

陕西省耕地生产能力的时空分布

李建平¹, 上官周平^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘要: 为了明确陕西省耕地生产能力的现状, 该文利用 2008—2010 年陕西省各县平均粮食产量数据, 结合 GIS 分析描述陕西省各县耕地实际利用强度、理论利用强度、耕地可实现增产潜力和理论增产潜力及其空间分布变化规律; 利用 1978—2008 年陕西省粮食产量和消费数据计算耕地压力指数的时序变化规律。结果表明: 耕地实际利用强度较小地区集中在陕北中部、关中西部, 这些地区提高利用强度空间较大, 是生产技术投入和劳动力投入的主要区域; 耕地理论利用强度呈现出中西部地区高, 北部和东南部地区低的分布规律; 耕地压力指数时序表明陕西省自 1978 年以来, 耕地压力年际间波动较大, 近几年由于科技进步和政策导向致使耕地压力减小, 耕地保护与耕地占用之间矛盾缓和; 可实现增产潜力较大区域分布于陕北中部和关中西部, 而陕南大部分地区可实现增产潜力较小, 陕北北部和关中北部可实现生产潜力居中; 耕地理论增产潜力呈东南部高, 西北部低的空间分布规律, 该文为陕西省耕地利用规划、土地整理和粮食安全提供科学依据。

关键词: 土地利用, 生产能力, 地理信息系统, 耕地, 利用强度, 压力指数, 陕西省

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.10.038

中图分类号: S28

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-10-0239-08

李建平, 上官周平. 陕西省耕地生产能力的时空分布[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 239—246.

Li Jiangping, Shangguan Zhouping. Spatial-temporal distribution of cultivated land production capacity in Shaanxi province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(10): 239—246. (in Chinese with English abstract)

0 引言

耕地是一个国家或地区粮食生产的物质基础, 直接关系到国家或区域粮食安全、农村经济发展和农村社会的稳定。随着中国工业化、城市化的推进和生态工程的建设, 耕地数量逐年缩减^[1-3]、耕地质量退化严重^[4-5], 但人口数量和人均粮食消费量呈增加趋势, 所以提高耕地的生产能力以及大力提高土地资源的使用效率是解决粮食安全的重要途径^[6-7], 同时也是确保粮食数量安全的重要保障^[8-10]。耕地生产能力可以通过耕地利用强度和耕地生产潜力来反映, 因此, 对耕地利用的评价与生产潜力的研究是非常必要的, 不仅可以掌握各区域土地利用强度和生产能力分布的规律, 也可以为各区域耕地利用效率的提高及土地流转提供科学依据, 对土地资源合理利用和耕地保护具有重要的现实意义^[11-12]。对耕地生产潜力的研究多集中在理论生产潜力(光合潜力, 光温潜力, 气候潜力)层面^[13-14], 这种理想状态下的耕地生产潜力远高于实际生产潜力, 只能接近不能达到, 从而对一个地区农业政策制定和粮食安全预测带来较大的偏差。也有学者通过耕地等分与农业统计的方法对耕地产

能进行了核算, 并且得到了广泛的应用^[15-18]。耕地利用评价多集中在产投比和耕地利用强度上^[19], 只考虑了空间变化没有考虑时序变化, 而使用耕地利用强度和耕地压力指数等量化指标在时间和空间尺度上综合评价区域耕地利用状况, 并利用耕地生产力量化指标在县域尺度上对耕地生产能力的研究还尚未见报道。

本文以陕西省各县为基本计算地理单元, 以 2008—2010 年各县域粮食产量和陕西省 1978—2008 年粮食产量及其消费参数为研究对象, 结合 GIS 分析, 以期通过对耕地实际利用强度、理论利用强度、耕地可实现增产潜力和理论增产潜力和耕地压力指数的分析, 定量评估耕地利用程度、耕地生产能力及其发挥程度和耕地利用强度的时序变化规律, 明确陕西省耕地利用强度空间分布和耕地潜力开发程度分布, 定位未来耕地潜力主要开发区域, 为陕西省未来农业布局规划和农业投资提供理论支撑。

1 研究区概况

陕西省位于西北地区东部的黄河中游, 地处 E105°29'~111°15' 和 N31°42'~39°35' 之间, 全省地域南北长、东西窄, 南北长约 880 km, 东西宽约 160~490 km。全省横跨 3 个气候带, 南北气候差异较大, 全省年平均气温 13.7℃, 自南向北、自东向西递减: 陕北地区 7~12℃, 关中地区 12~14℃, 陕南地区 14~16℃。1 月平均气温 -11~3.5℃, 7 月平均气温是 21~28℃, 无霜期 160~250 d; 年平均降水量 340~1 240 mm, 降水南多北少, 陕南为湿润区, 关中为半湿润区, 陕北为半干旱区。

收稿日期: 2011-09-05 修订日期: 2012-04-13

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目课题(KSCX1-YW-12)。

作者简介: 李建平(1982—), 男, 陕西延安人, 博士生, 主要从事耕地变化与粮食安全方面研究。杨凌 西北农林科技大学农学院, 712100。

Email: lijianpingsas@yahoo.cn.

※通信作者: 上官周平(1964—), 男, 陕西扶风人, 研究员, 主要从事植物生态领域、耕地变化与食物安全方面的研究工作。杨凌 中国科学院水利部水土保持研究所, 712100。Email: shangguan@ms.iswc.ac.cn

全省设 10 个省辖市和杨凌农业高新技术产业示范区, 有 3 个县级市、80 个县和 24 个市辖区, 1 581 个乡镇, 2010 年总人口为 3 732 万人。

2 数据与方法

2.1 数据来源

耕地面积、粮食单产、粮食产量和人口数量等数据来源于《陕西省统计年鉴》(1978—2010 年)^[20], 粮食实际消费状况数据来源于本课题组 2009 年在陕西省 6 县实际调研的 2586 农户资料^[21]。地理信息数据来源于国家基础地理信息系统全国数据库。

2.2 耕地生产能力分析方法

评价耕地生产能力用耕地利用强度和耕地增产潜力来评估, 评估思路见图 1。耕地利用强度有 2 种形式, 即理论利用强度和实际利用强度, 实际利用强度表示目前农地可实现生产力的发挥程度; 理论利用强度反映目前农业科技利用的水平。耕地增产潜力包括理论潜力和可实现潜力, 理论潜力反映农用地远景, 是理想化的一个生产潜力, 只能接近很难实现, 也是遗传育种和作物栽培学科在提高作物产量方面一个远期目标; 可实现潜力反映农用地的近景生产潜力。耕地压力指数是衡量区域耕地资源的稀缺和冲突程度, 是在现有的生产状况下, 耕地供给能力大小的一个指标, 可作为耕地利用强度的一个辅助指标, 它反映了耕地保护的阈值。

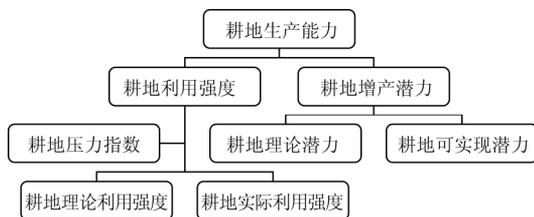


图 1 耕地生产能力指标隶属关系

Fig.1 Subordinating relation of indexes of cultivated land production capacity

在核算各县不同层次生产能力的基础上, 以利用强度和增产潜力 2 个指标分析陕西省耕地资源利用的空间变异规律, 耕地利用强度和增产潜力分别从相对水平和绝对水平 2 个角度反映耕地生产能力可提升的空间。将核算区域各县的作物单产视为各区域的实际生产能力, 来反映出粮食产量空间分布规律及其各地区的农业自然资源条件差异。

2.2.1 实际利用强度

实际利用强度是反映目前农地可实现生产力的发挥程度, 计算公式^[19]如下

$$S_{Ai} = Y_{Oi} / Y_{Pi} \quad (1)$$

式中, S_{Ai} 为 i 区域各耕地实际利用强度, Y_{Oi} 为 i 区域的实际单产, kg/hm^2 , Y_{Pi} 为 i 区域的最高单产, kg/hm^2 , 在本文中 i 表示县域。第 i 县域实际单产以 2008—2010 年 3 a 的平均粮食单产为准, 最高单产以课题组 2009 年农户调查数据和 2010 年《陕西省统计年鉴》公布最高县域单产的数据为基准。

2.2.2 理论利用强度

耕地理论利用强度的计算公式^[21]为

$$S_{Ti} = Y_{Fi} / Y_{Fi} \quad (2)$$

式中, S_{Ti} 为 i 区域的耕地理论利用强度, Y_{Fi} 为 i 区域的理论单产, kg/hm^2 , 即 i 区域的理论生产潜力, 本文以 i 区域的气候生产潜力作为该区的理论单产。气候生产潜力按照曹卫星的研究思路^[13], 气候生产潜力是在光温生产潜力的基础上进行水分订正得出, 各个作物的分布与生长参数参照上官周平等的研究内容^[21]。

2.2.3 耕地压力指数

耕地压力指数为最小人均耕地面积与实际人均耕地面积之比^[22-23], 如下式

$$K = S_{\min} / S_a \quad (3)$$

式中, K 为耕地压力指数, S_a 为实际人均耕地面积, $\text{hm}^2/\text{人}$, S_{\min} 为人均最小耕地面积, $\text{hm}^2/\text{人}$ 。

最小人均耕地面积是在一定区域内, 一定粮食自给水平和农业生产条件条件下, 为了满足人口粮食消费所需的耕地面积, 是区域耕地面积与区域人口数量的函数, S_{\min} 公式为

$$S_{\min} = \beta \frac{Gr}{p \cdot q \cdot K} \quad (4)$$

式中, β 为粮食自给率, 是粮食消费总量与粮食总产量的比值, %, Gr 为人均粮食需求量, $\text{kg}/\text{人}$, 本研究假设为 250 和 400 kg , p 粮食单产, kg/hm^2 , 数据摘录于陕西统计年鉴, q 为粮食播种面积占总播种面积之比, %, K 为复种指数, 为粮食播种面积与耕地面积的比值, %。

当 $K > 1$ 时, 耕地的粮食供给小于人口消费需求, 人们会更加充分的利用耕地资源, 加大耕地科技和劳动力的投入, 从而解决粮食紧缺, 这种情况下耕地才能充分发挥其生产潜能。当 $K = 1$ 时, 粮食供给与需求平衡; 当 $K < 1$ 时, 耕地生产出粮食供给大于人口粮食需求, 也即当 $K \leq 1$ 时, 耕地生产力的提高会从数量要求上升到质量要求的层面。耕地压力指数可以衡量一个地区耕地资源的稀缺和冲突程度, 给出了区域耕地保护的阈值, 可作为衡量一个区域粮食安全的指标。

2.2.4 区域耕地可实现增产潜力

可实现增产潜力是指某区域的最高单产与实际单产之差, 其计算公式^[21]如下

$$L_{Ai} = Y_{Pi} - Y_{Oi} \quad (5)$$

式中, L_{Ai} 为 i 区域耕地可实现增产潜力, kg/hm^2 。

可实现增产潜力表示在现有的农业技术水平下, 自然因素或者人为科技因素的异质性导致区域空间产量不均匀, 这种差异能够通过人为控制得以均衡, 挖掘可实现增产潜力相对于理论增产潜力可实现性较强。

2.2.5 区域耕地理论增产潜力

理论增产潜力是指理论单产与最高单产之差, 其计算公式^[21]如下

$$L_{Ti} = Y_{Fi} - Y_{Pi} \quad (6)$$

式中, L_{Ti} 为 i 区域耕地理论增产潜力, kg/hm^2 。

2.2.6 计算公式中参数值

陕西省各县粮食实际单产、理论单产和最高单产值

均为 2008—2010 年 3 a 的平均数值 (表 1 所示), 陕西省 1978—2008 年不同粮食供给水平下人均最小耕地

面积值如表 2 所示, 其中假设粮食供给水平为 250 和 400 kg 2 个阈值。

表 1 陕西省各县粮食实际单产、理论单产和最高单产数值
Table 1 Value of actual yield per unit, theoretical yield per unit and highest actual yield per unit in Shaanxi province

kg·hm⁻²

| 县域 | 实际单产 Y_{Oi} | 理论单产 Y_{Fi} | 最高单产 Y_{Pi} | 县域 | 实际单产 Y_{Oi} | 理论单产 Y_{Fi} | 最高单产 Y_{Pi} |
|-----|---------------|---------------|---------------|-----|---------------|---------------|---------------|
| 安康市 | 3008.738 | 15482.108 | 5679.417 | 南郑区 | 4114.651 | 11840.595 | 6641.248 |
| 安塞县 | 2205.581 | 9731.945 | 6742.182 | 宁强县 | 2634.300 | 10012.211 | 6641.248 |
| 白河县 | 2977.629 | 15185.083 | 5679.417 | 宁陕县 | 4834.109 | 9805.045 | 5679.417 |
| 白水县 | 3806.980 | 14920.198 | 6407.907 | 平利县 | 2774.406 | 12836.200 | 5679.417 |
| 宝鸡市 | 4501.481 | 13873.729 | 8416.955 | 蒲城县 | 4350.029 | 18551.420 | 6407.907 |
| 宝鸡县 | 4501.481 | 11472.385 | 8416.955 | 岐山县 | 5899.272 | 13841.419 | 8416.955 |
| 彬县 | 4408.288 | 12968.597 | 8467.408 | 千阳县 | 3283.726 | 12224.636 | 7993.028 |
| 长安县 | 4963.213 | 15651.978 | 13074.956 | 乾县 | 4670.182 | 15326.768 | 8467.408 |
| 长武县 | 4454.877 | 9462.093 | 8467.408 | 清涧县 | 2197.239 | 12213.061 | 4307.625 |
| 城固县 | 5057.452 | 12594.335 | 6641.248 | 三原县 | 4975.515 | 15326.768 | 8467.408 |
| 澄城县 | 3923.674 | 17858.748 | 6407.907 | 山阳县 | 2707.277 | 13072.744 | 5348.943 |
| 淳化县 | 4485.984 | 11638.765 | 8467.408 | 商南县 | 2832.809 | 12614.907 | 5348.943 |
| 大荔县 | 4834.272 | 18963.137 | 6407.907 | 商州市 | 2983.477 | 12861.978 | 5348.943 |
| 丹凤县 | 2552.178 | 13399.387 | 5348.943 | 神木县 | 3589.596 | 11952.744 | 4307.625 |
| 定边县 | 2008.260 | 10466.007 | 4307.625 | 石泉县 | 3238.955 | 12972.126 | 5679.417 |
| 凤翔 | 4137.166 | 12513.825 | 7993.028 | 绥德县 | 2956.329 | 12701.500 | 4307.625 |
| 凤翔县 | 4656.402 | 9767.829 | 8416.955 | 太白县 | 4045.149 | 6574.665 | 7993.028 |
| 佛坪县 | 2679.718 | 9204.407 | 6641.248 | 铜川市 | 3902.971 | 12427.287 | 5214.827 |
| 扶风县 | 5601.145 | 14480.696 | 8416.955 | 潼关县 | 3824.441 | 17110.944 | 6407.907 |
| 府谷县 | 1942.062 | 13162.135 | 4307.625 | 渭南市 | 4289.733 | 18135.895 | 6407.907 |
| 富平县 | 4383.493 | 19255.200 | 6407.907 | 吴堡县 | 2294.531 | 15868.948 | 4307.625 |
| 富县 | 6223.300 | 9533.260 | 6742.182 | 吴旗县 | 2031.426 | 8115.340 | 6742.182 |
| 甘泉县 | 3881.583 | 8957.267 | 6742.182 | 武功县 | 5032.557 | 14718.415 | 8467.408 |
| 高陵县 | 7020.122 | 17624.380 | 13074.956 | 西安市 | 5102.161 | 15031.531 | 13074.956 |
| 韩城县 | 3282.198 | 18940.175 | 6407.907 | 西安市 | 5102.161 | 15031.531 | 13074.956 |
| 汉阳县 | 3769.627 | 13915.060 | 5679.417 | 西乡县 | 3153.230 | 12118.952 | 6641.248 |
| 汉中市 | 3683.681 | 12540.123 | 6641.248 | 咸阳市 | 4811.358 | 16552.012 | 8467.408 |
| 合阳县 | 4086.637 | 17129.352 | 6407.907 | 咸阳市 | 4811.358 | 16552.012 | 5214.827 |
| 横山县 | 2112.893 | 11851.094 | 4307.625 | 兴平县 | 4933.525 | 15023.543 | 8467.408 |
| 户县 | 5637.787 | 15383.406 | 13074.956 | 旬阳县 | 2249.178 | 15391.715 | 5679.417 |
| 华县 | 4981.487 | 16103.947 | 6407.907 | 旬邑县 | 4837.988 | 10209.108 | 8467.408 |
| 华阴县 | 4664.064 | 17539.960 | 6407.907 | 延安市 | 3474.512 | 11098.198 | 6742.182 |
| 黄陵县 | 4749.265 | 10198.392 | 6742.182 | 延长县 | 3716.126 | 11953.075 | 6742.182 |
| 黄龙县 | 6785.061 | 8459.948 | 6742.182 | 延川县 | 2261.404 | 12971.328 | 6742.182 |
| 佳县 | 2262.862 | 13897.211 | 4307.625 | 洋县 | 4565.131 | 13679.390 | 6641.248 |
| 泾阳县 | 4988.603 | 16396.980 | 8467.408 | 耀州区 | 3437.636 | 16258.371 | 5214.827 |
| 靖边县 | 3729.350 | 10119.645 | 4307.625 | 宜川县 | 4475.105 | 11020.124 | 6742.182 |
| 岚皋县 | 2424.194 | 13180.936 | 5679.417 | 宜君县 | 5027.615 | 10445.371 | 5214.827 |
| 蓝田县 | 4691.228 | 16432.788 | 13074.956 | 永寿县 | 4385.507 | 12621.999 | 5214.827 |
| 礼泉县 | 4831.170 | 15738.482 | 8467.408 | 永寿县 | 4385.507 | 12621.999 | 8467.408 |
| 临潼区 | 4768.284 | 17265.722 | 13074.956 | 榆林市 | 2815.803 | 11455.294 | 4307.625 |
| 麟游县 | 3036.785 | 9796.214 | 7993.028 | 镇安县 | 2899.215 | 12242.730 | 5348.943 |
| 留坝县 | 3432.754 | 8475.424 | 6641.248 | 镇巴县 | 2235.504 | 9308.783 | 6641.248 |
| 陇县 | 3036.296 | 10689.597 | 7993.028 | 镇坪县 | 2771.380 | 8614.726 | 5679.417 |
| 略阳县 | 2285.810 | 10084.239 | 6641.248 | 志丹县 | 3167.279 | 8002.564 | 6742.182 |
| 洛川县 | 6500.635 | 10198.392 | 6742.182 | 周至县 | 4674.137 | 14812.794 | 13074.956 |
| 洛南县 | 2611.705 | 9754.728 | 5348.943 | 子长县 | 2691.915 | 10491.263 | 6742.182 |
| 眉县 | 4792.393 | 13967.035 | 7993.028 | 子洲县 | 3016.738 | 11971.226 | 4307.625 |
| 米脂县 | 2891.540 | 12402.671 | 4307.625 | 紫阳县 | 2302.148 | 13096.008 | 5679.417 |
| 勉县 | 4218.509 | 11803.730 | 6641.248 | 柞水县 | 3401.368 | 10779.128 | 5348.943 |

表 2 陕西省 1978—2008 年人均最小耕地面积
Table 2 Minimum cultivated land per capita from 1978 to 2008 in Shaanxi province

hm²

| 年份 | 人均最小耕地面积 S_{\min} | | 年份 | 人均最小耕地面积 S_{\min} | |
|------|---------------------|---------------|------|---------------------|---------------|
| | 人均粮食供给 250 kg | 人均粮食供给 400 kg | | 人均粮食供给 250 kg | 人均粮食供给 400 kg |
| 1978 | 0.120 | 0.192 | 1994 | 0.091 | 0.145 |
| 1979 | 0.105 | 0.169 | 1995 | 0.093 | 0.149 |
| 1980 | 0.126 | 0.202 | 1996 | 0.069 | 0.110 |
| 1981 | 0.126 | 0.201 | 1997 | 0.080 | 0.127 |
| 1982 | 0.102 | 0.164 | 1998 | 0.063 | 0.101 |
| 1983 | 0.097 | 0.156 | 1999 | 0.075 | 0.120 |
| 1984 | 0.090 | 0.144 | 2000 | 0.071 | 0.114 |
| 1985 | 0.095 | 0.152 | 2001 | 0.076 | 0.121 |
| 1986 | 0.091 | 0.146 | 2002 | 0.071 | 0.114 |
| 1987 | 0.090 | 0.145 | 2003 | 0.072 | 0.115 |
| 1988 | 0.090 | 0.144 | 2004 | 0.060 | 0.096 |
| 1989 | 0.085 | 0.135 | 2005 | 0.061 | 0.098 |
| 1990 | 0.082 | 0.132 | 2006 | 0.060 | 0.097 |
| 1991 | 0.084 | 0.134 | 2007 | 0.061 | 0.096 |
| 1992 | 0.085 | 0.136 | 2008 | 0.060 | 0.095 |
| 1993 | 0.071 | 0.114 | | | |

3 结果与分析

3.1 耕地实际利用强度空间分布

陕西省耕地实际利用强度呈现中南部高、西北部低的总体分布规律,其中实际利用强度大于 0.8 的区域主要分布在关中和陕南地区(图 2),陕北地区只有洛川县和黄龙县耕地实际利用强度大于 0.8;关中地区有宜君县、富平县、三原县、高陵县、临潼县、华县、华阴县、岐山县、武功县、扶风县、杨凌区和永寿县耕地实际利用

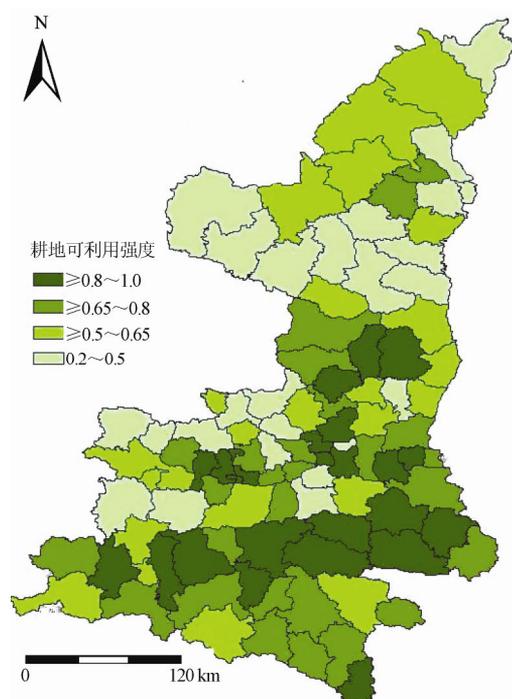


图 2 陕西省耕地实际利用强度空间分布

Fig.2 Space distribution of realistic use capacity of cultivated land in Shaanxi province

强度大于 0.8;陕南地区有丹凤县、山阳县、柞水县、镇安县、宁陕县、石泉县、洋县、城固县和勉县耕地实际利用强度大于 0.8。耕地实际利用强度大于 0.8,表明在现有生产技术和劳动强度下,耕地的可实现发挥生产潜力较高,在不改变现有生产技术和劳动强度下,提高耕地利用强度空间较小。实际利用强度小于 0.5 的地区主要集中在陕北中部、关中西部,这些地区耕地利用强度较低,提高利用强度空间较大,是生产技术投入和劳动力投入的主要区域。

3.2 耕地理论利用强度空间分布

以县域为单位,陕西省耕地理论利用强度呈现出中西部地区高,北部和东南部地区低的分布规律(图 3)。

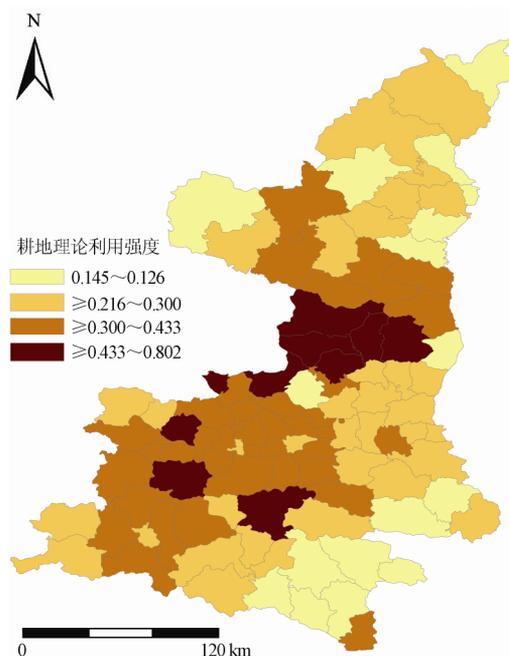


图 3 陕西省耕地理论利用强度空间分布

Fig.3 Space distribution of theoretical use capacity of cultivated land in Shaanxi province

其中耕地理论利用强度大于等于 0.433 的县分布在黄土高原丘陵沟壑区的富县、黄陵县、宜君县、洛川县、黄龙县以及渭北高原的旬邑县和长武县，关中平原的风翔县，秦巴山区的太白县和宁陕县；其次是关中平原西部及汉中盆地地区，耕地理论利用强度约为 0.35。利用强度较小的地区分布在陕北风沙滩地区和秦巴山区的安康市及商洛市地区，理论利用强度小于 0.2。耕地理论利用强度较低的地区农业科技水平较低，是以后农业科技推广和普及的主要地区，而理论利用强度较高的地区，农业科技水平高，其数字越接近 1，表明科技水平已经能够克服影响作物生长的任何限制因子。

3.3 耕地压力指数的时序变化

陕西省自 1978 年以来，耕地压力指数年级间变化较大，除 20 世纪 80 年代耕地压力指数维持平衡外，其他时期均波动剧烈，主要由粮食单产和粮食播种面积的变化不规律所致。自 2003 年以来耕地压力指数呈下降趋势（图 4），表明该时期耕地利用的强度有所减弱，可能原因是粮食单产水平和科技进步的提升，导致这一时期粮食供给能力增加。耕地压力指数在人均粮食需求量为 400 kg 时，耕地压力指数 30 a 来均大于 1，表明如果人均粮食需求为 400 kg 时，粮食供给小于粮食需求，利用现有耕地面积在目前生产水平下不能满足人民人们对粮食的需求，假设该区没有其他粮食流通与贸易，为了最求更高生活质量，人们只有通过加大耕地相对利用程度来保障粮食需求，耕地开发趋于加大，耕地保护与耕地占用之间冲突加剧，耕地面积保护行为为加强；当 $K=1$ 时，表明耕地产出与所承载人口消费相当，耕地不会受到威胁；当人均粮食需求在 250 kg 时，耕地压力指数 30a 来均小于 1，表明在现有粮食生产水平下，粮食产量能够满足人民消费需求，陕西省耕地面积、粮食安全暂时还没有受到严重的威胁，耕地利用程度相对低下，耕地压力趋于缓和，意味着人们对耕地的利用强度较小，并不会加大耕地潜力的开发，对耕地质量和数量的保护警惕性会放松。

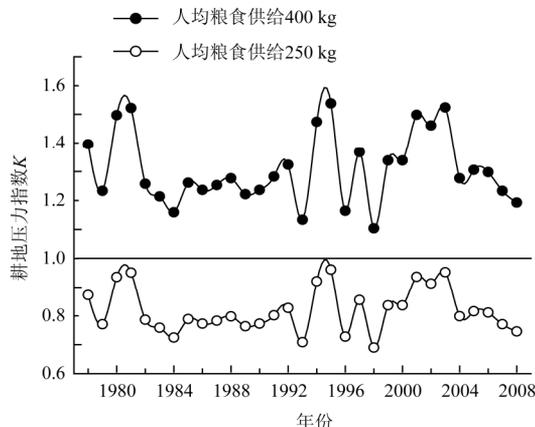


图 4 不同粮食供给水平下陕西省 1978—2008 年以来耕地压力指数动态变化

Fig.4 Sequential variation of cultivated land pressure index from 1978 to 2008 based on different level of grain supply

3.4 粮食单产可实现增产潜力

陕西省可实现增产潜力分布从北到南依次为低—高一低—高一低的总体分布规律（图 5）。可实现增产潜力最大区域分布于陕北中部和关中西部，而陕南大部分地区可实现增产潜力最小，陕北北部和关中北部可实现生产潜力居中。陕北地区榆林市北部县域，可实现增产潜力为 $\geq 1500 \sim 2500 \text{ kg/hm}^2$ ，陕北中部和关中西部可实现增产潜力在 $\geq 3500 \sim 6400 \text{ kg/hm}^2$ ，陕南大部分地区可实现增产潜力在 $\geq 500 \sim 1500 \text{ kg/hm}^2$ ，渭南东部县域和宝鸡部分县域可实现增产潜力在 $\geq 2500 \sim 3500 \text{ kg/hm}^2$ ，所以在可实现粮食增产潜力较大的陕北中部和关中西部挖掘粮食增产潜力较大，而陕南大部分地区由于耕地可实现增产潜力较小和耕地可利用强度较高，提高粮食产量潜力较小。因此，在今后应该重视粮食增产潜力较大地区粮食生产，加大科技投入，充分挖掘粮食生产潜能，而对于可实现粮食生产潜力较小的区域，应维持现状以确保区域粮食安全。

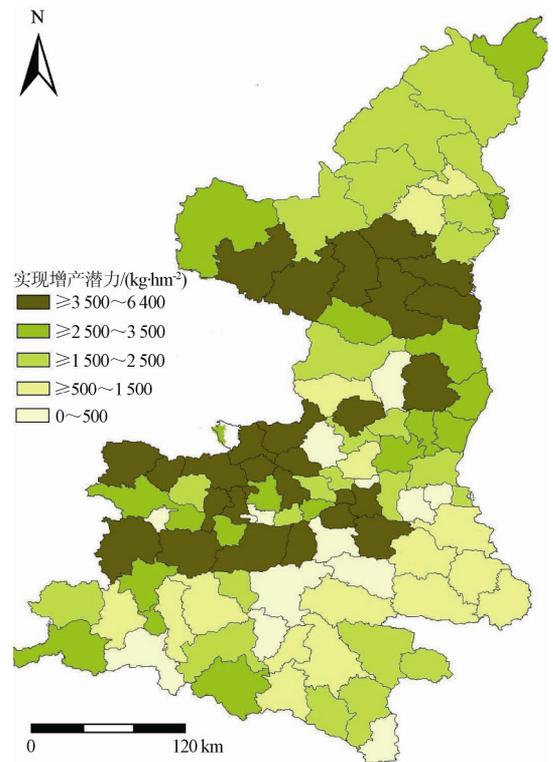


图 5 陕西省耕地可实现增产潜力空间分布

Fig.5 Space distribution of realizable production capacity of cultivated land in Shaanxi province

3.5 粮食单产理论增产潜力

粮食单产理论增产潜力呈东南部高，西北部低的空间分布规律（图 6），陕西省理论增产潜力最大值分布在渭北高原的渭南地区及关中平原东部地区和安康市东部地区，理论增产潜力大于等于 11741.56 kg/hm^2 ；其次为关中平原、安康地区、商洛地区及陕北东部县域。理论增产潜力最小的县域分布在黄土高原丘陵沟壑区的富县、黄陵县、宜君县、洛川县、黄龙县以及渭北高原的旬邑县和长武县，秦巴山区的太白县和宁陕县，增产潜

力平均小于 $4\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。

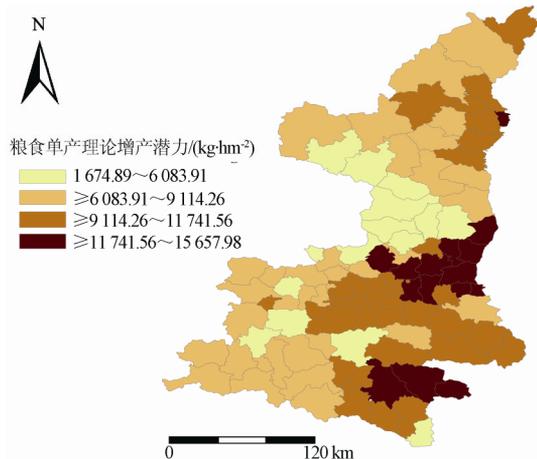


图6 陕西省粮食单产理论增产潜力空间分布

Fig.6 Space distribution of theoretical production capacity of yield per unit area in Shaanxi province

理论增产潜力较大地区，提升耕地潜力空间较大，但是实现难度更大，图5和图6可知，耕地可实现增产潜力较大区域与理论增产潜力较大区域并非相同，而是存在较大差异，那么对于理论增产潜力较大的区域，如果可实现增产潜力较小，提高该区域耕地产能非常困难。所以在制定政策和科技投入时，选择可实现潜力与理论潜力均较大的区域，可实现性较强。例如陕北地区，可实现增产潜力与理论增产潜力均较小，所以不适合作为粮食生产基地。

如果以可实现粮食增产潜力为基础计算陕西省可实现总产潜力，即在现有的农业资源水平、科技水平和社会劳动强度下，如果每个县域粮食单产均达到该地区目前粮食单产最高记录水平，那么在未来陕西省粮食产量有 $1124.2 \times 10^4\ \text{t}$ 的提升空间，占到理论总产的65%，根据其空间分布特征，陕西省粮食可实现增产潜力主要集中在关中平原地区和陕北南部黄土高原区。对该区域进行因地制宜的科技与劳动力投入，更加严格的保护平原耕地，加强该区农业技术研究推广和品种改良，可以有效地提高陕西省的耕地生产能力。

4 结论

通过对陕西省各县域耕地利用强度和增产潜力的空间分析，以及省级尺度近30a耕地压力的时序变异分析，利用县域尺度耕地利用强度与耕地压力指数对耕地利用状况和耕地承载力进行了定量研究，并用耕地增产潜力对耕地未来前景作了定量预测，获得如下主要结论：

1) 陕西省耕地实际利用强度呈现中南部高、西北部低的总体分布规律。表明陕西在现有技术水平下，中南部耕地利用强度最高，潜力提升最小。西北部耕地压力小，开发程度小，是耕地生产能力的提升和耕地开发的主要区域。

2) 陕西省耕地理论利用强度呈现出中西部地区高，北部和东南部地区低的分布规律。表明农业科技利用的

水平中西部地区，尤其是关中地区科技利用水平较高，而北部黄土高原和南部秦巴山区农业科技水平很低。农业科技的普及与推广应该集中在陕西北部 and 南部。

3) 耕地压力指数反映出陕西省30a来耕地利用波动较大，人均粮食需求大于400kg时，耕地目前生产水平状况下不能满足人们对粮食的需求，耕地资源稀缺，粮食供需冲突加大，必须通过粮食流通和贸易来满足区域粮食安全。基于人口不断增加和耕地面积逐年缩减，陕西省耕地压力即粮食供需冲突将一直存在。

4) 耕地可实现增产潜力最大区域分布于陕北中部和关中西部，而陕南大部分地区可实现增产潜力最小，陕北北部和关中北部可实现生产潜力居中。表明陕西省近期耕地生产潜力在短时期内能够通过现有技术水平提升的区域是陕北中部和关中西部，而陕北北部和陕南地区受到农业自然条件的限制，现有农业技术水平下，提升难度很大。

5) 耕地理论增产潜力呈东南部高，西北部低的空间分布规律。其中渭北旱原的渭南地区及关中平原东部地区和安康市东部地区理论增产潜力最大，理论增产潜力值 $\geq 11\ 742\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。所以对于耕地潜力远期目标应该集中在陕西南部地区，是未来陕西省粮食生产规划的主要区域，因为该区域农业自然资源优越，生产潜力挖掘空间大。

[参考文献]

- [1] 李伟, 郝晋珉, 冯婷婷, 等. 基于计量经济模型的中国耕地数量变化政策与资产因素分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 115-118.
Li Wei, Hao Jinmin, Feng Tingting, et al. Land asset and policy factors for acreage changes of cultivated land in China based on econometric model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the ASAE), 2008, 24(6): 115-118. (in Chinese with English abstract)
- [2] 孙燕, 林振山, 刘会玉. 中国耕地数量变化的突变特征及驱动机制[J]. 资源科学, 2006, 28(5): 57-61.
Sun Yan, Lin Zhenshan, Liu Huiyu. Changing characters of cultivated land area and its driving forces in China[J]. Resources Science, 2006, 28(5): 57-61. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李秀彬. 中国近20年来耕地面积的变化及其政策启示[J]. 自然资源学报, 1999, 4(4): 330-333.
Li Xiubin. Change of arable land area in China during the past 20 years and its policy implications[J]. Journal of Natural Resources, 1999, 4(4): 330-333. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陈印军, 肖碧林, 方琳娜, 等. 中国耕地质量状况分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3557-3564.
Chen Yinjun, Xiao Bilin, Fang Linna, et al. The quality analysis of cultivated land in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(17): 3557-3564. (in Chinese with English abstract)

- [5] 刘友兆, 马欣, 徐茂. 耕地质量预警[J]. 中国土地科学, 2003, 17(6): 9—12.
Liu Youzhao, Ma Xin, Xu Mao. Preliminary study on the early warning of cultivated land quality[J]. China Land Science, 2003, 17(6): 9—12. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李振声. 保面积、攻单产、节消费: 关于我国粮食生产与消费的几点思考[J]. 求是, 2008, (6): 44—46.
- [7] 黄季煜. 中国的食物安全问题[J]. 中国农村经济, 2004, (10): 4—10.
Huang Jikun. The security problem of Chinese food[J]. Chinese Rural Economy, 2004, (10): 4—10. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张利国. 我国区域粮食安全演变: 1949—2008[J]. 经济地理, 2011, 31(5): 833—838.
Zhang Ligu. Evlution of China's regional food security: 1949-2008[J]. Economic Geography, 2011, 31(5): 833—838. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张晶. 中国人粮关系的区域差异和国家粮食安全[J]. 经济地理, 2009, 29(11): 1895—1917.
Zhang Jing. The region difference of relation between population and grain and food security in China[J]. Economic Geography, 2009, 29(11): 1895—1917. (in Chinese with English abstract)
- [10] Li Jianping, Shanguan Zhouping. Empirical analysis on the influence of the Shaanxi fruit industry on regional food security[J]. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2010, 17(6): 507—514.
- [11] 杜国明, 李昀, 于凤荣, 等. 基于遥感的 2000—2009 年三江平原北部耕地变化特征分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 225—229.
Du Guoming, Li Yun, Yu Fengrong, et al. Change characteristics analysis of farmland in Northern Sanjiang Plain in 2000—2009 based on remote sensing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the ASAE), 2012, 28(1): 225—229. (in Chinese with English abstract)
- [12] 汪阳洁, 张静. 基于区域发展视角的耕地保护政策失灵及对策选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(1): 76—81.
Wang Yangjie, Zhang Jing. Failure and countermeasures of the cultivated land protection policy based on the regional development[J]. China Population, Resources and Environment, 2009, 19(1): 76—81. (in Chinese with English abstract)
- [13] 曹卫星, 朱艳, 汤亮, 等. 数字农业技术[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [14] 封志明, 杨艳昭, 张晶, 等. 从栅格到县域: 中国粮食生产的资源潜力区域差异分析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(5): 747—755.
Feng Zhiming, Yang Yanzhao, Zhang Jing, et al. A GIS based study on the grain productivity and potential yield increase at multi: Levels in China[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(5): 747—755. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘文智, 陈亚恒, 李新旺, 等. 基于产能的耕地整理数量质量潜力测算方法研究: 以河北省卢龙县为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 227—231.
Liu Wenzhi, Chen Yaheng, Li Xinwang, et al. Study on the quantitative and qualitative potential of farmland consolidation on production capacity: A case study on Lulong County[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(3): 227—231. (in Chinese with English abstract)
- [16] 伍育鹏, 郟文聚, 邹如, 等. 耕地产能核算模型的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊): 108—113.
Wu Yupeng, Yun Wenju, Zou Ru, et al. Productivity calculation methods and distribution regulation based on cultivated land quality appraisal[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the ASAE), 2008, 24(suppl.): 108-113. (in Chinese with English abstract)
- [17] 郟文聚, 王洪波, 王国强, 等. 基于农用地分等与农业统计的产能核算研究[J]. 中国土地科学, 2007, 21(4): 32—37.
Yun Wenju, Wang Hongbo, Wang Guoqiang, et al. Research of throughput calculation based on agricultural land classification and agriculture statistics[J]. China Land Science, 2007, 21(4): 32—37. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王洪波, 郟文聚, 吴次芳, 等. 基于农用地分等的耕地产能监测体系研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 122—126.
Wang Hongbo, Yun Wenju, Wu Cifang, et al. Farmland productivity monitoring system based on farmland gradation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the ASAE), 2008, 24(4): 122—126. (in Chinese with English abstract)
- [19] 刘燕红, 黄川林, 熊凯. 重庆市耕地利用强度与产能潜力评价[J]. 经济研究导刊, 2011, 17(4): 62—65.
- [20] 陕西统计局. 陕西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1978—2010.
- [21] 上官周平, 李建平, 李玉山著. 耕地变化与粮食安全对策—以陕西省为例[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [22] 李玉平, 禁运龙. 区域耕地-人口-粮食系统动态分析与耕地压力预测: 以河北省邢台市为例[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2007, 43(2): 230—234.
Li Yuping, Cai Yulong. Analysis of dynamics of the regional cropland-population-grain system and prediction of the pressure on cropland: The case study on Xingtai prefecture of Hebei Province[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2007, 43(2): 230—234. (in Chinese with English abstract)
- [23] 朱红波, 张安录. 中国耕地压力指数时空规律分析[J]. 资源科学, 2007, 29(2): 104—107.
Zhu Hongbo, Zhang Anlu. Analyzing temporal and spatial distribution characteristics of pressure index of cultivated land in China[J]. Resources Science, 2007, 29(2): 104—107. (in Chinese with English abstract)

Spatial-temporal distribution of cultivated land production capacity in Shaanxi province

Li Jianping¹, Shangguan Zhouping^{1,2*}

(1. College of Agronomy, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Ministry of Water Resources Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to evaluate the status of cultivated land production capacity in Shaanxi province, indexes of cultivated land capacity were analyzed based on average grain yield data of each county (2008-2010) and GIS software. The indexes were composed of realistic use capacity of cultivated land, theoretical use capacity of cultivated land, realizable production capacity and theoretical production capacity, meanwhile space distribution of the indexes were represented. Sequential variation of cultivated land pressure index were calculated based on data of grain yield and grain consumption from 1978 to 2008 of Shaanxi province. The result showed that cultivated land with smaller realistic use capacity of mainly spread over mid of north Shaanxi and westward of mid Shaanxi and were major input regions of agricultural technology and labor force. Theoretical use capacity of cultivated land index was stronger in central and western regions than north and southeast region in Shaanxi. In addition, sequential variation of cultivated land pressure index with among years was presented as a larger fluctuation and demonstrated the contradiction between cultivated land protection and occupation trend towards moderate because of agricultural technological progress and policies guidance in the last few years. The size of realizable production capacity was ranked as following sequence: mid of Northern Shaanxi and westward of Central Shaanxi > north of Northern Shaanxi and Central Shaanxi > south region of Shaanxi. Meanwhile, theoretical production capacity of southeast region was higher than that of northwest region in Shaanxi province. This research provides scientific evidences for planning cultivated land use and food security.

Key words: land use, productivity, geographic information systems, cultivated land, use intensity, pressure index, Shaanxi province