

# 东北温带旱作农业主要作物生产潜力及 资源利用效率评价

——以黑龙江海伦市为例

戴尔阜<sup>1</sup>, 王 昊<sup>1,2</sup>, 吴绍洪<sup>1</sup>, 靳 京<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;  
3. 中国科学院中国现代化研究中心, 北京 100080)

**摘要:** 将作物生产潜力模型 (PS123 模型) 与常规方法相结合, 对 1999~2001 年海伦市玉米、大豆、小麦作物生产潜力进行计算; 选取产量损失量、资源满足率和资源组合利用率, 定量评价资源利用效率, 寻找影响资源集约高效利用的限制性因子及其定量制约程度。结果显示, 自然资源中温度对于产量的限制最大, 其次为水分和土壤, 如果把光温生产潜力作为目标产量, 玉米、大豆、小麦的光温生产潜力分别为 11998、7068、8813 kg/hm<sup>2</sup>, 资源利用率分别为 51.0%、29.0%、20.2%, 海伦市粮食生产仍有较大潜力。在特定自然资源状况下, 海伦市的社会经济状况是限制潜力实现的重要因素, 在实地调查基础上, 本文提出了提高该市作物产量的主要措施。

**关键词:** 自然资源; 作物生产潜力; 资源利用效率; PS123 模型; 评价指标; 海伦  
文章编号: 1000-0585(2007)03-0461-09

作物生产潜力评价是国内外广大学者普遍重视的热点研究领域, 我国学者近年来对旱地农业研究给予了极大重视<sup>[1~6]</sup>。在 20 世纪 60 年代黄秉维先生就提出提高单位面积产量和扩大耕地面积, 建立以多年生木本植物为对象的农业, 建立具有半工业性质的农业这三个发展农业生产的技术途径<sup>[7,8]</sup>, 其后针对华北平原农业生产条件, 从农业生产要素方面提出了发展华北平原农业的途径<sup>[9]</sup>。作物生产潜力定量模拟是农业生产潜力计算的基础, 上世纪 50 年代以来围绕第一性生产力和农业模型研究取得大量成果<sup>[10]</sup>, 对光合、光温、气候、光温水等不同层次农业生产潜力进行了模拟<sup>[11~16]</sup>。农业资源利用效率评价研究主要集中在各单项资源 (光、温、水、土、肥) 利用效率和综合利用效率研究上, 评价模型和方法主要有比值法、生产函数法、包络分析法、因子—能量评价模型、能流分析法、能值评价法、指标体系法等<sup>[17]</sup>。通过作物生产潜力的研究可以发现限制作物生产潜力提高的主要因子, 寻求作物产量提高的有效途径, 同时可以研究不同地区及同类地区农业自然资源对不同作物的适宜性, 从而有利于扬长避短, 合理布局, 挖掘优势作物潜力, 进一步为区域农业结构调整提供理论依据。

收稿日期: 2006-09-15; 修订日期: 2006-12-16

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-333)

作者简介: 戴尔阜 (1972-), 男, 甘肃省静宁县人, 博士, 副研究员。主要从事综合自然地理、土地利用/覆被变化、遥感及 GIS 在自然地理学中的应用等方面研究。

E-mail: daief@igsrr.ac.cn

海伦市地处小兴安岭山地向松嫩平原过渡地带,属松嫩平原的一部分,拥有发展区域大农业的自然条件和资源优势。平原上土层深厚、土壤自然肥力高,气候属于北温带大陆性季风气候,具有光能资源丰富、雨热同季、温度日较差大等特点,主要作物有玉米、小麦、大豆等。近年来由于城乡建设占用耕地以及经济作物面积比重的提高,主要粮食作物播种面积呈明显下降趋势,1990年这三种作物的播种面积占粮食总播种面积的90%,到2002年已下降到74%。作为我国重要的商品粮生产基地,如何进行挖潜,利用有限的耕地生产更多的粮食,改变粮食产量徘徊的局面,对海伦粮食生产具有重要的现实意义。

## 1 PS123 模型原理及模拟过程

作物生产潜力模型是作物生产潜力研究日趋模式化的结果,它是作物生长动态模拟和生产力量化研究发展到一定程度学科交叉的产物<sup>[18]</sup>。作物生产潜力模型基于作物生长发育过程,以日甚至以时为步长进行作物生长的模拟以及产量的计算,较多使用的模型有 CERES、EPIC 和 ALMANAC 等<sup>[19~21]</sup>。

本研究选取 PS123 (Production Situation) 模型为主要工具,估算作物的光温、气候生产潜力。PS123 模型是荷兰 Wageningen 大学土壤地质系 P. M. Driessen 教授等开发的用于量化土地生产力评价的普适模型。PS123 模型的原理和计算过程在中参考文献<sup>[22]</sup>有详细的介绍。该模型强调利用有限的数据库建立适于区域土地生产力分析与评价的模型。模型的机理与 BACROS、SUCROS 及 MACROS 等作物生长模型一样,依据 de Wit 的 4 级生产水平理论<sup>[23]</sup>,从作物器官生理过程出发,计算作物冠层的光合作用及呼吸作用,并分别模拟出作物的 PS1 (光温),PS2 (光温水)和 PS3 (光温水肥)潜在生产力,模型的模拟时间步长为 1 日。该模型尽量寻求作物生长发育的共性,模型中附有 10 多种世界主要作物参数和不同土壤类型参数的数据库,可直接用于小比例尺土地生产力评价和土地适宜性评价,并且简化了一些复杂过程,去掉一些不易获得的特殊参数,并将一些变动不大的参数固化在模型中,比一般的作物生产潜力模型要相对简单,但又没有太大降低模拟精度,分析过程的动态化又很好地克服了农业生态区域方法 (AEZ) 的不足,能够较好地满足生产潜力计算的要求。因此,与其他作物生产潜力计算模型相比,该模型在普适性、参数需求和可获得性、参数输出等方面具有优势。

在 PS1 中,作物品种特性、辐射强度和温度是影响作物产量的主要因子。在光辐射的驱动下,作物进行光合作用形成碳水化合物、按照一定比例分配给根茎叶和贮藏器官用于维持呼吸及作物生长,并按一定的转化效率形成作物体的结构物质。作物的光合速率主要取决于作物的光合途径、低光强下的光能利用率 ( $EEF$ )、实际温度下的最大光合速率 ( $AMAX$ )、叶面积指数 ( $LAI$ )、冠层消光系数 ( $Ke$ ) 等。

在 PS2 中,利用水分限制因子  $Cf_{water}$  来修正 PS1 的生产潜力。 $Cf_{water}$  是实际蒸腾速率与潜在蒸腾速率之比,通过农田水量平衡模型来动态模拟土壤水分的变化。水量平衡模型的主要计算公式如下<sup>[24]</sup>:

$$RSM = [UPFLUX + (CR + D) - TR] / RD \quad (1)$$

$$UPFLUX = NETSUP + DS - SR \quad (2)$$

$$GROSSUP = PREC + IE - EA \quad (3)$$

式中:  $RSM$  为根层内土壤水分含量变化率 ( $d^{-1}$ ),  $UPFLUX$  为根区上边界水分净流量 ( $cm \cdot d^{-1}$ ),  $CR$  为地下毛管上升率 ( $cm \cdot d^{-1}$ ),  $D$  为土壤水渗漏速率 ( $cm \cdot d^{-1}$ ),  $TR$  为

实际蒸腾速率( $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ),  $RD$  为等效根深( $\text{cm}$ ),  $NETSUP$  为根层上边界的水分供应净速率( $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ),  $DS$  为地表蓄水入渗根层速率( $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ),  $SR$  为地表径流速率( $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ),  $GROSSUP$  为根层上边界总水分供应速率( $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ),  $PREC$  为降雨速率( $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ),  $IE$  为有效灌溉速率( $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ ),  $EA$  为实际蒸发速率( $\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$ )。

PS3 是在 PS2 的基础上考虑养分限制时的生产潜力。与其他作物生长模型一样, PS123 模型也仅仅在 PS1 和 PS2 阶段的作物生长动态模拟较完善, 在 PS3 还仅处于静态描述或部分动态模拟阶段, 主要是用植物正常生长情况下植物体内所需最低养分含量和不施肥农田中作物产量来计算潜在生产力和水分限制下生产力对养分的需要量和施肥量。

PS123 模型在中国实际应用方面已有良好的工作基础, 宇振荣等学者以黄淮海平原的曲周试验站为依托, 对该模型进行了大量基于田间试验的修正<sup>[24~28]</sup>, 并将其应用于作物田间管理的决策分析当中; 陈亚恒等在模型修正的基础上, 对河北省雄县地区冬小麦系统进行了研究, 模拟现有品种的光温、气候生产潜力, 提出雄县地区土壤 N、P、K 支撑下养分影响系数的计算方法, 并对冬小麦生产潜力的限制因素进行了分析<sup>[29,30]</sup>。

本研究以反映海伦市粮食生产的总体状况为目的, 忽略农田种植过程中作物品种特性以及土壤性状间的差异, 采用模型数据库中提供的具有普适性的作物、土壤参数进行模拟计算, 并参考已有研究和实测资料, 对模型中一些模拟方法进行改进, 改进方法包括参照作物潜在蒸散量计算方法和土壤实际蒸发 (EA) 计算方法<sup>[31]</sup>。

## 2 生产潜力综合评价模型

延用 PS123 模型的建模思路, 根据限制作物生长的主要因子划分生产水平, 每一生产水平都有一个主要的限制因素, 因此光、热、水、肥与社会经济共同作用就形成了相应的生产力序列, 即光合生产潜力—光温生产潜力—气候生产潜力—气候土壤生产潜力—现实生产力。从气候—土壤生产潜力到现实生产潜力的衰减主要受社会经济因素的影响, 包括物化劳动、劳动力、科学技术、信息、管理等。基于 PS123 模型计算光合、光温、气候生产潜力, 基于层次分析法计算土壤因子对作物生长的满足程度, 进而计算气候—土壤生产潜力, 最终形成作物生产潜力综合计算模型。取海伦市 1999~2001 三年数据进行潜力计算。

### 2.1 光合生产潜力

光合生产潜力从理论上确定作物生产力的最高上限。光合生产潜力的估算方法很多, 国内外学者从不同角度做了大量的研究工作。本研究采用经黄秉维订正多项参数后得到的经验公式<sup>[32]</sup>:

$$Y=0.219Q \quad (4)$$

式中:  $Y$  为光合潜力( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ),  $Q$  为太阳总辐射( $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ), 0.219 为系数。

### 2.2 光温生产潜力

#### PS1 层次输入参数的确定

##### 播种量 (SEED)

根据实地资料确定作物播种量的范围, 由于在模型的模拟过程中, 没有考虑病虫害等随机因素, 在 95% 的高发芽率假设下, 播种量要比实际的播种量略少, 将当地作物播种量的下限作为 PS123 的输入参数 (表 1)。

表 1 PS1 层次上的主要输入参数

Tab. 1 The main parameters read in by PS123 model at the PS1 level

作物	播种日期 (day)			播种量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )
	1999 年	2000 年	2001 年	
玉米	138	133	139	30
春小麦	99	109	107	225
大豆	129	120	123	60

### 播种日期 (SOWDATE)

根据当地气候特征及作物生长要求确定适宜播种期的范围, 在光温潜力层次上进行模拟, 比较计算结果, 选取获得最高产量的日期作为播种日期 (表 1)。这里所说的播种日期以 1 月 1 日为第一天, 平年总计 365 天, 润年总计 366 天。

### 2.3 气候生产潜力

#### PS2 层次输入参数的确定

##### 初始土水势 (PSInt)

海伦市的播种期属于春季融冻期, 从每年 3 月下旬土壤融冻开始至 6 月初约 70 天左右。虽然本期降水较少。但是由于冬季融水, 土壤此时的水分很丰富, 有些年份反有过湿之患<sup>[33]</sup>。因此设定初始土水势在 400~1000cm 水柱之间变化, 根据具体年份确定取值。

##### 农田地表最大积水量 (ASSC)

SSC 为地表蓄水能力, 表示地表能够蓄积等效水层的能力, 它是地面坡度和地表性状的函数, 其计算方法参见文献[24]。根据海伦市实际情况, 犁沟或畦与地面的夹角为 30°~45° (取 30°), 等高耕作的地面粗糙度为 10cm, 而轻型农机具耕作的土地为 4~6cm, 免耕时为 1~2cm。海伦市的地面坡度在 0°~5°之间, 这里取平均值 2.5°。由此计算的结果为 SSC=4.3cm。由于在作物生长季节地表粗糙度会降低, 因此农田中的地表最大积水量取值范围为 0≤ASSC≤SSC, 结合海伦实地调查情况, 农田中地表最大积水量 (ASSC) 取 2.5cm。

### 2.4 气候—土壤生产潜力

由于影响作物产量衰减的土壤因子比较复杂, 本文参考相关研究<sup>[34]</sup>, 选取 8 项指标(图 1) 评价土壤有效系数, 利用层次分析法构造因子重要性判断矩阵, 得到各因子的重要性权重系数, 然后根据各因子在作物生长发育及产量形成中的作用, 并参考全国土壤因子评价标准, 确定各因子的等级和评分标准(表 2), 计算海伦市土壤有效系数为 0.84。

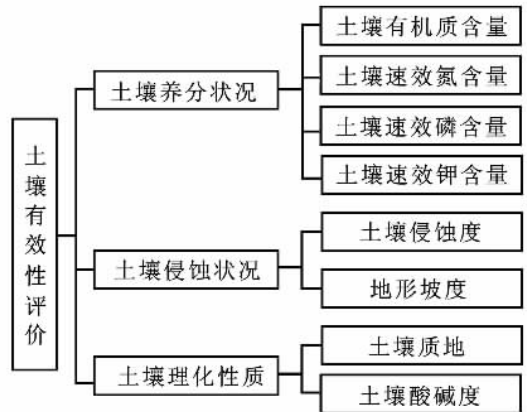


图 1 土壤质量评价总体指标体系

Fig. 1 Index system on soil quality evaluation

表 2 土壤质量评价结果及各指标权重

Tab. 2 Weight coefficient of each index and the result of soil quality evaluation

评价指标	有机质	速效氮	速效磷	速效钾	pH 值	土壤质地	侵蚀度	坡度
得分	0.84	1	0.68	1	1	0.436	0.86	0.989
权重	0.217	0.133	0.108	0.093	0.074	0.125	0.125	0.125

## 3 农业资源利用效率评价模型

以生产潜力递减过程为评价主线, 依据潜力计算过程中划分的不同环节, 通过建立不同层次潜力间及其与现实产量间的关系来寻找限制性资源因子及其定量制约程度, 达到资源利用效率综合评价的目的。选取不同层次间产量损失量、资源满足率和资源组合利用率

三个指标，从资源对作物生长的满足程度和作物对资源的利用效率两个角度进行评价。评价模型可以由以下三组表达式组，其中  $PPP$ 、 $TPP$ 、 $CPP$ 、 $LPP$ 、 $RP$  分别代表光合、光温、气候、气候—土壤生产潜力和现实产量：

产量衰减量表达式：

$$\Delta P_i = P_{i-1} - P_i \quad (5)$$

$$P_i \in [PPP, TPP, CPP, LPP, RP]$$

资源满足率表达式：

$$Cr_i = P_i / P_{i-1} \quad (6)$$

$$P_i \in [PPP, TPP, CPP, LPP, RP]$$

资源组合利用率表达式：

$$R_i = RP / P_i \quad (7)$$

$$P_i \in [PPP, TPP, CPP, LPP]$$

(5) 式中的  $\Delta P_i$  反映了产量在不同层次间衰减的大小，它与 (6) 式的变化方向相反， $\Delta P_i$  越大说明产量在该层次的衰减越大，该层次因子对作物生长需求的满足率  $Cr_i$  越小；反之，产量衰减越小，对作物生长需求的满足程度越大。(7) 式中的资源组合利用效率 ( $R_i$ ) 实际上指光合潜力利用率、光温潜力利用率、气候生产潜力利用率、气候—土壤潜力利用率等，光合潜力利用率体现了农业资源综合开发利用及农业科技水平，光温潜力利用率反映了改善水土条件，采用良种良法及常规农业投入的水平，气候资源利用率把气候因素视为不易改变的资源条件，在雨养农业条件下，通过改良土壤，采用良种良法等技术而实现的资源利用率，气候—土壤潜力利用率体现的是仅由采用良种良法及常规农业技术及物质投入所实现的资源利用率。

## 4 研究结果分析

### 4.1 主要作物生产潜力

黑龙江海伦市主要作物光合、光温、气候、气候—土壤生产潜力结果如表 3、图 2，与 1999~2001 的实际平均产量相比，海伦市农作物生产仍有较大的潜力。

表 3 主要作物不同资源限制下的生产潜力 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )

Tab. 3 Main crop potential productivity under different constraint conditions ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )

	玉米	小麦	大豆
光合生产潜力	54008	40417	45529
光温生产潜力	11998	8813	7068
气候生产潜力	9531	7382	5910
气候—土壤生产潜力	8006	6200	4964
实际产量	6120	1782	2053

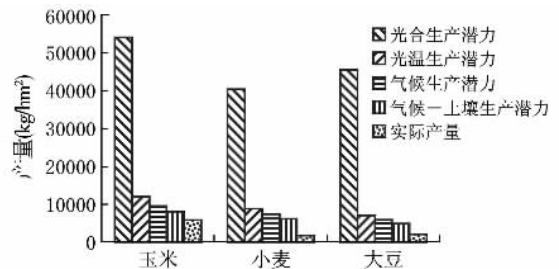


图 2 海伦市主要作物不同层次生产潜力递减柱状图

Fig. 2 Chart of main crops productivity loss in different appraisal parts

### 4.2 资源利用效率评价

利用衰减量与满足率评价海伦市农业资源对作物生长的相对满足程度 (表 4)。可以

看出, 海伦市的农业资源利用状况表现为以下两个方面: (1) 自然资源, 海伦市的热量远不如江南和华北地区充足, 对海伦市作物生长的影响最大, 满足率最低, 成为影响旱作生产潜力实现的最主要因素, 其次是水分与土壤资源, 而后两者的限制是可以通过社会经济资源的补充而改善和消除。(2) 社会经济资源, 总体上处于较低水平, 产量在该层面上的衰减量次于热量的衰减量, 对作物生长的满足率较低, 不能满足作物高产的要求。通过对当地实际情况的了解, 海伦市农业生产管理中的问题主要表现在以下几个方面: 政府对农业的重视不够, 政策不稳定, 影响了农民积极性; 农业长期处于粗放经营状态, 农业机械化程度较低; 施肥灌溉量不足, 一方面影响了产量的提高, 另一方面造成土壤养分减少, 土壤发生退化; 农田的基本建设薄弱, 抗灾能力低; 技术投入水平较低, 农村居民受教育程度低下, 生活水平相对落后。

表 4 黑龙江海伦市农业资源利用评价结果 (kg/hm<sup>2</sup>, %)

Tab. 4 The result of agricultural resources utilization appraisal in Hailun, Heilongjiang (kg/hm<sup>2</sup>, %)

评价类别		玉米	小麦	大豆
产量衰减	热量衰减量	42010	31604	38461
	水分衰减量	2467	1431	1158
	土壤养分衰减量	1525	1182	946
	社会经济因素衰减	1886	4418	2911
满足程度	热量满足率	22	22	16
	水分满足率	79	84	84
	土壤养分满足率	84	84	84
	社会经济因素满足率	76	29	41
资源利用效率	光合潜力利用率	11.3	4.4	4.5
	光温潜力利用率	51.0	20.2	29.0
	气候潜力利用率	64.2	24.1	34.7
	气候—土壤潜力利用率	76.4	28.7	41.4

从资源利用效率角度分析海伦市作物对资源的利用状况, 海伦市的光合潜力利用率低, 体现其农业资源综合开发水平较低。理论上, 气候与气候—土壤生产潜力是可以通过人为改善水土条件, 采用良种良法以及常规农业投入等方法来达到, 因此, 可以以光温生产潜力作为目标产量, 在光温层次上, 利用率最高的是玉米为 51.0%, 其次是大豆 29.0%, 小麦 20.2%。对于玉米还可以有 49.0% 的光热资源可以转化为产量, 而大豆, 小麦则更多, 分别为 71.0% 和 79.8%。资源利用效率的提高有待于农业生产中社会经济因素的不断完善。

对于不同种作物来讲, 自然资源的供给状况基本相同, 但由于作物间生理等方面差异, 导致了相同自然资源对不同作物生长的满足程度不同, 使得产量衰减量和满足率在作物间存在差异。例如, 降水对于玉米的影响相对较大, 满足率相对较低 (79%), 而对于小麦、大豆的影响相对较小, 满足率较高, 因此, 应通过灌溉等措施, 适时适量增加水分供给, 满足玉米产量增长对水分的需求; 而社会经济资源在作物间的分配却是不均匀的, 一方面, 这与作物本身的特性有关, 另一方面也与市场导向下农民的偏好有关, 对于作物投入人力物力的多少直接决定了作物产量的高低。产量衰减量和资源满足率在社会经济资

源层面上的差异很大程度上体现了海伦市的社会经济资源在作物间的分配不均。其中, 小麦产量在该层次的衰减量最大, 其次为大豆和玉米。统计数据也显示, 近年来, 小麦的播种面积不断下降, 从 1999 年的 5753  $\text{hm}^2$  下降到 2001 年的 610  $\text{hm}^2$ , 农民对于种植小麦的积极性不高, 加上自然灾害的影响, 是限制小麦产量提高的主要因素。

通过以上分析可以看出, 海伦市要实现粮食作物的稳产高产, 一方面需要不断加强农田基本建设, 增加肥料投入, 适时适量灌溉, 防止水土流失等来弥补自然资源中的不足; 另一方面要多途径充分调动农民生产的积极性, 提高农民文化水平和应用新技术的能力, 引用优良品种, 改善种植制度和种植方式, 以达到提高资源利用效率、高产稳产的目的, 同时还应该根据不同作物的特性, 寻找资源投入的侧重点, 在不同作物间优化配置农业资源, 达到以较少投入取得较大产出的目的。

## 5 结论与讨论

本文对 PS123 作物生长模型进行了改进, 确定了该模型应用于黑龙江海伦市主要作物潜力计算的参数, 与已有研究结果对比<sup>[35~37]</sup>, 本研究对主要作物不同层次生产潜力计算较为可靠。研究结果表明黑龙江海伦市主要作物光合、光温、气候、气候—土壤生产潜力较大。通过对限制农业资源高效利用的主要因素分析结果表明, 热量、水分和土壤质量是主要的自然限制性因子, 而社会经济因素更为严重地制约了粮食生产高效、高产、稳产的实现。

将 PS123 模型与常规方法结合形成作物生产潜力综合计算方法, 既有利于得到一个较为客观的潜力值, 又有利于控制工作量, 发挥常规方法综合、简明的特点。建立用以定量表征和反映农作物对各种资源有效利用状况的综合评价模型, 包括产量衰减量、资源满足率和资源组合利用率三个指标, 分别从资源的满足程度和资源的利用率两个角度对海伦市农业资源利用状况进行评价。从对海伦市研究结果看, 得出的结论能够反映海伦市主要农作物生产对农业资源利用的现状, 揭示了各种资源对农作物生产的定量制约程度, 以及不同作物对资源需求的差异, 说明评价模型的可行性、实用性和可操作性, 在此基础上提出的改进措施具有较强的针对性。基于生产潜力进行的资源利用评价具有较好的通用性, 但由于其变量来源于生产潜力模型对不同层次潜力的计算结果, 因此其评价结果受到生产潜力模型研究进展及其精确程度的制约。

致谢: 中国农业大学宇振荣教授为本文模型调试和分析提供了大力帮助, 特致谢忱!

## 参考文献:

- [1] 王立祥, 王留芳, 范芳强等. 西北黄土高原半干旱—半湿润地区旱作农田降水生产潜力开发途径. 自然资源学报, 1989, 4(1): 19~25.
- [2] 信迺途, 王立祥. 中国北方旱区农业. 南京: 江苏科学技术出版社, 1998.
- [3] 陶毓汾, 王立祥, 韩仕峰, 等. 中国北方旱农地区水分生产潜力及开发. 北京: 气象出版社, 1993.
- [4] 张义丰, 王又丰, 刘录祥, 等. 中国北方旱地农业研究进展与思考. 地理研究, 2002, 21(3): 305~312.
- [5] 李忠武. 黄土丘陵沟壑区作物生产潜力影响因素分析. 地理研究, 2001, 20(5): 601~608.
- [6] 刘慧. 干旱区绿洲农业资源优化配置模式研究. 地理研究, 1999, (增刊): 66~72.
- [7] 黄秉维. 发展农业生产的途径与农田自然条件研究, 谈稳产高产农田建设对象的自然条件综合分析(一). 地理,

- 1964,(5):197~199.
- [8] 黄秉维. 发展农业生产的途径与农田自然条件研究, 谈稳产高产农田建设对象的自然条件综合分析(二). 地理, 1965,(1):1~7.
- [9] 黄秉维. 华北平原农业与水利问题及农业生产潜力研究. 地理集刊 17 号, 1985, 1~14.
- [10] 徐勇. 农业生产力模型研究进展述评. 地理研究, 1999,(增刊):157~163.
- [11] Loomis R S, Williams W A. Maximum crop productivity: An estimate. *Crop Science*, 1963, 3(5):11~18.
- [12] Higgins G M, *et al.* Regional assessment of land potential; a follow up to the FAO/UNESCO Soil Map of the World. *Nature and Resources*, 1981, 17(4):223~236.
- [13] Wallace J S. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2000, 82(6):105~119.
- [14] Gorden R Conway, Edward B Barbier. After the revolution-sustainable agriculture for development. Arskent Limited Company, 1990. 1~52.
- [15] 陈百明. 土地资源学概论. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [16] 封志明, 李飞, 刘爱民. 农业资源高效利用优化模式与技术集成. 北京: 科学出版社, 2002.
- [17] 靳京, 吴绍洪, 戴尔阜. 农业资源利用效率评价方法及其比较. *资源科学*, 2005, 27(1):146~152.
- [18] 徐春达, 高晓飞. 作物生产潜力模型在中国的应用. *干旱区资源与环境*, 2003, 17(6):108~112.
- [19] 李军, 王立祥, 邵明安, 等. 黄土高原地区玉米生产潜力模拟研究. *作物学报*, 2002, 28(4):555~560.
- [20] 王宗明, 梁银丽. 应用 EPIC 模型计算黄土塬区作物生产潜力的初步尝试. *自然资源学报*, 2002, 17(4):481~487.
- [21] 李军. 作物生长模型 ALMANAC 的验证与应用探讨. *干旱地区农业研究*, 1997, 15(4):99~104.
- [22] Driessen P M, Konijn N T. *Land Use-system Analysis*. Wageningen. Wageningen Agricultural University Press. Netherlands, 1992.
- [23] de Wit C T, *et al.* Simulation of Assimilation, Respiration and Transpiration of Crops. *Simulation Monographs*. Pudoc, Wageningen, 1978:1~140.
- [24] 宇振荣, 王建武, 邱建军. 土地利用系统分析. 北京: 中国农业科技出版社, 1997. 105~152.
- [25] 毛振强. 基于田间试验和作物生长模型的冬小麦持续管理研究. 北京: 中国农业大学资源与环境学院, 2003. 6~147.
- [26] 乔玉辉, 宇振荣. 灌溉对土壤盐分的影响及微咸水利用的模拟研究. *生态学报*, 2003, 23(10):2050~2056.
- [27] 毛振强, 张银锁, 宇振荣. 基于作物生长模型的夏玉米灌溉需求分析. *作物学报*, 2003, 29(3):419~426.
- [28] 张银锁. 基于作物生长模拟模型的夏玉米可持续生产管理系统分析. 北京: 中国农业大学资源与环境学院, 2001. 54~90.
- [29] 陈亚恒, 刘会玲, 薛宝民, 等. 荷兰 PS1 模型在雄县地区土地利用系统分析中的应用—以冬小麦种植为例. *河北农业大学学报*, 2003, 26(1):17~20.
- [30] 陈亚恒. 土壤养分支持下的冬小麦的生产力模型研究—以河北雄县土壤 N、P、K 为例. 河北: 河北农业大学资源与环境科学学院, 2000. 31~35.
- [31] 吴绍洪, 靳京, 戴尔阜. 基于 PS123 作物生长模型的黑龙江海伦市玉米生产潜力计算. *农业工程学报*, 2005, 21(8):93~97.
- [32] 黄秉维. 中国农业生产潜力—光合潜力. 地理集刊第 17 号, 1985. 17~22.
- [33] 孟凯, 张兴义, 随跃宇, 等. 黑龙江海伦农田黑土水分特征. *土壤通报*, 2003, 34(1):11~14.
- [34] 郑海霞, 封志明, 游松财. 基于 GIS 的甘肃省农业生产潜力研究. *地理科学进展*, 2003, 22(4):400~410.
- [35] 张志学. 海陵县主要粮食作物生产潜力的分析. 见: 赵明茶. 生产潜力与土地承载力网络试验研究. 北京: 北京工业大学出版社, 1991. 174~176.
- [36] 马树庆, 袁福香, 郭春明. 东北区主要粮豆作物气候生产潜力实现率及其提高途径. *农业系统科学与综合研究*, 1999, 15(3):203~208.
- [37] 陈百明. 中国农业资源综合生产能力与人口承载能力. 北京: 气象出版社, 2001. 289~292.



# A method for calculating potential productivity of main crops in dry farming system as well as assessment of agricultural resources utilization in temperate zone, Northeast China: A case study of Hailun County, Heilongjiang Province

DAI Er-fu<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>1,2</sup>, WU Shao-hong<sup>1</sup>, JIN Jing<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. China Center for Modernization Research, CAS, Beijing 100080, China)

**Abstract:** This paper combines PS123 model with ordinary methods into a comprehensive model to calculate the main crops potential productivity from 1999 to 2001 in Hailun County, so as to propose a more objective and scientific method to calculate crop potential productivity. The photosynthesis potential productivity (*PPP*) is calculated by the equation established by HUANG Bingwei. The temperature potential productivity (*TPP*) and climate potential productivity (*CPP*) are determined by PS123 model. And land potential productivity (*LPP*) is calculated by multiplying an effective coefficient, which is decided by AHP approach. At the same time, based on the productivity of different levels, agricultural resources utilization assessment model is also established which is composed of productivity loss value, contented index and utility ratio. By this way it can be found the main restricting resource factors and the restricting degree to achieve the purpose of appraising agricultural resources utilization efficiency comprehensively. The result shows that in natural resources temperature restricts productivity most, then moisture condition and soil fertility condition. If *TPP* is regarded as the highest productivity that can be realized, then the *TPPs* of maize, soybean and wheat are 11998, 7068 and 8813 kg/hm<sup>2</sup>, their resources use efficiencies are 51.0%, 29.0% and 20.2%, there is still great potential on main crops in Hailun County. To improve the productivity, on the one hand, perfect farmland capital should be constructed, and fertilizer and water input should be performed to remedy the deficiency in the natural resources. On the other hand, the enthusiasm of peasants to agricultural production should be aroused, and their educational level should be improved for the easier adoption of new technology, fine seeds and the planting system and planting way should also be improved to higher resources utilization efficiency. At the same time, there still exists difference between crops in the need of agricultural resources. Following the characteristics of different crops to invest resources can distribute resources rationally to obtain higher product.

**Key words:** natural resources; crop potential productivity; resource utilization efficiency; PS123 model; assessment model; Hailun County