

我国农业生产潜力的研究进展

郭岐峰 傅硕龄

(广西农学院)

提 要: 本文从大气—作物—土壤系统出发, 综述各层次农业生产潜力的估算方法, 并简评近期的科研成果。

主题词: 光能生产潜力 光温生产潜力 气候生产潜力 农业自然生产潜力

近二十多年来, 随着作物群体光能利用研究的不断深入, 国际上农业生产潜力的研究已广泛开展^[1]。我国自1964年竺可桢首先从气候角度出发探讨粮食作物生产潜力问题以来, 已先后从不同角度和侧面研究了农业生产潜力估算的系统模型, 近期又引入更多自然资源因子与深化生理机制的生态区域法, 对几种主要作物, 如水稻、玉米、小麦等生产潜力进行了估算。农业生产潜力研究这一课题的提出与人口、土地、生产力相关联。我国粮食生产制约因素较多, 从长远和总体来看, 形势仍然严峻。解决和缓解粮食问题的关键是提高耕地的生产力。农业生产潜力的估算与评价^[2]不仅可以作为国家或地区进行农业分区, 制定作物产量计划和农业发展规划, 确定投资方向及有关农业政策的重要依据, 而且是估算土地人口承载能力的基础。农业生产潜力的动态研究则揭示作物生育规律、产量形成与环境条件相互作用机制, 对定量分析气候、土壤、作物资源利用程度、潜力、产量限制和影响因子等都是一种有效的手段。因而, 农业生产潜力的研究在理论和实践上都具有重要意义。

农业生产潜力系指在一定的气候、土壤、社会经济及最优管理、优良品种、无病虫害等条件下, 某一作物转化太阳辐射能为生物化学潜能的能力。

根据“最适因子律”和“最低因子限制率”, 可以分为以下几种不同层次的生产潜力: 光能生产潜力→光温生产潜力→光温水生产潜力→农业自然生产潜力。

目前对产量的估算一般有两种方法。一种是从光能利用角度出发, 求出作物的光能生产潜力, 然后对光能生产潜力进行温度、水分、叶面积系数及土壤肥力等订正, 最后得出各层次生产潜力。另一种方法是根据本地的农业生态条件对作物不同生育时段的影响, 确定作物的生长曲线及其函数形式, 然后进行参数订正求得。

一、光能生产潜力

光能生产潜力 $Y(Q)$ 系指作物在温度、水分和养分等条件均保持最适宜状态时, 由太阳辐射资源所决定的产量。

太阳辐射是决定农业生产潜力的首要因子。估算农业生产潜力时, 许多学者从太阳辐射

能转换原理去考虑,竺可桢^[3]最早研究我国气候资源与粮食生产的关系,指出以长江流域的辐射能推算,如光能利用率为1%,则亩产可达471公斤,如光能利用率提高到3%,则亩产可达1412公斤。

黄秉维^[4]提出了光合潜力的概念及估算方法,将太阳总辐射 Q (卡/厘米²) 值乘以系数0.124 便是光合潜力 $Y(Q)$ 数值 (斤/亩), 其式为:

$$Y(Q) = 0.124Q \quad (1)$$

公式(1)有其生物学和物理学方面的基础,是假设温度、降水等其他条件都是适宜的情况下对光能利用上限(光能利用率取6.13%值)的估算。很明显估算作物生长盛期的光合潜力较为合适,但对作物整个生育期光合潜力的估算偏差太大。1986年黄氏对光能利用率的估算进行修正。取值2.93%^[5]。

龙斯玉^[6]根据直接辐射(S)和散射辐射(D),采用苏联学者莫尔达乌公式($Q_p = 0.43S + 0.57D$)计算了我国光合有效辐射 Q_p ,并考虑了各界限温度的生物学意义,取不同的光合有效辐射利用系数(2%, 5.1%, 10%)估算了我国 $\geq 0^\circ\text{C}$ 、 $\geq 5^\circ\text{C}$ 、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 时期的光能生产潜力。所得结果的分布形势,比较接近实际的农业生产分布形势。但对于揭露生产潜力的地理分布仍然不够。

卢其尧^[7]提出用经济器官形成的辐射收支计算光合潜力。他根据300多个地点的资料估算了我国双季早稻、双季晚稻、单季稻和单季晚稻等不同造别水稻产量形成期(抽穗前10天到抽穗后30天共40天期间)的光能生产潜力值,得到关系式:

$$Y(Q) = 0.385Q_p \quad (2)$$

并绘制了各造别水稻光能生产潜力分布图。该方法未能考虑前、中期光合生产对产量的贡献,因此否定了生育期长短对产量的影响。

高亮之等的研究^[8]同卢氏的比较有以下几个特点:1)考虑到全生育期的长短;2)分别考虑水稻(禾本科)生育前、中期和后期光合生产对产量的贡献;3)考虑了潜在生产力和现实生产力;4)考虑了光饱和的影响。

李继由^[9]提出根据能量转换成产量的系数(K)和不同生育时段的光能利用率(E_i)对光能生产潜力进行估算:

$$Y(Q)_i = KE_i Q_i \quad (3)$$

王书裕^[10]、邓根云^[11]、候光良^[12]等考虑到在单一作物种植情况下作物生长期中各个时期叶面积的动态,在估算水稻、玉米光能生产潜力时,用叶面积订正系数 β 进行订正。

龙斯玉^[13,14]在估算我国小麦光能生产潜力时,考虑了作物的饱和光强。假定单叶光饱和点为35 000 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$,根据月平均光合辐射日总量确定的光强利用率 $\beta = 0.998e^{-0.0014Q'_{p,i}}$ 以及群体对超过单叶光饱和点的光强部分的吸收利用率 $\gamma = 0.88e^{-2.5893/L}$ 和各个时期平均茎叶死亡脱落损失率 d ,提出小麦光能生产潜力计算式:

$$Y(Q) = 0.102 \sum_{i=1}^n \{ Q_i \cdot (1 - e^{-0.511}) \cdot (0.998e^{-0.0014Q'_{p,i}} + 0.88e^{-2.5893/L} \cdot (1 - 0.998e^{-0.0014Q'_{p,i}}) \cdot (1 - d_i) \} \quad (4)$$

Q_i 为各时段太阳总辐射, $Q'_{p,i}$ 为各月平均光合有效辐射日总量 (卡/厘米²)。

霍治国、张养才^[15]进行山区作物气候生产力估算时，建立了不同山区、坡向及不同高度的光能生产潜力 $Y(Q)$ 公式：

$$Y(Q) = \sum_{i,j} Q \cdot \varepsilon \cdot (1-\alpha) \cdot (1-\tau) \cdot (1-\rho) \cdot (1-N_o) \cdot (1-\omega) \cdot \frac{E}{q \cdot (1-c) \cdot (1-w)} \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, 12, j = 1, 2, \dots, 36$$

ε 为光合有效辐射占投射到作物群体上太阳总辐射的百分比， α 为作物群体对光合有效辐射的反射率， τ 为作物群体透光率， ρ 为植物非光合器官的无效吸收率， N_o 为光饱和点以上未能利用的部分占可利用部分的百分比， ω 为植物呼吸作用消耗的能量占光合作用合成能量的百分率， E 为量子效率， c 为植物中无机养分含量， w 为风干物质含水率， q 为每形成一克干物质平均所需热量（焦耳/克）。

估算光能生产潜力，是研究农业生产潜力的起点和依据，值得注意的有两点：

1) 采取一个系数乘太阳总辐射，实际上是认为：①高光合效能的作物群体在自然界中没有光饱和的问题；②高光效作物群体将阳光转变为植物质的效率与光强成线性关系。这与传统概念有些抵触，但考虑到近些年来有这方面的实验数据，即使传统概念仍然有效，但因光强特别高的天数在我国农业区并不多，所以误差也不至于太大。

2) 各家对光饱和影响的处理有不同方法。龙斯玉的计算公式已考虑到光强和叶面积，黄秉维将一定值以上的光强除去不算，高亮之等参考了武田对水稻群体光合研究所得的经验函数求算在不同叶面积、不同光强与光饱和影响下的相对光合率 LE 。

二、光温生产潜力

光温生产潜力 $Y(Q \cdot T)$ 系指作物在水肥保持最适宜状态时，由光、温度 (T) 两个因子共同决定的产量。它是高投入优管理水平下的特定作物在一地可能达到的作物产量上限。

估算农作物生产潜力不仅考虑按一定的光能利用率摄取能量，还要考虑能量摄取的速率。由于作物种类或品种不同，温度对作物光合速率的影响随之而异，作物光合速率在适宜的温度范围内，随温度增高而加快，超过适温上限，光合速率随温度升高而下降，低于适温下限，光合速率随温度下降急剧的减小，多呈抛物线型。对光能生产潜力进行温度订正求算光温生产潜力 $Y(Q \cdot T)$ 。

$$Y(Q \cdot T) = Y(Q) \cdot f(T)$$

$f(T)$ 为温度影响的订正系数，关于 $f(T)$ 的确定及光温生产潜力的估算公式，国内的研究有以下方面：

黄秉维^[16]考虑 10°C 以上的持续期、作物生长的最低气温条件（无霜期、最暖月平均气温）、作物的越冬条件（最冷月平均气温、年极端低温多年平均值）等对光能生产潜力的影响。

邓根云^[11]采用线性的温度影响的订正函数 $f(T)$ ，分别考虑全年的及玉米的温度影响订正系数。

李克煜^[17]将作物分成喜凉和喜温两类，每一类作物分别取冷限和最适温度的下限。

李继由^[9]采用各阶段实际温度与光合适温的比值作为温度影响订正系数。

文献^[9]^[11]^[17]只考虑了下限温度,并未考虑超过适温的不利影响。

霍治国、张养才^[15]研究作物气候生产力估算模式时,采用温度分段订正的办法,给出了水稻和玉米引用分段温度影响订正系数。

方光迪^[18]进一步考虑了不同类型作物具有不同的温度-光合作用曲线和最适温度。这在估算不同作物光温生产潜力时可以减少可能引起的较大系统误差,并分别就C₄作物、喜凉和喜温作物给出了温度影响订正系数。

陈明荣等^[19]、龙斯玉^[20]、于沪宁^[21]、李秉柏^[22]、王书裕^[10]、高亮之^[8]等人认为温度与光合速率的关系是非线性的,并且不同作物有不同的反应曲线,求出的温度-相对光合速率百分数关系式为:

$$\text{陈明荣: } f(T) = 0.028 + 0.00318T + 0.00352T^2 - 0.000086T^3 \quad (6)$$

式中T为叶温,可用气温代替。

$$\text{龙斯玉: } f(T) = 0.02 - 0.0092T_d + 0.0049T_d^2 - 0.0001192T_d^3 \quad (7)$$

式中T_d为白天温度。

$$\text{于沪宁等: } f(T) = 0.04301T - 0.0005771T^2 \quad (8)$$

$$\text{李秉柏等: } f(T) = -0.469 + 0.1058T - 0.0019T^2 \quad (9)$$

$$\text{王书裕等: } f(T) = 0.0500217T - 0.000694T^2 \quad (10)$$

$$\text{高亮之等: } f(T) = -2.33 + 0.25T - 0.00463T^2 \quad (11)$$

$$f(T) = -1.85 + 0.23T - 0.00463T^2 \quad (12)$$

(9) — (12)各式中T均取平均气温。

$$\text{龙斯玉: } f(T) = A - 0.151T + 0.0056T^2 - 0.00014T^3 \quad (13)$$

$$A = 0.08 - 1/e^{2.8 + T}$$

式中T为白天温度。

公式(6)、(7)、(8)为综合公式,可用于计算总光温生产潜力,(6)、(7)系根据水稻、玉米、小麦三种作物的实验资料求出,(8)系按C₃、C₄植物实验资料拟合,(9)式用于玉米,(11)式用于水稻,(12)式用于粳稻,(13)式用于小麦。(9)、(10)式似不合理,按(9)式计算所得出的相对光合速率最高值为0.80(38°C条件下),到60°C为0.50,70°C仍为0.18;按(10)式计算,最高值为0.90(35°C条件下),40°C仍为0.89,显然都不合理。最适温度下应为1,且38~40°C不可能为最适,而60~70°C时已不能有光合成。

周兆德等^[23]对海南岛热带作物气候生产力进行估算时,认为温度影响订正系数f(T)与积温T的关系接近二次曲线,即 $f(T) = A + BT + CT^2$ 。据此确定橡胶、椰子、胡椒、剑麻等8种主要热作的f(T)。

国内也有学者^[24]采用Wageningen方法用于冬小麦的生产力估算。

郑剑非^[25]、王恩利等^[26]采用FAO计算作物生产力的农业生态区域法估算光温生产潜力。

上述各种光温生产潜力的估算方法归纳起来主要有两类^[27]:

1. 在光能生产潜力基础上的温度订正 以光能利用率为基础的温度订正模式需要的是温度、辐射和生长期资料, 这些资料容易得到, 便于计算, 因此被广泛应用, 但它是在光能生产潜力基础上进行温度订正求算的光温生产潜力, 该法思路不严谨, 机理性不强, 不能充分反映出一地的光温资源对农业生产力形成的影响, 尤其是在土地人口承载能力研究中不适于运用此法计算生产力。

2. 光温生产力综合模式 此模式综合考虑了不同作物不同品种的特性和作物生育及产量形成的动态进程以及作物光合、呼吸与光温之间的关系, 具有理论依据, 机制性较强, 这类方法主要有瓦赫宁根法和农业生态区域法。

瓦赫宁根法与其它方法相比虽然思路严谨, 机理性也较强, 但所适用的作物较少, 不利于大面积应用, 尤其是在研究中所涉及的作物众多, 就不适于运用该法。

农业生态区域法除具有一般综合模式法的优点外, 还比较全面地考虑了影响作物生育的多个气候因素, 该法用到的气候要素都是台站观测的数据, 所用的参数又可以根据作物的特点进行调整, 适用于大面积作物生产力的计算, 在我国被广泛应用, 但运用时应注意对叶面积指数与最大 CO_2 同化速率与温度的关系, 应根据各地的作物品种和生长实际情况进行必要的修正。

此外, 还有动态模拟模式 它考虑了群体的动态进程, 分析作物的光合和呼吸, 直接应用作物的光合作用与光反应之间的关系, 考虑全面, 机理性较强, 但对各种作物计算时都要求有较高的环境因子和作物生长之间的定量表达, 在目前情况下不易办到, 一般难以采用此法。

三、气候生产潜力

气候生产潜力 $f(Q \cdot T \cdot W)$ 系指在养分保持最适宜状态时, 由光、温度和水分三个因子共同决定的产量, 它是优化管理及自然降水条件下一个地区可能达到的作物产量上限。水是植物进行物质生产不可缺少的要素。降水量是最不稳定的环境因子, 因而水分是农业生产潜力中最重要的胁迫因子之一。

对光温生产潜力 $Y(Q, T)$ 进行水分订正求算气候生产潜力。

$$Y(Q, T, W) = Y(Q, T) \cdot f(W)$$

式中 $f(W)$ 表征水分对产量影响的订正系数。关于 $f(W)$ 及气候生产潜力的表达形式, 国内众多学者总结了许多方法。

龙斯玉^[28]取降水量与蒸发力的比值, 表示水分供应的满足度。分别得出了湿生作物(水稻)及旱生作物(玉米和冬小麦) $f(W)$ 函数的解析形式。

邓根云^[11]认为水分对产量的影响表现为土壤的供水量对作物的需水量的满足程度, 可用土壤有效水分含量与田间持水量之比来度量, 即:

$$f(W) = \frac{\mu - \mu_w}{\mu_f - \mu_w} \quad (14)$$

式中 μ 为土壤含水量, μ_w 为作物凋萎时的土壤含水量, μ_f 为田间持水量, 均以一定厚度土

层所含水分量的mm数表示。

国内也有学者^[29]采用Doorenbos的模型, 这和朱志辉等^[30]根据试验资料分析得出的水分影响订正系数一致。

$$f(W) = 1 - \frac{K_y(ET_m - ET_a)}{ET_m} \quad (15)$$

式中, ET_a 为农田某一供水条件下的作物实际蒸散量; ET_m 为充分供水条件下的最大可能蒸散量; K_y 为产量影响系数(经验系数), 其值一般为0.7—1.25, 由Doorenbos提供的25种农作物的平均, 得出 K_y 为0.997 \approx 1。

在草地情况下 ET_m 即为蒸发力 E 。如采用一些人为措施减少迳流, 那么 ET_a 可近似地用 P 代替。

上述实验结果与龙斯玉、江爱良等较早时的考虑不谋而合。

周兆德等^[23]综合了大量资料, 通过分析得出橡胶、椰子、咖啡、胡椒等8种主要热作 $f(W)$ 与降水量 P 近似Logistic曲线的关系。

弓冉等^[31]考虑到自然降水落到地面后, 一部分被蒸发掉, 一部分入渗到土壤之中, 还有一部分通过径流流出, 入渗到土壤的水分又有一部分补给了浅层地下水, 干旱季节浅层地下水又可通过土壤毛细管作用补给土壤水分供植物吸收利用等情况, 给出了水分影响订正系数为:

$$f(W) = \begin{cases} \frac{P + W - f - D}{E_r} & \text{当 } P + W - f - D < E_r \text{ 时} \\ 1 & \text{当 } P + W - f - D \geq E_r \text{ 时} \end{cases} \quad (16)$$

式中, P 为降水量; W 为干旱季节浅层地下水补给土壤水分; f 为径流量; D 为对浅层地下水的补给; E_r 为作物需水量。

对光温生产潜力进行水分订正时, 上述各种方法大多考虑水分亏缺对产量的影响。龙斯玉^[14]、吴连海^[2]、刘乃壮^[32]等增加考虑了根据我国尤其是南方湿润多雨气候特点引起的水有效性过剩水对作物产量负作用的问题。其水分影响订正函数为

$$f(W) = \prod_{i=1}^n (1 - V_i) \times 100\% \quad (17)$$

式中, V_i 为减产率, 生育时段缺水或水分过剩时 V_i 的表达式不同, 当 $V_i > 50\%$ 时, 令 $V_i = 50\%$ 。

高素华^[33]、陈国南^[34]利用Lieth做出的近阿密模型估算气候生产力, 近阿密模型为:

$$TSP(T) = \frac{3000}{1 + e^{1.315 - 0.119T}} \quad (18)$$

$$TSP(P) = 3000(1 - e^{-0.000884P}) \quad (19)$$

上两式中 $TSP(T)$ 、 $TSP(P)$ 为某地植物气候生产力, T 为年平均气温($^{\circ}C$); P 为年平均降水量(mm)。

采用(18)、(19)式同时估算某地植物气候生产力,需用 Liebig 定律取两者中较低值做标准值,为了提高估算的可靠性和精确度, Lieth·H 在 Thornthwaite 研究基础上,给出了用实际蒸散量(蒸发与蒸腾的总和)估算植物气候生产力的 Thornthwaite Memorial 模型。

$$TSP(v) = 3.000[1 - e^{-0.0009630(v-20)}] \quad (20)$$

v ——年平均蒸散量(mm)。

因为蒸散量受太阳辐射、温度、降水量、饱和差、气压、风等一系列气候因子的制约,所以用(20)式估算的植物气候生产力比迈阿密模型的精确度高。

候光良等^[35]根据内屿善兵卫的“筑后数学模型”估算我国植物气候生产力(NPP_m)。

$$NPP_m = 0.29[\exp(-0.216RDI^2)]R_n \quad (21)$$

式中, RDI 为辐射干燥度, $RDI = R_n/lr$, R_n 为净辐射量, l 为水的蒸发潜热, r 为年降水量。

迈阿密数学模型(18)、(19)只考虑单因子(年平均气温或年平均降水量),未能综合考虑环境气候因子的影响,实际计算时,势必出现较大误差,筑后数学模型建立在生理、生态学研究基础上,考虑了较主要的环境气候因子的综合影响,所以计算出的我国各类地区植物气候生产力比较符合实际情况,当水分或温度条件是某一地区植物生长主导限制因子时,按迈阿密模型估算取较低值来代表我国各地植物气候生产力,较接近筑后数学模型的计算结果,但在水分和温度均不是主导限制因子时,迈阿密模型会出现较大误差,而筑后模型计算出的各点值与其自然条件却十分吻合,Thornthwaite Memorial 模型估算出的我国植物气候生产力与筑后模型的估算值十分接近。

水分影响订正系数 $f(W)$ 反映大田作物在自然条件下水分收支状况对作物生长发育和产量形成的影响,山区降水量主要用于山区农田蒸发蒸腾和迳流。当降水量小于农田可能蒸发量时,则迳流量很小,当降水量大于农田可能蒸散量时,则有迳流发生,必须加以考虑。

从农业生产潜力与水分的关系看出:

1. 产量与水分的关系虽然研究较多,但理论上的定量方法还不多见,因此大多采用根据试验资料确定的经验方法。在众多的经验方法中, Doorenbos 等所提出的关系式较为适合于估算水分对作物产量的影响,该模式是联合国粮农组织所推荐的用于灌溉计划的一种方法,也是计算作物气候生产潜力时考虑水分订正的一种方法,在我国应用较广,FAO 给出了不同作物不同发育时段和全生育段的产量反应系数,这些值是在假设相对产量和相对蒸散量之间的关系为线性关系,而且相对蒸散量大于等于 0.5 时得出的,若小于 0.5 时,则所给出的产量反应系数就不一定符合实际。

2. 对于某一地区或季节来说,当土壤水分亏缺时,生产潜力就会下降,而土壤水分过多,也会降低生产潜力,因此,计算农业生产潜力在考虑水分亏缺对产量影响的同时,必须要考虑水分过多对产量的影响,尤其是在我国季风气候盛行的地区更应该考虑水分过多的问题。在研究农业生产潜力与水分关系时,对农田水分平衡公式中的各平衡分量都需进行定量分析,从而确定土壤水分的动态变化,进行水分订正,这正是今后研究的方向。

四、农业自然生产潜力（或土地生产潜力）

农业自然生产潜力 $Y(Q, T, W, S)$ 系指由光、温度、水分和土壤肥力四个因子共同决定的产量，它是优管理条件下实际生产丰产年一个地区可能达到的作物产量，比较接近现实生产潜力，农业自然生产潜力反映了土壤和气候条件对潜在生产能力的影响。

对气候生产潜力进行土壤肥力订正后求算农业自然生产潜力 $Y(Q, T, W, S)$ 。

$$Y(Q, T, W, S) = Y(Q, T, W) \times f(S)$$

$f(S)$ 为土壤肥力订正函数，关于 $f(S)$ 的确定，国内外研究不多，国内提出的有以下几个方面。

梁荣欣^[36]用土壤实际供肥量 $\eta(Q' + B')$ 与形成光、温、水潜力的需肥量 A 之比来表示土壤肥力函数 $f(S)$ 。

$$f(S) = \frac{\phi}{A} = \frac{\eta(Q' + B')}{A} \quad (22)$$

式中， ϕ 为作物从土壤中摄取的养分量，需肥量 A 根据气候生产潜力值推算出来， Q' 为施肥量， B' 为施肥前土壤化验得到的速效 N 、 P 、 K 的含量， η 为利用系数，此方法只注重土壤的养分方面。

孙惠南^[37]以最高肥力土壤养分订正函数 $f(S)$ 为 0.90，按各地自然条件及肥力状况进行修正，这对各地来说太笼统了。

孙玉亭等^[38]确定的土壤基础肥力订正函数可写成：

$$f(S) = [0.78 + 0.03/W_j] \times B \quad (23)$$

土壤肥力等级采用面积加权平均。此方法按等级评价处理，得订正系数介于 1.03~0.90 之间，显然 $f(S) > 1$ 是不妥当的，但按各等级进行面积加权平均是可取的。

杨子生^[39]也用土壤自然供肥量对形成气候生产潜力所需肥量的满足程度来表示土壤影响函数 $f(S)$ 。

$$f(S) = \frac{Nn \cdot VWch \cdot Tch}{1.5 \cdot NR \cdot Y(Q, T, W)} \quad (24)$$

式中， Nn 代表养分 ppm，系指速效养分量（即碱解氮、速效磷、速效钾），它能较好地反映近期内土壤供应养分的水平，而不是反映土壤养分总蓄量的养分全量（全氮、全磷、全钾）、 $VWch$ 和 Tch 分别代表耕层容量和耕层厚度， NR 为主要作物每百公斤产量所需养分量。

王恩利等^[26]考虑到影响农业生产潜力的土壤因子包括土壤质地、土层厚度、土壤有机质、土壤坡度等，综合考虑各因子及专家的经验，对气候生产潜力进行土壤订正采用如下方法：1）、进行土壤分类：参照 FAO 的世界土壤图和我国土壤分类法，采用专家评议，把黄淮海地区的主要土壤大致分为 10 类，2）、采用土壤产量反应系数 C_s ，基于小麦和玉米对不同类型土壤的适应性，将上述 10 类土壤归并成 1—5 级，其小麦和玉米的产量影响订正系数 C_s 分为 5 档（1.00、0.85、0.75、0.65、0.50），对各县气候生产潜力进行土壤订正时，先

查出每个县的主要土壤类型，然后以其 C_s 乘以本县的气候生产潜力 $Y(Q, T, W)$ ，得出农业自然生产潜力。

刘乃壮等^[32]考虑影响农业生产潜力的土壤因子时，在分析江苏各地上壤的质地、酸碱度、有机质与全氮含量、土层厚度、排水性和地下水位等性状进行综合评分的基础上，令基本上能满足气候生产力需求肥力的土壤产量订正系数 $K' = 1$ ，并令最差的 $K' = 0.4$ ，则依对作物生长的适宜性，全省约30种主要农田土类归纳为高产土壤（ K' 值1.0—0.85），中产土壤（ K' 值0.70左右）和低产土壤（ K' 值0.55—0.40）3个等级，不同作物类型因对土壤要求不同，有不同的产量订正系数，最后确定各农业区的平均土壤产量订正系数（ X ）。确定相应的变异系数（ $C.V.$ ），它反映各区土壤微变化的大小。

沈思渊、席承藩^[40]考虑到土壤条件与作物产量响应关系的复杂性，暂用最低因子律模型：

$$I_s = \min(Z \cdot T \cdot B \cdot O_m \cdot H \cdot E_c \cdot N_u) \quad (25)$$

式中， Z 、 T 、 B 、 O_m 、 H 、 E_c 、 N_u 分别为土壤剖面、表土质地、土壤耕层结构、土壤有机质、土壤酸碱度、土壤代换量、土壤养分等指数，可用近似的特征函数表示。求得各土壤类型的土壤肥力指数后，可计算出各种土壤的农业自然生产潜力值。再以其分布面积的百分数为权重，计算各县的加权平均值，作为某县的农业自然生产潜力。

根据本模型计算的农业自然生产潜力值与农业生产的实际亩产十分接近，本模型欠缺之处是综合模型中各分室模型的链接还不够完善，特别是光温水对生产力的影响函数与土壤性质对生产的影响函数间的脱节还未完全解决。这正是今后研究的重点和方向。

根据各因子对产量影响的动态分量模型，再用逐阶乘模型将它们综合，可以建立农业自然生产潜力的计算模型。

以上介绍的传统的生产潜力研究方法有许多优点，但它的计算过程是非常繁琐的，成图也需花费大量时间，为了快速、有效地计算生产潜力，并能较好地绘制有关图件，冷疏影^[41]研究了在地理信息系统（GIS是一个计算机化的地理信息的数字分析处理系统）支持下，分析了全国671个气象台站的30年地面气象资料及地带性或大面积土壤的物化性质及养分状况资料，对影响生产力的光、温度、水分、土壤诸要素分别进行分析、计算，尤其对土壤要素的处理进行了新尝试，土壤有效系数是在分析8种土壤要素（土壤的质地、酸碱度、氮、磷、钾、有机质含量、侵蚀状况、盐渍化程度），并考虑海拔、地形的影响因素的基础上，采用评估、打分的方法求得的，完成了我国农业生产潜力的计算及成图工作。

总的来说，近10多年来我国农业生产潜力的研究工作进展很快，已由对大田作物的估算，发展到对柑桔、橡胶、毛竹等多年生作物的估算以及各树种生产力的估算，研究层次从光能生产潜力、光温生产潜力、气候生产潜力发展到农业自然生产潜力，现实生产力与实际产量，在方法上由传统的生产潜力研究方法进到计算机化的地理信息的数字分析处理系统支持下的新方法，研究范围从平原发展到山区，而且紧密与农业生产结合并得到广泛应用。

参 考 文 献

- [1] R.S.Loomis, W.A.Williams. Crop Science, 3 (1), 1963.
- [2] 吴连海等.冬小麦生产力估算方法研究.自然资源学报, 1期, 1991.
- [3] 竺可桢.论我国气候的几个特点及其与粮食作物的关系.地理学报, 1964, 39 (1):
- [4] 黄秉维.自然条件与作物生产——光合潜力, 中国农业科学院情报所, 1978.
- [5] Huang Bingwei. The Environment, Chinese and American Views, 1986.
- [6] 龙斯玉.我国生理辐射分布及其生产潜力.气象科技资料, 1976年第四期, 农业气象附集, 1976.
- [7] 卢其尧.我国水稻生产光温潜力的探讨.农业气象, 1期, 1980.
- [8] 高亮之.中国水稻的光温资源与生产力.中国农业科学, 1期, 1984.
- [9] 李继由.我国不同地区的作物光合生产潜力的计算.农业气象, 4期, 1980.
- [10] 王书谔.东北及内蒙古东部地区水稻的光温气候潜力.自然资源, 4期, 1981.
- [11] 邓根云.气候生产潜力的季节分配与玉米的最佳播期.气象学报, 2期, 1986.
- [12] 侯光良等.我国气候生产力及其分区.自然资源, 3期, 1985.
- [13] 龙斯玉.我国气候生产力研究之二——我国小麦最高产量.农业气象, 2期, 1981.
- [14] 龙斯玉.我国小麦气候生产力的地理分布.南京大学学报(自然科学版) 3期, 1983.
- [15] 霍治国等.亚热带东部丘陵山区作物气候生产力研究.气象科学研究所院刊, 3期, 1989.
- [16] 黄秉维.自然条件与作物生产——温度, 农业现代化概念, 光能与气候资源利用(初稿).中国农业科学院科技情报研究所编, 1978.
- [17] 李克煌.河南作物生产潜力的估算和分析.农业气象, 3期, 1981.
- [18] 方光迪.三江地区光、热资源及作物生产潜力.气象学报, 3期, 1985.
- [19] 陈明荣.秦岭地区气候生产潜力.西北大学学报(自然科学版), 1期, 1976.
- [20] 龙斯玉.江苏省农业气候生产潜力的探讨, 农业气象科学, 1期, 1983.
- [21] 于沪宁等.光热资源和农作物的光热生产潜力——以河北省栾城县为例.气象学报, 3期, 1982.
- [22] 李秉柏.作物的光合生产及实际产量模拟模式的初步分析.农业气象, 4期, 1986.
- [23] 周兆德.海南岛热带作物气候生产力的估算方法.热带地理, 1期, 1988.
- [24] 吴连海等.中国东部地区冬小麦生产力估算及其应用.中国农业气象, 3期, 1990.
- [25] 郑剑非等.北京市冬小麦气候生产潜力及干旱期最佳灌水方案.农业气象, 4期, 1982.
- [26] 王恩利等.黄淮海地区冬小麦、夏玉米生产力评价及其应用.中国农业气象, 2期, 1990.
- [27] 吴连海.土地人口承载潜力研究中作物生产力估算方法评价.中国农业气象, 1期, 1992.
- [28] 龙斯玉.江苏省农业气候资源生产潜力及区划的研究.地理科学, 3期, 1985.
- [29] 张剑光.重庆市农业自然生产潜力研究.资源开发与保护, 3期, 1989.
- [30] 朱志辉.我国陆地生态系统的植物太阳能利用率.生态学报, 4期, 1985.
- [31] 弓冉等.水分对光温生产潜力的影响——河北省农业气候生产潜力初探.河北气象.
- [32] 刘乃壮等.江苏省粮食作物气候——土壤生产力与人口承载量研究, 南京气象学院学报, 2期, 1991.
- [33] 高素华等.海南岛农业气候生产力的估算.热带气象, 4期, 1986.
- [34] 陈国南.用迈阿密模型测算我国生物生产量的尝试.自然资源学报, 3期, 1987.

- 〔35〕 侯光良.用筑后模型估算我国植物气候生产力.自然资源学报, 1期, 1990.
- 〔36〕 梁荣欣.水稻的气候土壤生产潜力估算.自然资源, 2期, 1984.
- 〔37〕 孙惠南.自然地理学中的农业生产潜力研究及我国农业生产潜力分析特征,地理集刊, 17: 23, 1985.
- 〔38〕 孙玉亭等.黑龙江省土地——气候生产潜力评价.中国农业气象, 1期, 1988.
- 〔39〕 杨子生.四川西昌市土地生产潜力评价的探讨,自然资源, 4期, 1990.
- 〔40〕 沈思渊、席承藩.淮北涡河流域农业自然生产潜力模型与分析.自然资源学报, 1期, 1991.
- 〔41〕 冷疏影.地理信息系统支持下的中国农业生产潜力研究.自然资源学报, 1期, 1992.

THE DEVELOPMENT OF STUDYING THE POTENTIALITY OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN CHINA

Guo Qifeng Fu Shuoling

(Guangxi Agricultural University)

Abstract

The potentiality of agricultural production is the content of new and developing study in recent more than ten years. It is a fundamental duty in making a study of agricultural science, geography and other ecology. In this paper, we re-clarify the concept of crop productivity, put forth that the productivity contains many levels and that each level represents different productivity and has different limiting factors, and give a definition to each level. Proceeding from the atmosphere-crop-soil system, we summarize the calculation method of the potentiality of agricultural production. In this paper we review the outline in the past study, synthesize systematically the success in recent study and look forward to the coming scene.