

海伦地区粮食生产资源利用系统分析

马 岩 陈利顶

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085)

摘 要:采用机制法对作物生产潜力模型进行了光、温、水、土逐级订正,对海伦地区的主要粮食生产潜力进行估算;并选取产量衰减量、资源满足率和资源增产潜力三个指标评价了农业资源的利用效率。结果表明,光合生产潜力为 16801.4kg/hm²,光温生产潜力为 12483.9kg/hm²,气候生产潜力为 9799.1kg/hm²,农业自然生产潜力为 8248.4kg/hm²。如果以光温生产潜力作为目标产量,海伦地区尚有 74.01%的上升潜力,且玉米的资源增产潜力高于大豆。社会经济因素是影响生产潜力实现的重要因素,自然资源中温度对产量的限制作用最大,其次是水分和土壤。在此基础上结合实地考察,对当地的粮食生产资源进行了系统分析,寻找影响粮食产量持续增长的限制性因素。

关 键 词:作物生产潜力;资源利用效率;系统分析;海伦地区

1 引言

作物生产潜力(Crop potential productivity)是指作物现有优良品种在其生长期,在一定外界环境条件下可能获得的单位面积最高产量。研究作物生产潜力,可以准确地评价农业资源系统的基本特征,揭示影响作物产量的限制因素,对于合理开发与利用一个地区的农业资源,提高农田生产力,具有指导意义。东北地区是全国的重要商品粮基地。海伦地区位于黑龙江中部,主要以种植业为主,该区雨热同期,土壤肥沃,具有很高的气候生产潜力;然而由于缺乏对粮食生产潜力的认识,目前该地区粮食产量不稳定,农业现实生产力水平与生产潜力之间仍存在着较大差距。进行生产潜力估算,其结果不仅可以直接反映生产力水平以及光、温、水、土和社会经济因素的配合协调程度,还可以从不同阶段潜力值所反映出来的各影响因素对生产力衰减程度的差异中,分析出不同影响因素对生产力影响的大小,从而找到某地区或某种作物生产中的主导限制因素^[1]。

本文利用前人研究和月平均农业气象数据,计算了海伦地区主要农作物玉米和大豆的各级生产

潜力及农业资源利用效率,为该地区农业资源管理与合理开发提供依据。

2 研究方法

2.1 作物生产潜力计算方法

由于深受 De Wit^[2]限制因子影响作物生产系统思想的影响,通常将农业生产潜力划分为光合、光温、光温水 and 农业自然生产潜力四个层次^[3-8],其函数式为:

$$P_{amp} = s_{gr} \times \beta_Q \times \beta_T \times \beta_P \times \beta_S \quad (1)$$

式中: P_{amp} 为农业自然生产潜力, s_{gr} 为海伦多年平均太阳总辐射量(MJ/m²), β_Q 、 β_T 、 β_P 、 β_S 分别为光合、温度、水分和土壤有效系数。

2.1.1 光合生产潜力

光合生产潜力是指单位时间、单位面积上,具理想群体结构的高光效作物品种在空气中二氧化碳含量正常、其他环境因素均处于最佳状态时的最大干物质产量。作物生物产量不受其他自然条件的制约,仅由太阳辐射能量决定,即各项因素都不是产量形成的限制因素时,作物的最大可能产量^[9]。单位为 kg/hm²。光合生产潜力(P_{pp})的估算方法很多,我们采用王宗明^[10]的方法,计算公式如(2):

$$P_{pp} = S_{gr} \times \beta_Q = \frac{C \times S \times \varepsilon \times \varphi \times (1-\alpha) \times (1-\beta) \times (1-\rho) \times (1-\gamma) \times (1-\omega) \times f(L) \times E \times S_{gr}}{q \times (1-\eta) \times (1-\xi)} \quad (2)$$

收稿日期:2009-01; 修订日期:2009-04.

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2005CB121107);国家自然科学基金项目(40621061)。

作者简介:马岩(1981-),女,博士研究生,主要从事农业资源管理、可持续农业研究。E-mail: mayan1981912@126.com

通讯作者:陈利顶(1965-),E-mail: liding@rcees.ac.cn

式中: C 为单位换算系数, 取 666.7, P_{pp} 为单位面积光合生产潜力 kg/hm^2 , S_g 为海伦多年平均太阳总辐射量 (MJ/m^2), $S_g=111.32 \text{ kcal}/\text{cm}^2=19656 \text{ MJ}/\text{m}^2$, 其他参数的意义和取值如表 1 所示。

2.1.2 光温生产潜力

光温生产潜力 (P_{tp}) 是指单位时间、单位面积上, 作物在其他自然条件均适宜, 以光能和温度条件为决定因素时生产的干物质量。与光合生产潜力概念的不同之处在于, 其考虑了气温条件对作物生长的限制, 即指在作物临界下限温度和上限温度范围内, 重点是适宜温度期间的光合生产潜力。光温生产潜力的估算公式为: $P_{tp}=\beta_T\times P_{pp}$ (3)

温度衰减过程的订正是利用月平均温度分段进行订正, 本文采用马树庆^[11-12]针对东北地区实际情况的温度修正函数:

$$\beta_T=\frac{(T-T_1)\times(T_2-T)^B}{(T_0-T_1)\times(T_2-T_0)^B}$$

(4)

$$B=\frac{T_2-T_0}{T_0-T_1}$$

(5)

式中: T 是 5-9 月各月的平均气温, T_0, T_1, T_2 是作物生产的三基点, 即不同作物在该时段内生长发育的最适温度、下限温度和上限温度(表 2)。

2.1.3 气候生产潜力

气候生产潜力 (P_{cp}): 亦称光温水潜力。指单位时间、单位面积上, 土壤养分充足时农作物的最大可能产量。主要分析不同作物品种、不同气候条件下的产量, 考虑了太阳辐射、气温、降水、蒸发、作物蒸腾量、地下潜水补给等条件。

气候生产潜力的估算公式为: $P_{cp}=\beta_p\times P_{tp}$ (6)

式中: β_p 为水分有效系数, P_{tp} 为光温生产潜力。目前关于气候生产潜力的估算仅是粗略的, 这种粗略性主要表现在 β_p 值的确定。本文采用如公式(7)

计算 β_p :

$$\beta_{pi}=1-\frac{k\times|\Delta W_i|}{W_i}$$

(7)

$$\Delta W_i=R_i-W_i, W_i=E_i\times\alpha_i$$

(8)

式中: R_i 为 5-9 月各月平均大气降水, k 为经验参数, 当时 $W_i<2\text{mm}$ 时, 农田水分过多, $k<1$, 本文取 0.8; 当时 $W_i\geq 2\text{mm}$, 水分适中或偏少, $k=1$ 。 W_i 为某时期、某作物的需水量 (mm), E_i 为蒸发力, 计算公式采用李春云^[13]提出的风速修正后的简便算法:

$$E=0.0003(25+t)^2(100-f)(3+u)$$

(9)

t, f, u 分别为月平均气温、相对湿度和风速。 α_i 为作物不同时期的作物系数(表 3)。

2.1.4 农业自然潜力

农业自然生产潜力 (P_{ap}): 亦称农业生产潜力, 即单位面积土地上每年所能获得的最大可能产量。一般指自然条件下的农业, 单位为 kg/hm^2 。农业自然生产潜力与农业气候生产潜力 (P_{cp}) 的区别在于加入了土壤因素。其估算公式为: $P_{ap}=\beta_s\times P_{cp}$ (10) 式中: β_s 为土壤有效系数。 β_s 值的取得不像温度有效系数和水分有效系数那样易于处理。因为土壤对产量的影响很复杂, 不易直接确定一个可以通用的数值, 一般先进行一系列分析, 然后再综合叠加成一个近似系数。本文采用靳京^[14]的计算结果, β_s 取值为 0.84。

表 1 计算光合生产潜力各参数的意义及取值

Tab.1 Meanings and values of the parameters in photosynthetic potential productivity

参数	物理意义	玉米	大豆
S	作物光合固定 CO_2 的比例	1.000	0.600
ε	光合辐射占总辐射的比例	0.490	0.490
ϕ	光合作用量子效率	0.224	0.224
α	职务群体反射率	0.080	0.100
β	职务繁茂群体透射率	0.060	0.100
ρ	非光合器官截获辐射比例	0.100	0.100
γ	超过光饱和点光的比例	0.010	0.100
ω	呼吸消耗占光合产物的比例	0.300	0.350
$f(L)$	作物叶面积动态变化订正值	0.580	0.500
E	作物经济系数	0.400	0.350
q	单位干物质含热量	17.200	23.100
η	成熟谷物的含水率	0.150	0.150
ξ	植物无机灰分含量比例	0.080	0.080

源自:参考文献[10]

表 2 主要作物高产条件下的三基点温度($^{\circ}\text{C}$)

Tab.2 Base temperatures of main crops under productive conditions in Northeast China

月份	生长发育期	玉米			大豆		
		T_0	T_1	T_2	T_0	T_1	T_2
5	苗期	20.0	8.0	27.0	18.5	7.5	26.0
6	营养生长期	24.5	11.5	30.0	23.5	10.0	30.0
7	营养、生殖并进期	27.0	14.0	33.0	26.0	13.0	32.0
8	开花/灌浆期	25.5	14.0	32.0	24.5	14.0	30.5
9	灌浆成熟期	19.0	10.0	30.0	18.0	10.0	30.0

源自:参考文献[11]、[12]。

表 3 主要作物各发育期作物系数值

Tab.3 Crop coefficients in different cropping seasons in Northeast China

月份	玉米	大豆
5	0.40	0.45
6	0.80	0.90
7	1.26	1.32
8	1.25	1.30
9	0.73	0.75

源自:参考文献[10]

2.2 农业资源利用效率评价

本文采取产量衰减量、资源满足程度、资源潜力指数、资源利用效率,以揭示粮食现实产量与生产潜力之间的差距,寻找粮食生产的限制性资源因子^[15]。产量衰减量表达式为:

$$\Delta P_i = P_{i-1} - P_i \quad P_i \in [P_{pp}, P_{ip}, P_{cp}, P_{amp}, RP] \quad (11)$$

RP 为现实产量。

资源满足程度表达式为:

$$Cr_i = P_i / P_{i-1} \quad P_i \in [P_{pp}, P_{ip}, P_{cp}, P_{amp}, RP] \quad (12)$$

资源潜力指数表达式为:

$$I_i = \frac{P_i - RP}{P_i} \quad P_i \in [P_{pp}, P_{ip}, P_{cp}, P_{amp}, RP] \quad (13)$$

2.3 区域粮食生产潜力

区域粮食生产潜力利用作物结构进行订正得

到作物总体生产潜力:
$$Y_f = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (14)$$

式中:Y_f为农业生产潜力,P_i为作物生产潜力,R_i为作物种植比例。

3 研究结果分析

3.1 主要作物生产潜力分析

取海伦地区 1980–2005 年多年气象数据,以 2000–2006 年粮食生产平均值为作物现实产量,进行主要作物生产潜力估算 (表 4)。采用 2000–2006 年数据平均值代入公式,玉米平均种植比例 35.6%,大豆平均种植比例 64.4%。光合生产潜力 16801.4 kg/hm²,光温生产潜力为 12483.9 kg/hm²,

气候生产潜力为 9799.1 kg/hm²,农业自然生产潜力为 8248.4 kg/hm²,现实产量为 3244.3 kg/hm²。

3.2 农业资源利用效率评价

表 5 显示了海伦地区粮食生产潜力衰减量以及不同资源对于粮食生产的满足程度。在自然状况下,温度、降水、土壤的平均满足程度分别为 74%、78%、84%。海伦地区的热量条件有限,降雨分布不均与,但由于玉米和大豆都属于秋粮,在其生长期期间热量和降水都基本可以满足正常生长的要求。黑土土壤结构良好,养分含量高,对粮食生产满足

表 4 主要作物不同资源限制下的生产潜力估算

Tab.4 Main crop potential productivity estimation under different constraint conditions

评价环节	评价因子	变量值/(kg/hm ²)	
		玉米	大豆
太阳总辐射	日照情况	990500	791000
光合有效辐射	光质特点	495250	395500
光合生产潜力	光能因子	31871	8471
光温生产潜力	温度条件	22947	6700
气候生产潜力	水分因子	18128	5226
农业自然生产潜力	土壤肥力	15228	4390
作物现实产量	管理制度、经济特性	5611	1936

表 5 海伦地区农业资源利用评价结果

Tab.5 The result of agricultural resources utilization appraisal in Hailun County

评价指标	评价类别	玉米	大豆	平均
产量衰减/(kg/hm ²)	热量衰减度	8924	1771	4317
	降雨衰减度	4819	1474	2685
	土壤衰减度	2900	836	1551
	社会经济衰减度	9617	2454	5004
	资源满足程度/%			
资源满足程度/%	热量满足度	72.00	79.09	74.30
	水分满足度	79.00	78.00	78.49
	土壤满足度	84.00	84.01	84.00
	社会经济满足度	36.85	44.10	39.33
	资源潜力指数/%			
资源潜力指数/%	光合资源潜力	82.39	77.15	80.69
	光温资源潜力	75.55	71.10	74.01
	水资源潜力	69.05	62.95	66.89
	土地资源潜力	63.15	55.90	60.67

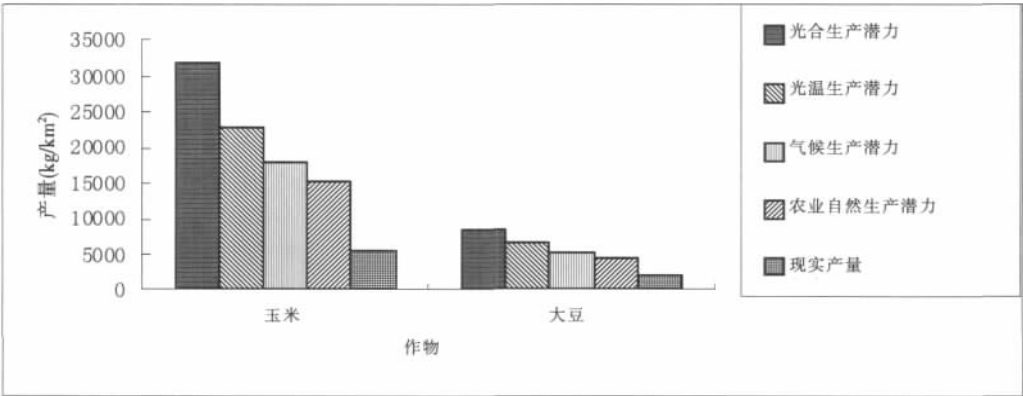


图 1 海伦地区主要作物不同层次生产潜力递减示意图
Fig.1 Main crops productivity loss at different potential levels

度最大。此外,海伦地区的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最高,对作物生长的满足度最低,不能满足作物高产的要求。从资源增产潜力角度分析,海伦地区增产潜力较高。如果以光温生产潜力作为目标产量,海伦地区尚有 74.01% 的上升潜力;即使保持现有的雨养农业现状,通过改良土壤、种子等技术,粮食产量也有望翻一番。

对于不同种类的作物,自然资源的供给状况基本相同。但由于作物生理差异导致资源对不同作物的利用效率不同。玉米的资源满足程度低于大豆而资源增产潜力高于大豆。这说明,如果单纯追求产量的前提下,可以在农田管理上把更多的精力放在玉米上,以满足其产量增长的需要。如果考虑大豆经济价值高于玉米,想要稳定产量还有待于农业生产中社会经济因素的不断改善。

4 粮食生产的资源利用系统诊断

基于粮食生产潜力分析,结合相关资料和实地考察,对海伦地区农业资源进行系统诊断,如下:

4.1 光能对粮食生产有效程度高

海伦地区太阳辐射资源比较丰富,季节分配与粮食作物生长一致性高,正常年份能够满足粮食作物的生长需要。因此,光能对光合作用形成产量有效程度高,太阳辐射不构成影响粮食作物正常生长的限制因素。提高作物的光合生产率,可以采取合理安排作物群体布局结构,例如合理密植或不同作物的间种、套种或复种等尽量减少土地的空闲时间。二是培育高光效的品种,选用具有光合作用能力高,叶面积适当,株型、叶型合理,适合高密度种植,不倒伏的品种。

4.2 温度对粮食生产限制程度不高

海伦地区有效积温在 2300~2600℃ 之间,积温虽然较低,但基本可以满足农作物一年一熟的要求。热量资源主要集中在生长的夏季,且昼夜温差很大,有利于作物生长过程中干物质的积累。但应该看到,热量是东北地区最主要的资源限制因素,无霜期短,只能满足农作物一年一熟。这就使得光、水、土地资源的利用率受到了严格的限制,最终影响到农作物产量的提高。根据上述认识,应采取如下措施:一是大量种植喜凉耐低温的作物,例如甜菜、马铃薯等;二是培育早熟和抗寒品种;三是地面

覆盖,例如地膜覆盖保持低温。

4.3 水分对粮食生产限制程度不高

海伦地区年降雨量在 500~600 mm 之间,而 88% 集中在 5~9 月的生长季中。从总体来说,水分条件可以满足农作物生长发育的需要。由于不具备普遍灌溉的条件,天然降水是海伦地区粮食生产最主要的水分来源。降雨量时间和空间上分配的不均匀,使得旱、涝灾害发生得很频繁,对农业生产的危害很大。应采取:一是农田水利设施建设是东北地区粮食增产稳产的关键。加强对现有水库、水渠及防洪坝的修复,适量新建水利枢纽工程,完善农田灌溉系统,缓解水资源区域供需矛盾,实现水资源的优化配置,提高农业的防灾减灾能力。二是应用塑料薄膜覆盖农田,既可以提高土温又可以起到保墒的作用。三是植树造林。四是培育耐旱、耐涝的作物品种,合理布局作物栽培。

4.4 土地对粮食生产限制不高

海伦地区地域广阔,地势从东北到西南为低丘陵、高平原、河阶地、河漫滩依次降低,境内无高山峻岭,大部分为波状起伏的高平原,坡度不大。总土地面积 466726 hm^2 ,2002 年耕地面积约 255810 hm^2 。土壤种类中以黑土为主,占总土地面积的 62.70%,其次为草甸土 24.40%,此外还有水稻土、沼泽土、白浆土、暗棕壤等。土壤肥沃,有机质含量为 3%~5.5%,土壤团粒结构良好,有利于作物生长。

4.5 社会经济条件是限制粮食生产的重要因素

海伦地区社会经济资源总体上处于较低水平,满足率最低,成为影响旱作生产潜力实现的最主要的因素,不能满足作物高产的需要。通过对当地情况来看,农业生产经营中主要有以下几个方面:

4.5.1 物质能量投入水平低

黑土区以水分、养分条件好,有机质高,团聚体好著称。但是,农业管理长期采取粗放方式,管理不合理,施肥不足,农业机械化程度较低。海伦化肥、农药使用量较低,平均化肥施用量为 151 kg/hm^2 ,较全国平均水平(356 kg/hm^2)低 57.6%。这些导致农田养分和水分循环系统受到破坏,土壤肥力明显下降,已成为作物产量持续增长的重要限制因素。

4.5.2 科技作用未充分发挥

新技术和传统生产技术有机结合和创新在粮食生产中所起作用毋庸置疑,但通过实地考察,海伦地区粮食生产中,科技应有的作用远未充分发挥。1990 年以来东北地区玉米和水稻的单产水平

均超过世界平均水平,但明显低于欧盟水平,这主要原因是科技含量不高。目前东北地区农业的科技进步贡献率在 46%左右,大大低于发达国家 70%以上的水平^[16]。当地农民难以接触到适合当地的最新生产技术,科学技术不能真正发挥潜力。因而,当前科学技术对粮食生产贡献远未达到决定性的作用,这也是当地粮食生产水平不稳定,易受灾害影响的原因。

4.5.3 粮食作物结构效应未能有效发挥

东北地区农村的主要收入目前仍然是种植业。但是,由于种植结构不合理,粮食品质差,导致粮食竞争优势减弱,农民卖粮难,收入下降。种植业结构调整的过程中应在确保粮食安全的前提下,发展畜牧业和农产品加工业,提高农产品质量。

5 结论

本文对海伦地区的主要粮食生产潜力进行了估算,与已有研究结果对比^[15,17-19],本研究对主要作物不同层次上作物生产潜力计算较为可靠。研究结果表明海伦地区主要作物光合、光温、气候、农业自然潜力较大。如果以光温生产潜力作为目标产量,海伦地区尚有 74.01%的上升潜力,且玉米的资源增产潜力高于大豆。社会经济因素是影响生产潜力实现的重要因素,自然资源中温度对产量的限制作用最大,其次是水分和土壤。在此基础上,提出了提高该地区作物产量的主要措施。

参考文献

- [1] 江爱良. 农业气象与农业发展. 中国农业气象, 1990, 11 (1): 1-4.
- [2] De Wit C T. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, 1978: 1-140.
- [3] Loomis R S, Williams W A. Maximum crop productivity: An estimate. Crop Science, 1963, 3(5): 11-18.
- [4] Higgins G M, Higgins G H, Kassam A H. 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.
- [5] Wallace J S. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agricultural, Ecosystem and Environment, 2000, 82(6): 105-119.
- [6] Gordon R C, Edward B B. After the Revolution-Sustainable Agriculture for Development. Arskent Limited Company, 1990, 1-52.
- [7] 陈百明. 土地资源学概论. 北京: 中国环境科学出版社, 1996, 114-139.
- [8] 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, 108-110.
- [9] 左大康. 现代地理字典. 北京: 商务出版社, 1990, 36-38.
- [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. 生态科学, 2007, 26(4): 351-360.
- [11] 马树庆, 白亚梅. 东北区农业气候土壤资源潜力及开发利用研究. 地理科学, 1995, 15(3): 243-252.
- [12] 马树庆. 吉林省农业气候研究. 北京: 气象出版社, 1996, 85-88.
- [13] 李春云, 戴玉杰, 姜秀萍. 蒸发势的一种计算方法. 内蒙古气象, 2000, 1: 27-29.
- [14] 靳京. 县域粮食生产的资源利用效率系统分析模型的建立与应用. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2005: 41-42.
- [15] 戴尔阜, 王昊, 吴绍洪. 东北温带旱作农业主要粮食生产潜力及资源利用效率评价. 地理研究, 2007, 26 (3): 461-469.
- [16] 周慧秋, 王常君. 东北地区粮食综合生产能力分析. 东北农业大学学报, 2006, 4(1): 5-8.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.

Systematical Analysis on Agricultural Resources Utilization in Hailun County Based on Crop Potential Productivity

MA Yan, CHEN Liding

(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology,

Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China)

Abstract: By using the mechanism methodology, the model for potential agricultural productivity was established. Effective coefficients for factors such as radiation, temperature, water and land were identified. This paper estimated the main crops potential productivity in Hailun County, and established agricultural resources utilization assessment which is composed of productivity loss value, contented index and yield potential index based on the productivity of different levels. The result showed that the photosynthetic potential productivity was 16801.4 kg/hm^2 , the temperature potential productivity was 12483.9 kg/hm^2 , climate potential productivity was 9799.1 kg/hm^2 , and agricultural potential productivity was 8248.4 kg/hm^2 . If the temperature potential productivity is regarded as the highest productivity that can be realized, there was still 74.01% of potential on main crops in Hailun County and yield potential of maize was higher than that of soybean. The social and economic conditions were the key restricting factors and in natural resources temperature played the most important role in restricting crop productivity, and then moisture and soil fertility condition. On this basis and site-investigation, we analysed systematically local crop productivity resources. By this way we can find the main restricting resource factors to achieve the purpose of appraising agricultural resources utilization efficiency comprehensively.

Key words: crop potential productivity; resources utilization efficiency; systematical analysis; Hailun county