肥应该重点考虑投向中部和西部地区。因此,科学准确分析各种农业生产影响因子的贡献作用,综合评估区域内农田作物生产潜力,明确作物生产力的开发前景及其影响作物生产潜力的限制性因子的影响作用,对农业生产和粮食安全具有重要的理论指导意义。

层次分析法(AHP)是 20 世纪 70 年代中期由 Saaty T L 提出的一种定性与定量相结合的决策分析方法^[17]。层次分析法是在深入分析实际问题的基础上,将有关的各个因素按照不同属性自上而下地分解成目标层、准则层和指标层,构造出递阶层次结构模型^[17-19],进而对各要素重要性进行赋值,然后构造成对比矩阵,计算权重和组合权向量,以此进行评价分析^[20]。由于层次分析法具有的系统性、灵活性、实用性等特点特别适合于多目标、多层次、多因素的复杂系统决策,近年来已被广泛地应用于社会^[21-22]、经济^[23]、军事^[24]、规划^[25]等很多领域的评价分析,但层次分析法(特别是基于积因子位次求权

重的方法)在评价粮食生产潜力及其各主要因素的贡献方面的应用还鲜见报道。

本研究根据松嫩平原各地区粮食生产的实际情况,除考虑气候条件、水土资源等自然条件外,还分析了科技投入、生产规模和种植结构等因素,利用积因子位次赋值求权重的层次分析法对松嫩平原各地区的粮食生产潜力及各因素的贡献进行排序,从各种错综复杂的粮食生产影响因素中找出主要因子,为准确评价松嫩平原粮食生产的潜力及各因素影响作用提供科学支持。

1 研究区与方法

1.1 研究区概况

松嫩平原位于东北地区中部,是东北三大平原之一。松嫩平原行政区划包括黑龙江省 36 个市县、吉林省 18 个市县,地跨 9 个地级市(如图 1)。全区面积 2 375 万 hm^2 ,其中耕地面积 1 008.82 万 hm^2 。松嫩平原内的贯穿南北的肥沃黑土带是世界上三大黑土区之一,光热资源和过境河水量丰富,为该区农业生产提供了良好的基础,成为我国最为重要的商品粮豆基地。在全国粮食总产量最高的 10 个县(市),松嫩平原占 8 个县(市)^[26]。2008 年松嫩平原的粮食产量占东北地区粮食总产的 47.11%,占全国粮食总产的 11.89%。

1.2 研究方法

本研究中采用的积因子位次求权重的层次分析法对松嫩平原内各地区的粮食生产潜力和影响因素的贡献进行分析,即:采用积因子位次数据赋值求权重方法来代替传统的专家打分方法^[27]。该方法将影响粮食生产的各种因素划分成相互联系的有序目标层和指标层,利用积因子位次赋值求权重法分别计算了目标层的每个因素的各个指标的权重,进而反过来计算目标层各个因素的综合权重,并进行指标的单排序和层次的总排序,同时基于目标层的各个因素的综合权重来评价松嫩平原各地区的粮食生产潜力。该方法最大程度上避免了传统的专家打分等方法主观判断可能造成的决策失误,使用幂函数乘积代替线性加权,具有保序性^[27]。

在基于积因子位次赋值求权重层次分析方法对松嫩平原各地区粮食生产潜力评价的指数体系中,目标层为各地区的粮食生产潜力综合指数,考察因素包括生产规模、水土资源、科技投入、气候条件和种植结构,即为准则层因素。指标层,由反映准则层的具体指标和数据组成,包括黑土面积比例、水资源

总量、农业从业人口、粮食总播种面积、化肥使用量、有效灌溉面积、农用机械总动力、作物生长季(5—9月)≥10℃的积温、作物生长期降水量、作物生长期日照时数、作物生长期的平均气温、玉米的播种面积、水稻的播种面积、大豆的播种面积等 15 个指标,建立的层次分析结果如图 2。

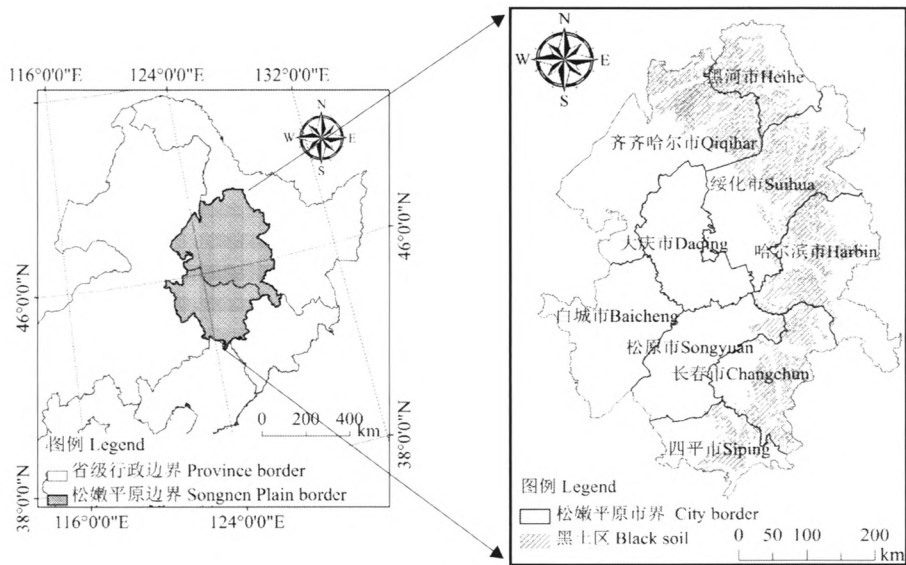


图 1 松嫩平原示意图
Fig.1 The location of Songnen Plain and Black soil area

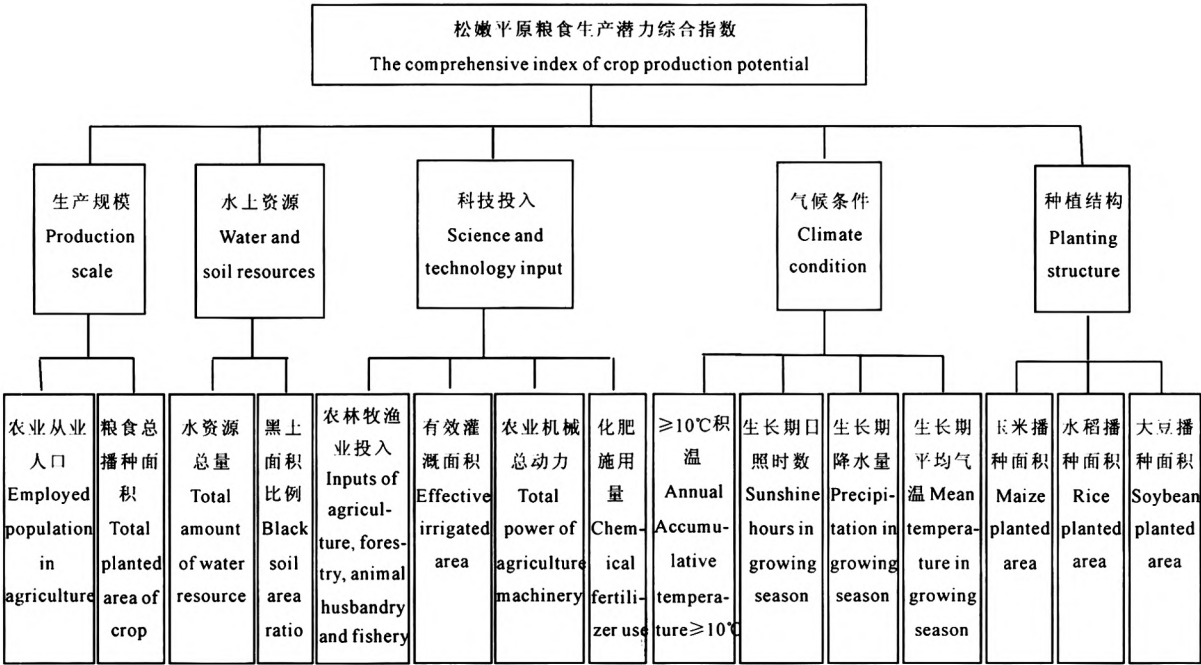


图 2 粮食生产潜力的层次分析结构
Fig.2 The AHP structure of crop production potential

积因子位次赋值求权重层次分析方法对于因素指标呈现同趋势或可以转化为同趋势数据的情况时,方法简单易行,同时结果切合实际^[27]。该方法的主要思想和过程是:

(1) 构造层次结构模型并对指标层数据进行预

处理。根据实际问题,将指标层的因素分别记为 $c_1, c_2, \dots, c_n$, n 为指标层因素的个数,在本文中有 14 个生产要素,因此 $n = 14$,同时因为有 14 个地区,所以每个 c_i 都是一个含有 14 个数据的向量。对每一个指标的数据进行同趋势处理,即保证各指标的元素在

反映指标的优劣时是同向的,将此数据称为位次数据(即由它所处的位置和次序可以反映对应元素在整个指标中的重要性)。同趋势处理的方法通常是对逆序数据采用变换 $c_i' = \frac{1}{c}$ 或 $c_i' = 1 - c$, 然后利用下式对数据进行无量纲变换,消除各因素量纲对指标的影响,

$$x_i = \frac{c_i' - c_{\min}'}{c_{\max}' - c_{\min}'} \quad (1)$$

式中, c_i' 表示将 c_i 进行同趋势处理后的数据; $c_{\max}'$, $c_{\min}'$ 分别为该组数据的最小值和最大值。把对 $c_1, c_2, \dots, c_n$ 进行上述处理后的数据记为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 则 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 即为进行决策分析时的基础数据。

(2) 指标层数据属性值的获得。从指标层入手,需要确定各层因素的属性值,即反映每个方案对应应该因素的重要性程度的量。取 x_i 排序后的位次值来反映其重要性的程度,即为对应的属性值。在排序时为了防止波动过大,也将因素确定为 1 ~ 9 共 9 个等级,即最大值对应第 9 级,最小值对应第 1 级,其他按数据大小在 1 ~ 9 中填充。所得结果记为 x_{ij}' , 即为第 i 个 ($i = 1, 2, \dots, 15$) 指标第 j 个 ($j = 1, 2, \dots, 9$) 地区的属性值。

(3) 计算准则层的属性值,并同时给出指标层因素相对于准则层因素的权重。由于每一个准则层因素都对应由若干个同趋势的指标层因素来反映,所以,可以选择指标层因素的属性值的算术平均数反映该准则层因素的属性值。即

$$u_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} x_{ij}'}{n_k} \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中, k 表示准则层第 k 个因素; m 表示准则层准则的个数; n_k 为第 k 个准则层所包含的指标的个数; x_{ij}' 为隶属于第 i 个指标第 j 个地区的属性值。利用积因子方法给出各指标的权重。由

$$u_k = \prod_{i=1}^{n_k} x_{ij}'^{\alpha_i} \quad (k = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

利用回归方法求出 α_i , 并对其进行 F 检验和 T

检验。 α_i 反映了 x_{ij} 对第 k 个准则的权重,令 $\sum_{i=1}^{n_k} \alpha_i =$

α , 则 $a_i' = \frac{\alpha_i}{\alpha}$ 为第 i 个指标值对相应准则的权重。再

由 $y_k = \sum_{i=1}^{n_k} a_i' x_{ij}$ 确定的值即为第 k 个准则的数值。同时也将 y_k 按数据大小在 1 ~ 9 中填充,所得结果

记为 y_k' , 即为第 k 个准则的属性值。

(4) 计算目标层的属性值,并同时给出各指标和各准则因素的权重。其计算均由其对应的下层因素得到

$$v = \frac{\sum_{k=1}^m y_k'}{m} \quad (4)$$

$$v = \prod_{k=1}^m (y_k')^{\beta_k} \quad (5)$$

$$\text{令} \quad \sum_{k=1}^m \beta_k = \beta, \beta_k' = \frac{\beta_k}{\beta} \quad (6)$$

$$\text{得} \quad v' = \sum_{k=1}^m \beta_k' y_k, \gamma = \alpha_i \beta_k (i = 1, 2, \dots, n_k) \text{ 表示}$$

第 k 个准则下第 i 个指标相对于目标层指标的权重。由目标层的数据或属性值可以确定每个方案的优劣,而各级权重则可反映其在上一级指标中所占的比重或所起到的重要性。

1.3 数据来源

各指标的数据均来自《2009 年黑龙江省统计年鉴》、《2009 年吉林省统计年鉴》及松嫩平原各个气候站点的 2008 年的气候数据,各气候要素为 2008 年 5—9 月的数据,本研究中对采用指标均进行同趋势处理,利用 MATLAB 软件进行迭代运算,利用 SPSS 软件进行回归估计计算。

2 结果与分析

2.1 松嫩平原各地区粮食综合生产潜力

根据表 1 可知,总体上,松嫩平原地区水土资源、气候条件和科技投入是三大主要的生产要素。各地区粮食生产潜力存在差异的主要原因是各地区水土资源和气候条件不同,这两大影响因素的权重较大共占了 0.56。各个影响因素对粮食生产潜力的贡献权重中,贡献系数最大是水土资源中的黑土面积的比例(当地的黑土面积/当地的粮食播种面积)其贡献系数达到了 22%,其次是气候条件中的作物生长期的平均气温(13%)和科技投入中化肥的使用量(10%)及有效灌溉面积(9%)。

松嫩平原是世界著名的三大黑土带之一,该区域的黑土在农业粮食生产中扮演了非常重要的角色,这是与其它区域的显著区别。平均气温和化肥使用量依然是农业粮食生产中重要的贡献因子。松嫩平原西部地区属于典型的干旱半干旱地区,水资源较为缺乏,农业灌溉在该地区中的粮食增产中也起到重要的作用。

表 1 综合系数权重

Table 1 The weight of the comprehensive coefficients

生产要素 Production factors	生产规模 Production scale	水土资源 Water and soil resources	科技投入 Science and technology input	气候条件 Climate condition	种植结构 Planting structure	贡献系数 Contribution coefficients	总排序 Sequence
综合权重 Comprehensive weight	0.12	0.28	0.25	0.28	0.07		
农业从业人口 Employed population in agriculture	0.69					0.08	5
粮食总播种面积 Total planted area of crop	0.31					0.04	8
水资源总量 Total amount of water resource		0.20				0.06	7
黑土面积比例 Black soil area ratio		0.80				0.22	1
农林牧渔业投入 Inputs of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery			0.06			0.01	10
有效灌溉面积 Effective irrigated area			0.31			0.09	4
农业机械总动力 Total power of agriculture machinery			0.22			0.06	7
化肥使用量 Chemical fertilizer use			0.41			0.10	3
≥ 10℃ 积温 Accumulative temperature ≥ 10℃				0.27		0.07	6
生长期日照时数 Sunshine hours in growing season				0.13		0.04	8
生长期降雨量 Precipitation in growing season				0.14		0.04	8
生长期平均气温 Mean temperature in growing season				0.48		0.13	2
玉米播种面积 Maize planted area					0.52	0.04	8
水稻播种面积 Rice planted area					0.10	0.01	10
大豆播种面积 Soybean planted area					0.38	0.03	9

表 2 粮食综合生产潜力排序

Table 2 The sequence of crop production potential

地 区 Area	粮食生产潜力 综合指数 Comprehensive index of crop yield production potential	粮食潜力指数排序 Sequence of crop yield production potential	区域分类 Area classification
哈尔滨 Harbin	0.82	1	较高粮食生产潜力地区 High potential area
绥化 Suihua	0.73	2	较高粮食生产潜力地区 High potential area
长春 Changchun	0.71	3	较高粮食生产潜力地区 High potential area
齐齐哈尔 Qiqihar	0.68	4	一般粮食生产潜力地区 Normal potential area
四平 Siping	0.50	5	一般粮食生产潜力地区 Normal potential area
松原 Songyuan	0.45	6	一般粮食生产潜力地区 Normal potential area
白城 Baicheng	0.40	7	较低粮食生产潜力地区 Low potential area
大庆 Daqing	0.28	8	较低粮食生产潜力地区 Low potential area
黑河 Heihe	0.17	9	非常低的粮食生产潜力地区 Very low potential area

由表 2 可看出,哈尔滨、绥化和长春具有较高的粮食生产潜力综合指数,可划分为较高粮食生产潜力地区,依次地将齐齐哈尔、四平、松原划分为一般粮食生产潜力地区,白城、大庆属于较低粮食生产潜力地区,黑河是非常低的粮食生产潜力地区。

哈尔滨市粮食潜力系数之所以排第一,不仅气候条件优于其它地区,各种生产规模和投入量也大于其它地区,而且哈尔滨地区水资源最为丰富为 124.24 亿 m^3 。黑河市位于松嫩平原的最北面,日平均气温最低,降水量较少,且径流年内分配极不均匀,丰、枯水流量相差悬殊,以致丰富的水资源无法得到合理利用;另外黑河地区的农业投入也最少,2008 年黑河市农业投入仅 1.2 亿元,只相当于哈尔滨市的 1/14(哈尔滨市的农业投入达 17.2 亿元),黑河市处于黑龙江省北部边远地区,流域开发较晚,农田水利工程基础设施薄弱,这些都是制约黑河市农业发展的因素。

2.2 增加粮食产量的对策建议

粮食是天下安全的战略物资,是人类赖以生存和社会发展的基础,确保国家粮食安全,乃是构建国家安全总体战略、构建和谐社会的基本前提。松嫩平原作为我国主要的商品粮生产基地在确保国家粮食安全方面起着举足轻重的作用。为了积极响应国家的千亿斤粮食规划,确保松嫩平原粮食稳步增产,以下几个方面不容忽视:

(1)加强黑土耕地的保护和农田水利工程基础设施建设。耕地是粮食生产的基础,耕地面积多少在很大程度上决定着粮食产量。中国 21 世纪初可持续发展纲要指出:“加强耕地保护和基本农田建设,防止耕地质量退化,确保粮食安全”。松嫩平原地处我国的典型的黑土区,黑土资源丰富,但目前黑土退化严重,建议根据世界上对黑土带保护利用与我国黑土综合治理的经验,进一步立项实施黑土保护工程,通过水土流失综合治理、耕地质量恢复与肥力定向培育等措施,大力提高粮食综合生产能力。

(2)应不断加大农业科技的投入和推广,不断改善农业生产条件,增强农业的发展后劲。松嫩平原粮食生产大县的农村农技推广站虽然还存在,但缺少工作条件,没能发挥应有的作用。建议实施公益性和市场化双轨制的技术推广体制和多元化的推广模式,完善和健全农技推广网络体系。通过大面积推广应用先进适用技术,进一步发挥科技对粮食增产的支撑作用。同时,要有效发挥农业院校和科研机构在农业科技推广工作中的作用。

(3)科学地调整作物种植结构和品种布局,扩大

适应气候变化的高产作物和品种的种植面积。气候变暖和生长期延长对松嫩平原粮食产量带来一些有利条件,因此,根据水热条件的变化,科学地调整种植结构,进一步扩大高产作物的种植比例。《黑龙江省千亿斤粮食生产能力战略工程规划》中提到,到 2015 年,全省的玉米播种面积将稳定在 360 万 hm^2 左右,将在 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温为 $2600^\circ\text{C} \sim 3000^\circ\text{C}$ 的县建设优质专用玉米生产基地;全省水稻面积将由目前的 225.3 万 hm^2 增至 266.67 万 hm^2 ,并改善水田面积 57.27 万 hm^2 。吉林省在增产百亿斤商品粮能力建设总体规划中也提出要在该省西部新增水田面积 17 万 hm^2 。在品种布局上,各省都规划了适应不同积温带的主推品种。今后,还应该依据未来气候变化的情景,大力培育和推广新品种,扩大适应气候条件变化的高产新品种的种植面积。

3 结 论

积因子位次求权重的层次分析法可以成功地应用于粮食生产潜力评价分析。研究表明,松嫩平原地区的黑土对粮食生产起到非常大的促进作用,这是松嫩平原区别于其它地区的一个重要因素;平均气温和化肥使用量这两个重要因素依然是松嫩平原农业生产的重要影响因素。在松嫩平原,哈尔滨、绥化、长春属于粮食生产潜力最大的地区,黑河地区是非常低的粮食生产潜力地区。

在松嫩平原,为了保障和提高粮食生产能力,需要重点加强对黑土带的保护和农田水利基础设施建设,不断加大农业科技的投入和推广,扩大适应气候变暖的高产作物和品种的种植面积。

参 考 文 献:

- [1] 党安荣,阎守邕,肖春生.地理信息系统在中国粮食生产研究中的应用[M].北京:中国农业科技出版社,1998.
- [2] 竺可桢.论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系[J].地理科学,1964,11(3):21-26.
- [3] 陈明荣.秦岭地区气候的生产潜力[J].西北大学学报,1979,13(1):10-17.
- [4] 陈 阜.武川旱农区农田水分生产潜力研究[J].干旱地区农业研究,1995,13(4):14-18.
- [5] 申元村.土地人口承载力研究理论与方法探讨[J].自然资源学报,1990,(1):21-26.
- [6] 周锁铨,戴 进,姚小强.土地生产潜力和人口承载力方法的研究[J].自然资源,1992,(6):56-62.
- [7] 尚新明.定西地区气候资源生产潜力及土地人口承载力分析评价[J].农业系统科学与综合研究,1997,13(4):293-294.
- [8] 石玉林,陈百明.中国土地资源生产能力及人口承载力研究[M].北京:中国人民大学出版社,1991:248-250.

(下转第 266 页)

5 结 论

1) 系统以霍尔传感器、红外光电传感器作为播种监测传感器,灵敏度为 0.1356 s,声光报警系统的漏播报警率为 100%,能满足及时补种的需要。系统响应速度快、可靠性高、抗干扰能力强。

2) 系统补种率为 90%,补偿后的漏播率小于 1%,并几乎不受播种速度的影响。

3) 该漏播补偿系统可以应用在勾链式马铃薯播种机的多种机型上,每套系统之间相互独立,能够及时准确地完成多行播种的漏播检测及补种。

参 考 文 献:

- [1] 杜宏伟,尚书旗,杨然兵,等.我国马铃薯机械化播种排种技术研究[J].农机化研究,2011,33(2):214-217,221.
- [2] 周桂霞,张国庆,张义峰,等.2CM-2型马铃薯播种机的设计[J].黑龙江八一农垦大学学报,2004,16(3):53-56.
- [3] 刘小娟,张书,黄信兵.2CMFL-2型马铃薯种植机排种器的设计研究[J].农业机械,2008,25:48-49.
- [4] 李明金,许春林,李连豪,等.2CM-4型马铃薯播种施肥联合作业机的研制[J].黑龙江八一农垦大学,2012,24(1):14-16.
- [5] 李士军,宫鹤,顾洪军,等.具有自动补种功能的机械精密播种系统研究[J].吉林农业大学学报,2011,33(1):106-109.
- [6] 郑一平,花有清,陈丽能,等.水稻直播机播种监测器研究[J].农业工程学报,2005,21(4):77-80.
- [7] 胡少兴,马成林,张爱武,等.采用运动图象处理检测排种器充填性能[J].农业工程学报,2000,16(5):56-59.
- [8] 冯全,栗震霄,吴建民,等.免耕播种机高抗尘排种监测器的设计与试验[J].农业机械学报,2006,37(9):68-70.

- [9] 何培祥,杨明金,陈建,等.光电控制电磁振动排种器的研究[J].农业工程学报,2003,19(5):83-86.
- [10] 李洁,赵立新,毕建杰,等.小麦双线精播智能控制系统的设计[J].农业工程学报,2012,28(增刊1):134-140.
- [11] 金衡模,高焕文.玉米精播机漏播补偿系统设计[J].农业机械学报,2002,33(5):44-47.
- [12] 龚丽农,员玉良,尚书旗,等.小区播种机电控系统设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(5):122-126.
- [13] 李明,丁幼春,廖庆喜.气力式油菜精量排种器田间漏播检测方法[J].农业工程学报,2010,26(增刊):27-31.
- [14] 张锡智,李敏,孟臣.精密播种机智能监测仪的研制[J].农业工程学报,2004,20(2):136-139.
- [15] 张晓辉,赵百通.播种机自动补播式监控系统的研究[J].农业工程学报,2008,24(7):119-123.
- [16] 史智兴,高焕文.排种监测传感器的试验研究[J].农业机械学报,2002,33(2):41-43.
- [17] 张晓辉,赵秀珍,李法德,等.精密播种机工况自动监控及播量数显系统的研制[J].农业工程学报,1997,13(2):169-172.
- [18] 周桂霞,张国庆,张义峰,等.2CM-2型马铃薯播种机的设计[J].黑龙江八一农垦大学学报,2004,16(3):53-56.
- [19] 张晓辉.播种机工艺性故障自动监控系统的研制[J].农机化研究,1996,(4):31-33.
- [20] 焦俊生,储金字,马国斌.红外光电开关在杨树对靶喷雾机中的应用[J].农机化研究,2005,5(3):216-217.
- [21] 刘鹏,李小昱,王为.基于光电传感器和示踪法的径流流速测量系统的研究[J].农业工程学报,2007,23(5):116-120.
- [22] 史智兴,高焕文.光电传感器抗尘性能量化技术与应用[J].农业机械学报,2003,34(3):86-88.
- [23] 全迪,张禾.基于ATmega16单片机的通用电机控制装置的设计[J].新特器件应用,2010,12(7):1-4.
- [24] 刘海成.AVR单片机原理及测控工程应用—基于ATmega48/ATmega16[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008:210.

(上接第 212 页)

- [9] 王宏广.中国粮食问题、潜力、道路、效益[M].北京:农业出版社,1993.
- [10] 王宗明,张柏,宋开山,等.东北地区农业土地资源潜力评价模型及其应用[J].生态科学,2007,26(4):351-360.
- [11] 朱希刚.跨世纪的探讨:中国粮食问题研究[M].北京:中国农业出版社,1997.
- [12] 林毅夫.再与布朗谈粮食[J].经济论坛,2001,(5):16-17.
- [13] 周江梅,曾玉荣,吴越,等.福建省粮食生产潜力影响因素及需求情况分析[J].福建农业学报,2006,21(3):275-278.
- [14] 刘新卫,陈百明.黄土丘陵区安塞县县域粮食生产潜力及其开发[J].农业工程学报,2004,20(6):286-290.
- [15] 谢俊奇,蔡玉梅,郑振源,等.基于改进的农业生态区法的中国耕地粮食生产潜力评价[J].中国土地科学,2004,(4):31-37.
- [16] 曾希柏,陈同斌.中国粮食生产潜力和化肥增产效率的区域分异[J].地理学报,2002,(5):539-546.
- [17] Saaty T L. A new macroeconomic forecasting and policy evaluation method using the analytic hierarchy process[J]. Mathematical Modeling, 1987,9(3-5):219-231.
- [18] Saaty T L. How to handle dependence with the analytic hierarchy process[J]. Mathematical Modeling, 1987,9(3-5):369-376.

- [19] Saaty T L, Ozdemir M. Negative priorities in the analytic hierarchy process[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2003, 37(9-10):1063-1075.
- [20] 许树柏.层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1988.
- [21] 杨春玲,张传芳.属性层次模型(AHM)在选股决策中的应用[J].大学数学,2006,22(5):27-30.
- [22] 李红鹰,王毅,孟昭明.层次分析法在农业生态环境质量评价中的应用[J].环境保护,2000,(7):30-31.
- [23] 王研,何士华.多目标层次分析法评价区域水资源可持续利用[J].云南水利发电,2004,20(1):5-8.
- [24] 刘奇志.层次分析的积因子方法与武器的作战能力指数公式[J].数学实践与认识,1997,(4):299-304.
- [25] 乔家君.改进的层次分析法在河南省可持续发展能力评估中的应用[J].河南大学学报(自然科学版),2003,33(2):58-62.
- [26] 刘兴土,马学慧,等.松嫩平原退化土地整治与农业发展[M].北京:科学出版社,2001.
- [27] 李放歌,柏继云,赵红杰.层次分析积因子位次赋值数据求权重研究[J].运筹与管理,2005,14(6):60-62.