

20 a 来中国占补耕地光温生产潜力时空特征

王 静^{1,2}, 杨小唤^{1*}, 蔡红艳¹, 李月娇¹

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 宁夏地震局, 银川 750001)

摘要: 研究占补耕地光温生产潜力的时空特征对指导耕地资源开发与粮食生产具有重要意义。论文基于 1980 年代末—2010 年的多期土地利用和多年平均光温生产潜力, 以占用耕地与增补耕地单位面积光温生产潜力为依据, 分析 20 a 来中国占补耕地光温生产潜力时空特征, 并进一步探讨其对光温生产潜力总量的影响。结果表明: ①1980 年代末—2010 年, 全国耕地存在明显的占优补劣情况; ②从各分区看, 东北平原主产区、北方干旱半干旱主产区、青藏高原区、华南主产区、云贵高原区占用耕地单位面积光温生产潜力持续高于增补耕地, 长江中下游主产区占用耕地单位面积光温生产潜力持续低于增补耕地, 四川盆地及周边地区、黄土高原区、海南由占优补劣变为占劣补优, 黄淮海平原区由占劣补优变为占优补劣; ③占优补劣对全国光温生产潜力总量变化有显著影响; ④东北平原主产区等我国耕地开垦的主要区域受占优补劣的影响较大, 华南主产区等耕地损失区受占优补劣的影响相对较小, 占劣补优对缩小耕地占用对光温生产潜力总量影响的作用并不大。

关键词: 耕地占用; 耕地增补; 光温生产潜力

中图分类号: F323.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3037(2013)01-0126-11

“民以食为天”, 粮食问题始终是世界各国关注的焦点问题。作为世界第一人口国, 粮食安全始终是关系我国国民经济发展、社会稳定和国家自立的全局性重大战略问题^[1]。过去 20 a, 我国耕地处于快速变化中, 耕地占用与耕地增补不断发生^[2-3], 占用耕地与增补耕地气候条件往往不对等^[4], 这直接影响着光温生产潜力的时空分布过程, 进而影响未来的粮食生产能力。因此研究占用耕地与增补耕地的光温生产潜力时空变化, 对指导耕地资源开发与粮食生产具有重要意义。

半个世纪以来, 国内外许多学者对光温生产潜力进行了大量深入细致的研究^[5-13]。近年来, 随着 LUCC 越来越受到关注, 一些学者开始探讨耕地占补对光温生产潜力的影响^[19-22]。刘纪远等^[19]计算了中国 20 世纪 90 年代农田光温生产潜力的变化, 结果表明 20 世纪 90 年代耕地占补直接导致了农田光温生产潜力总量和分布的变化, 且总体上南减北增。徐新良等^[20]估算了东北地区气候波动和 LUCC 过程对农田生产潜力的影响, 结果表明气候波动导致东北地区农田光温生产潜力降低而 LUCC 过程导致农田光温生产潜力升高, 前者小于后者, 总体升高。程传周等^[21]分析了 2005—2008 年的耕地变化对区域光温生产潜力的影响, 结果表明 2005—2008 年耕地变化导致的光温生产潜力增加量小于减少量, 总

收稿日期: 2011-11-24; 修订日期: 2012-05-16。

基金项目: 国家十二五科技支撑计划(2012BAI32B06); 中国科学院知识创新工程重大项目第一主题(KSCX1-YW-09-01)。

第一作者简介: 王静(1987-), 女, 宁夏人, 从事遥感与 GIS 应用研究。

* 通信作者。

体净减少。杨小唤等^[2]估算了 2000—2008 年耕地变化导致的光温生产潜力总量变化,提出耕地占用区与耕地增补区气候条件不对等直接导致了耕地占用区与增补区在区域光温生产潜力总量上的不对等。

上述研究取得了丰硕的成果,但往往只关注占补耕地光温生产潜力总量的变化,较少涉及占补耕地单位面积光温生产潜力的时空分布。此外,耕地变化对光温生产潜力的影响表现在耕地数量和空间位置两个方面,空间位置的差异引起了气候条件的差异,从而导致单位面积光温生产潜力的空间差异,进而影响光温生产潜力总量。以往的研究未对这两方面进行严格区分,模糊或掩盖了占补耕地单位面积光温生产潜力的差异对光温生产潜力总量的影响。本文以 1980 年代末—2010 年的多期土地利用动态数据^①为基础,结合 1990—2010 年多年平均光温生产潜力,按 1980 年代末—2000 年、2000—2010 年两个时段,以占用耕地与增补耕地单位面积光温生产潜力为依据,分析 20 a 来中国占补耕地光温生产潜力的时空特征,并进一步探讨其对光温生产潜力总量的影响。

1 数据与方法

1.1 基础数据

1.1.1 光温生产潜力数据

光温生产潜力数据为本课题组的研究成果,该数据基于 1990—2010 年 20 a 的气象观测数据和太阳辐射数据,使用光温阶梯模型计算而来,数据的生产流程参见文献 [21–22],空间分辨率为 1 km,栅格值表示每公顷面积所具有的光温生产潜力。

1.1.2 土地利用变化数据

土地利用变化数据由中国科学院知识创新工程重大项目“耕地保育与持续高效现代农业试点工程”项目第一主题课题组提供,包括 1 km × 1 km 的空间栅格数据和各区域土地利用变化净面积数据。1 km × 1 km 的空间栅格数据包括 1980 年代末—2000 年、2000—2010 年两期的耕地动态数据。耕地动态数据包括耕地转林地、草地、水域、建设用地、未利用土地和林地、草地、水域、建设用地、未利用土地转为耕地 1 km × 1 km 空间栅格数据,其栅格值表示每平方公里某土地利用类型所占的毛面积百分比。各区域土地利用变化净面积数据为土地利用栅格数据分县扣除面积系数得到的净面积数据,包括占用耕地和增补耕地净面积数据。

1.2 数据处理

首先将耕地转林地、草地、水域、建设用地、未利用土地各栅格数据叠加,得到占用耕地 1 km × 1 km 空间栅格;林地、草地、水域、建设用地、未利用土地转耕地各栅格数据相加,得到增补耕地 1 km × 1 km 空间栅格。其次对上述两幅栅格分别进行二值化,得到空间分辨率为 1 km 的耕地占用区、增补区二值化图像(占用耕地值为 1,非占用耕地值为 0;增补耕地值为 1,非增补耕地值为 0)。然后将 1990—2010 年多年平均 1 km × 1 km 光温生产潜力分别与耕地占用区、增补区二值栅格图像叠加相乘,提取耕地占用区、增补区 1 km × 1 km 光温生产潜力。

1.3 研究方法

1.3.1 占补耕地优劣分析

对 1980 年代末—2010 年、1980 年代末—2000 年、2000—2010 年,分别使用区域统计

① 1980 年代末的土地利用数据是以 1987、1988、1989 年 3 a 的 TM 影像为数据源生产的土地利用数据。

方法统计全国各区域耕地占用区与增补区单位面积光温生产潜力平均值,定义占用耕地与增补耕地单位面积光温生产潜力之比为占补比,占补比大于 1 为占优补劣,小于 1 为占劣补优。占优补劣和占劣补优用于反映某一特定区域占用与增补耕地光温条件的相对差异,占优补劣意味着某一区域内占用耕地的光温条件好于增补耕地,而占劣补优意味着某一区域内增补耕地的光温条件好于占用耕地。对于某一区域,在占用耕地和增补耕地数量相同的情况下,占优补劣带来的光温生产潜力总量损失大于光温生产潜力总量增补,而占劣补优带来的光温生产潜力总量损失小于光温生产潜力总量增补。

1.3.2 占补耕地光温生产潜力总量计算

某区域某时段占用耕地、增补耕地光温生产潜力总量分别等于该区域相应时段占用耕地、增补耕地单位面积光温生产潜力乘以占用耕地、增补耕地净面积。耕地占补导致的光温生产潜力总量变化等于增补耕地与占用耕地光温生产潜力总量相减。

耕地占补导致的光温生产潜力总量变化受耕地面积变化和占补耕地单位面积光温生产潜力共同影响。为了分离占补耕地面积和单位面积光温生产潜力对光温生产潜力总量的影响,本文以某区域耕地变化区平均光温生产潜力代替占用耕地和增补耕地单位面积光温生产潜力,计算仅因耕地面积增加而增加的光温生产潜力总量 a 和仅因耕地面积减少而减少的光温生产潜力总量减少 b , $b - a$ 即仅因耕地面积变化而变化的光温生产潜力总量净变化 c 。占优补劣情况下,实际占用耕地光温生产潜力总量变化 a' 大于 a ,而实际增补耕地光温生产潜力总量变化 b' 小于 b , a' 与 a 的差值 Δa 即为“占优”导致的占用耕地光温生产潜力总量增加, b' 与 b 的差值 Δb 即为“补劣”导致的增补耕地光温生产潜力总量减少, $b' - a'$ 即为耕地占补导致的光温生产潜力总量变化 c' , $\Delta b - \Delta a$ 即为“占优补劣”导致的光温生产潜力总量净减少 Δc , $|\Delta c/c| \times 100\%$ 为占优补劣对光温生产潜力总量变化的影响率;占劣补优与之情况相反。

2 结果与分析

参考中国科学院知识创新工程重大项目“耕地保育与持续高效现代农业试点工程”,根据农业生产集中程度、退耕还林(草、湖)等生态屏障建设工程的分布特点等对全国 28 个粮食生产和退耕还林还草工程主要省区的区划方案^②,并加入了青海、西藏、海南三省,考虑青海、西藏、海南三省的地理位置和气候差异,将全国分为 10 个区(不含香港、澳门、台湾)。图 1 为全国耕地资源动态分区图。

2.1 耕地占补的时空特征

20 a 来中国耕地剧烈变化,区域之间差异明显。如表 1 所示,1980 年代末—2010 年全国耕地由占少补多变为占多补少,1980 年代末—2000 年净盈余 28 420 km²;2000—2010 年,耕地占用大幅增加而耕地增补大幅减少,耕地净损失 10 004 km²,20 a 间净盈余 18 416 km²。

从分区来看,耕地增补主要发生在北方干旱半干旱主产区、东北平原主产区;耕地占用主要发生在长江中下游主产区、华南主产区、黄淮海平原主产区。1980 年代末—2010 年,北方干旱半干旱主产区、东北平原主产区、青藏高原区持续占少补多;黄土高原区、云贵高原区由占少补多变为占多补少,20 a 间净减少;长江中下游主产区、华南主产区、黄淮海平原主产区、四川盆地及周边地区、海南耕地面积持续占多补少,且后 10 a 耕地占用量均大

^② 中国科学院知识创新工程重大项目第一主题(KSCX1-YW-09-01)课题组. 2000—2010 年中国耕地资源动态变化及其对粮食生产能力的影响. 2011.

于前 10 a,耕地面积损失值有所增加。



图 1 全国耕地资源动态分区

Fig. 1 Zonation of variations of cultivated land resource in China

表 1 1980 年代末—2010 年耕地占补状况

Table 1 Cropland occupation and supplement from the end of the 1980s to 2010 (km²)

区域	1980 年代末—2010 年			1980 年代末—2000 年			2000—2010 年		
	占用	增补	净变化	占用	增补	净变化	占用	增补	净变化
东北平原主产区	6 088	30 243	24 155	3 262	25 390	22 128	2 826	4 852	2 027
黄淮海平原主产区	10 886	3 067	- 7 818	4 766	1 748	- 3 019	6 120	1 320	- 4 800
长江中下游主产区	15 531	2 127	- 13 404	5 637	975	- 4 662	9 894	1 152	- 8 742
华南主产区	4 438	391	- 4 047	1 738	321	- 1 417	2 700	69	- 2 630
北方干旱半干旱主产区	12 795	39 589	26 794	6 030	21 607	15 578	6 766	17 982	11 216
黄土高原区	4 156	1 321	- 2 834	798	969	171	3 358	353	- 3 005
四川盆地及周边地区	3 570	523	- 3 048	875	336	- 540	2 695	187	- 2 508
云贵高原区	3 479	2 040	- 1 439	1 255	1 314	59	2 224	726	- 1 498
青藏高原	176	399	223	64	258	195	112	141	28
海南	308	143	- 166	159	85	- 74	150	58	- 92
全国	61 427	79 843	18 416	24 583	53 003	28 420	36 844	26 840	- 10 004

2.2 占补耕地单位面积光温生产潜力的时空特征

2.2.1 全国占补耕地单位面积光温生产潜力

1980 年代末—2010 年,全国占用耕地单位面积光温生产潜力为 2 079.27 t/km²,其中前 10 a 为 2 080.15 t/km²,后 10 a 为 2 200.23 t/km²;1980 年代末—2010 年增补耕地单位面积光温生产潜力为 1 354.12 t/km²,其中前 10 a 为 1 339.50 t/km²,后 10 a 为 1 348.34 t/km²;1980 年代末—2010 年、1980 年代末—2000 年、2000—2010 年,占用耕地与增补耕地单位面积光温生产潜力之比(占补比)分别为 1.536、1.553、1.632,占优补劣现象严重,且 2000—2010

年失衡程度进一步加深(表2)。

表2 1980年代末—2010年占用耕地与增补耕地单位面积光温生产潜力

Table 2 Light-temperature potential productivity (LTPP) per unit area on cropland occupation and supplement from the end of the 1980s to 2010

区域	1980年代末—2010年			1980年代末—2000年			2000—2010年		
	占用 /(t/km ²)	增补 /(t/km ²)	占补比	占用 /(t/km ²)	增补 /(t/km ²)	占补比	占用 /(t/km ²)	增补 /(t/km ²)	占补比
东北平原主产区	1 186.27	1 109.42	1.069	1 195.94	1 108.29	1.079	1 190.24	1 103.19	1.079
黄淮海平原主产区	1 894.59	1 904.54	0.995	1 880.47	1 960.38	0.959	1 904.41	1 781.82	1.069
长江中下游主产区	2 640.30	2 729.62	0.967	2 622.90	2 688.05	0.976	2 664.05	2 805.82	0.949
华南主产区	3 259.13	3 149.80	1.035	3 268.53	3 146.18	1.039	3 258.48	3 185.62	1.023
北方干旱半干旱主产区	1 216.35	1 076.99	1.129	1 127.99	1 069.22	1.055	1 316.94	1 089.46	1.209
黄土高原区	1 799.39	1 835.87	0.980	1 870.79	1 863.68	1.004	1 803.85	1 823.82	0.989
四川盆地及周边地区	2 331.15	2 324.71	1.003	2 394.94	2 311.33	1.036	2 337.19	2 362.24	0.989
云贵高原区	2 927.58	2 820.85	1.038	3 048.50	2 905.61	1.049	2 868.28	2 662.22	1.077
青藏高原区	1 294.91	1 082.60	1.196	1 228.71	1 097.22	1.120	1 449.06	1 030.67	1.406
海南	3 603.74	3 615.33	0.997	3 591.69	3 584.36	1.002	3 619.00	3 721.55	0.972
全国	2 079.27	1 354.12	1.536	2 080.15	1 339.50	1.553	2 200.23	1 348.34	1.632

2.2.2 占补耕地单位面积光温生产潜力的分区特征

根据1980年代末—2010年各区域占补耕地单位面积光温生产潜力变化,按照占补情况将各区域分为4类(表2、图2)。

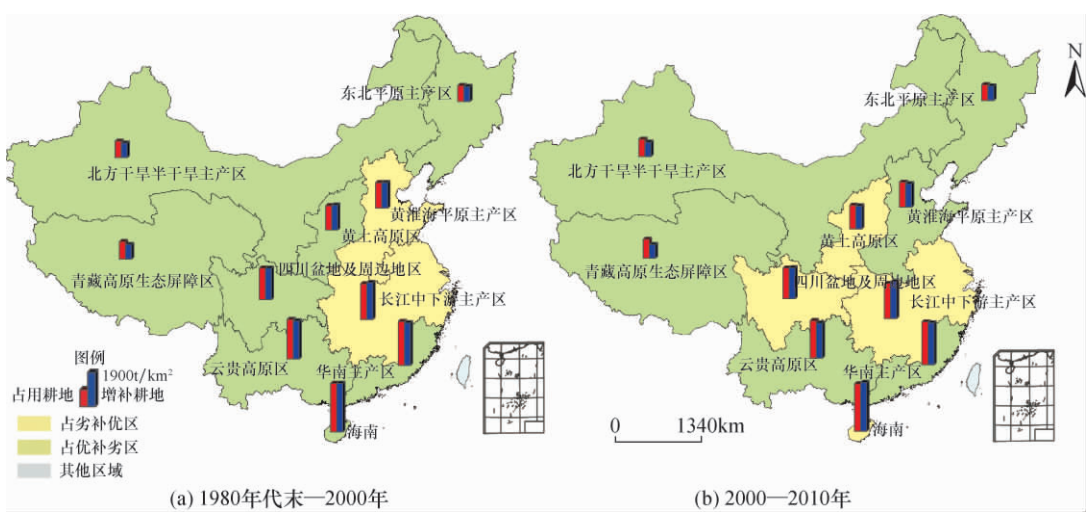


图2 各分区占补耕地单位面积光温生产潜力

Fig. 2 LTPP per unit area on cropland occupation and supplement in zones

(1) 持续占优补劣: 包括东北平原主产区、华南主产区、北方干旱半干旱主产区、云贵高原区、青藏高原区。从1980年代末—2000年时间段到2000—2010年时间段,北方干旱半干旱主产区占补比由1.055升至1.209,青藏高原区由1.12升至1.406,占补形势进一步恶化。

(2) 由占劣补优转为占优补劣: 黄淮海平原主产区占补比由1980年代末—2000年的

0.959 升至 2000—2010 年的 1.069,占补形势变差。

(3) 由占优补劣转为占劣补优: 包括四川盆地及周边地区、黄土高原区、海南等,占补比由大于 1 下降到 1 以下,占补形势好转。

(4) 持续占劣补优: 长江中下游主产区占补比由 1980 年代末—2000 年的 0.976 降至 2000—2010 年的 0.949,占补形势良好。

2.3 耕地占补对光温生产潜力总量变化的影响

2.3.1 耕地占补导致的光温生产潜力总量变化

1980 年代末—2010 年间,如表 3 所示,全国光温生产潜力总量先增后减,前 10 a 净增加 $1\,709.26 \times 10^4$ t,后 10 a 净减少 $4\,442.30 \times 10^4$ t,20 a 间净减少 $2\,679.41 \times 10^4$ t。从分区来看,东北平原主产区、北方干旱半干旱主产区耕地占补导致光温生产潜力总量持续增加,20 a 间光温生产潜力总量分别净增加 $2\,632.98 \times 10^4$ 、 $2\,707.39 \times 10^4$ t; 长江中下游主产区、黄淮海平原主产区、华南主产区、四川盆地及周边地区、云贵高原区、海南耕地占补导致的光温生产潜力总量持续减少,20 a 间光温生产潜力总量分别净减少 $3\,519.96 \times 10^4$ 、 $1\,478.23 \times 10^4$ 、 $1\,323.34 \times 10^4$ 、 710.79×10^4 、 443.18×10^4 、 59.52×10^4 t。青藏高原、黄土高原区前 10 a 耕地占补导致光温生产潜力总量净增加,后 10 a 净减少,20 a 间光温生产潜力总量净变化 20.40×10^4 、 -505.16×10^4 t。

表 3 耕地占补导致的光温生产潜力总量变化

Table 3 Cropland occupation and supplement caused variation of total LTPP (10^4 t)

区域	1980 年代末—2010 年			1980 年代末—2000 年			2000—2010 年		
	占用	增补	净变化	占用	增补	净变化	占用	增补	净变化
东北平原主产区	722.21	3 355.19	2 632.98	390.14	2 813.99	2 423.84	336.34	535.31	198.96
黄淮海平原主产区	2 062.43	584.21	-1 478.23	896.29	342.63	-553.66	1 165.42	235.14	-930.28
长江中下游主产区	4 100.61	580.65	-3 519.96	1 478.44	262.05	-1 216.39	2 635.85	323.32	-2 312.53
华南主产区	1 446.39	123.05	-1 323.34	568.22	101.14	-467.08	879.63	22.05	-857.58
北方干旱半干旱主产区	1 556.33	4 263.72	2 707.39	680.13	2 310.30	1 630.17	890.98	1 959.06	1 068.08
黄土高原区	747.75	242.59	-505.16	149.24	180.50	31.26	605.70	61.64	-544.06
四川盆地及周边地区	832.27	121.48	-710.79	209.64	77.62	-132.02	629.85	44.12	-585.73
云贵高原区	1 018.53	575.35	-443.18	382.48	381.65	-0.83	638.02	193.31	-444.71
青藏高原区	22.78	43.19	20.40	7.81	28.33	20.51	16.28	14.50	-1.78
海南	111.16	51.64	-59.52	56.97	30.43	-26.54	54.22	21.56	-32.67
全国	12 620.46	9 941.05	-2 679.41	4 819.38	6 528.64	1 709.26	7 852.30	3 410.00	-4 442.30

2.3.2 占补耕地单位面积光温生产潜力差异对光温生产潜力总量变化的影响

本文进一步计算了仅因耕地面积变化而变化的光温生产潜力总量(c)、由占用耕地与增补耕地单位光温生产潜力不对等引起的光温生产潜力总量变化(Δc)及其影响率(r) (表 4)。

1980 年代末—2000 年,仅因耕地面积净增加而增加的光温生产潜力总量为 $4\,801.96 \times 10^4$ t,而占优补劣导致该值减少了 64.40% ,实际耕地占补导致的光温生产潜力总量增量仅

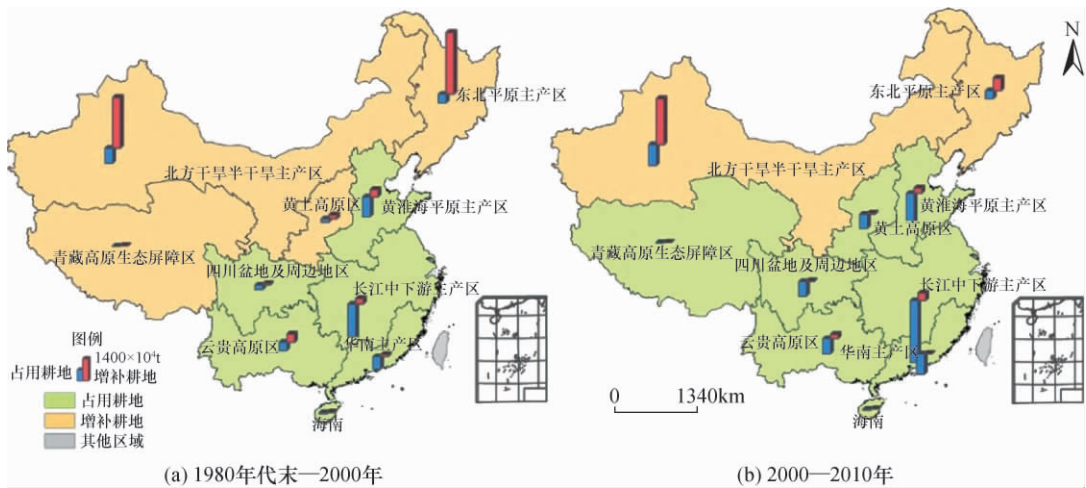


图3 各分区耕地占补导致的光温生产潜力总量变化

Fig. 3 Cropland occupation and supplement caused variation of total LTTP in zones

为 $1\,709.26 \times 10^4$ t。2000—2010 年仅因耕地面积净减少而减少的光温生产潜力总量仅为 $1\,887.23 \times 10^4$ t, 而占优补劣促使该值增加了 135.39%, 实际耕地占补导致的光温生产潜力总量减少量达到 $4\,442.30 \times 10^4$ t。1980 年代末—2010 年 20 a 间, 虽然耕地面积净增加带来的光温生产潜力总量增加 $3\,281.30 \times 10^4$ t, 但占优补劣导致该值减少了 $5\,960.71 \times 10^4$ t, 实际耕地占补导致光温生产潜力总量减少了 $2\,679.41 \times 10^4$ t。可见, 占优补劣对全国占补耕地光温生产潜力总量变化有重要影响, 甚至逆转了耕地净增加带来的光温生产潜力总量净增加。

表4 占补耕地单位面积光温生产潜力差异对光温生产潜力总量的影响

Table 4 Effect of LTTP per unit area of cropland occupation and supplement on total LTTP

区域	1980 年代末—2010 年			1980 年代末—2000 年			2000—2010 年		
	$c/10^4$ t	$\Delta c/10^4$ t	r	$c/10^4$ t	$\Delta c/10^4$ t	r	$c/10^4$ t	$\Delta c/10^4$ t	r
东北平原主产区	2 726.72	-93.74	3.44%	2 485.48	-61.63	2.48%	231.23	-32.27	13.95%
黄淮海平原主产区	-1 484.73	6.51	0.44%	-571.79	18.13	3.17%	-909.03	-21.26	2.34%
长江中下游主产区	-3 551.14	31.18	0.88%	-1 226.13	9.74	0.79%	-2 342.14	29.62	1.26%
华南主产区	-1 312.35	-10.99	0.84%	-458.27	-8.82	1.92%	-855.94	-1.64	0.19%
北方干旱半干旱主产区	3 008.87	-301.48	10.02%	1 688.41	-58.24	3.45%	1 303.29	-235.21	18.05%
黄土高原区	-511.15	5.99	1.17%	31.87	-0.61	1.92%	-537.18	-6.88	1.28%
四川盆地及周边地区	-709.99	-0.80	0.11%	-127.82	-4.21	3.29%	-586.96	1.23	0.21%
云贵高原区	-415.96	-27.22	6.54%	17.50	-18.33	104.75%	-423.56	-21.15	4.99%
青藏高原区	25.87	-5.47	21.13%	22.01	-1.50	6.82%	3.59	-5.37	149.40%
海南	-59.72	0.19	0.32%	-26.44	-0.10	0.37%	-33.42	0.75	2.25%
全国	3 281.30	-5 960.71	181.66%	4 801.96	-3 092.70	64.40%	-1 887.23	-2 555.07	135.39%

注: c 表示仅因耕地面积净增加而增加的光温生产潜力总量, Δc 表示由占补耕地单位面积光温生产潜力不对等而变化的光温生产潜力总量, r 为 $|\Delta c/c| \times 100\%$ 。

各区域中,影响率较大的区域为青藏高原区、东北平原主产区、北方干旱半干旱主产区,全部为占少补多区;长江中下游主产区、华南主产区、海南影响率较小,均为占多补少区。各区域占补耕地单位面积光温生产潜力对光温生产潜力总量的影响分析如下:

(1) 耕地面积持续占少补多的东北平原主产区、北方干旱半干旱主产区、青藏高原主产区,占用耕地的单位面积光温生产潜力高于增补耕地,持续占优补劣。20 a 间,占优补劣分别导致 1980 年代末—2010 年、1980 年代末—2000 年、2000—2010 年仅由耕地面积净增加而增加的光温生产潜力总量减少了 3.44%、10.02%、21.13%,且 2000—2010 年占优补劣对光温生产潜力的影响较 1980 年代末—2000 年大,特别是青藏高原主产区占优补劣导致仅由耕地面积净增加而增加的光温生产潜力总量减少了 149.40%,实际光温生产潜力总量净减少。

(2) 在耕地面积持续占多补少的区域中,长江中下游主产区占用耕地的单位面积光温生产潜力低于增补耕地,持续占劣补优,占劣补优在一定程度上弥补了耕地面积的剧烈减少而带来的光温生产潜力总量损失,但影响率较小,不足 2%。华南主产区占用耕地的单位面积光温生产潜力高于增补耕地,持续占优补劣,进一步加剧了光温生产潜力总量的损失,占优补劣对光温生产潜力总量的影响亦不足 2%。四川盆地及周边地区、海南、黄淮海平原主产区中,占优补劣影响最大的为四川盆地及周边地区(1980 年代末—2000 年),影响率为 3.29%,占劣补优影响最大的为黄淮海平原主产区(1980 年代末—2000 年),影响率为 3.17%,影响率均不大。

(3) 云贵高原区、黄土高原区耕地面积由占少补多转为占多补少。前 10 a,占优补劣促使云贵高原区仅由耕地面积增加而增加的光温生产潜力总量减少了 104.75%,实际光温生产潜力总量净减少;后 10 a 占优补劣的影响大幅下降,仅为 4.99%;20 a 总影响率为 6.54%。黄土高原区各时间段单位面积光温生产潜力差异对光温生产潜力总量的影响均不大,不足 2%。

3 结论与讨论

(1) 1980 年代末—2010 年间,全国耕地面积先增后减,从单位面积光温生产潜力看,占用耕地明显高于增补耕地,持续占优补劣,占用耕地与增补耕地单位面积光温生产潜力比(占补比)为 1.536,其中 1980 年代末—2000 年为 1.553,2000—2010 年为 1.632,占优补劣现象在最近 10 a 更加严重。

(2) 从分区看,东北平原主产区、北方干旱半干旱主产区、青藏高原区、华南主产区、云贵高原区占用耕地单位面积光温生产潜力持续高于增补耕地;长江中下游主产区占用耕地单位面积光温生产潜力持续低于增补耕地;四川盆地及周边地区、黄土高原区、海南由占优补劣变为占劣补优;黄淮海平原区由占劣补优变为占优补劣。

(3) 对全国而言,占优补劣对光温生产潜力总量有重要影响,1980 年代末—2010 年、1980 年代末—2000 年、2000—2010 年,分别导致仅因耕地面积变化而变化的光温生产潜力总量减少了 181.66%、64.40%、135.39%,甚至超过耕地面积的影响,成为促使光温生产潜力变化的主导力量。

(4) 从分区来看,我国耕地开垦的主要区域——青藏高原区、北方干旱半干旱主产区、东北平原主产区,占优补劣的影响率在 1980 年代末—2010 年分别为 21.13%、10.02%、3.44%,在较大程度上降低了耕地开垦带来的光温生产潜力总量增加,耕地开垦过程中应考

虑开垦优质耕地; 长江中下游主产区是我国耕地损失最剧烈的区域, 占劣补优在一定程度上缩小了耕地占用对光温生产潜力总量的影响, 但影响率不足 2%, 对于经济发展迅速、大量建设占用耕地不可避免的区域, 通过占劣补优达到降低耕地占用对光温生产潜力总量影响的目的, 是较好的方式; 华南主产区是仅次于长江中下游主产区的耕地损失区, 占优补劣导致该区域光温生产潜力总量进一步减少, 扩大了耕地占用的影响, 应考虑向占劣补优转变。

本文从粮食安全的角度, 探讨耕地开垦与占用的影响, 并未涉及生态效益。而实际上, 耕地开垦与占用对生态环境也有一定的影响。如对未利用土地的开发一直是我国耕地开垦的主要方式, 有较多的盐碱地、沙地、戈壁和裸土地转化为耕地, 这不仅促进了光温生产潜力的增加, 而且也有较好的生态效益。而草地、有林地以及一些生态湿地的开垦, 虽然有利于粮食安全, 但从长远来看, 可能生态效益不是很好。在考虑耕地占补对光温生产潜力及粮食安全影响的同时, 也应综合考虑其对生态环境的影响, 有关这一部分内容, 可作为下一步研究的方向。

参考文献(References):

- [1] 国家发展与改革委员会. 国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020) [M]. 2008. [The national development and reform commission. The National Food Safety Plan for Medium and Long Term Planning(2008-2020). 2008.]
- [2] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析 [J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12. [LIU Ji-yuan, ZHANG Zeng-xiang, ZHUANG Da-fang, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s. *Geographical Research*, 2003, 22(1): 1-12.]
- [3] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析 [J]. 中国科学 D 辑, 2002, 32(12): 1031-1040. [LIU Ji-yuan, LIU Ming-liang, ZHUANG Da-fang, et al. The analysis of spatial pattern of land-use changes of China recently. *Science in China Series D*, 2002, 32(12): 1031-1040.]
- [4] 石瑞香, 杨小唤. 中国耕地变化区的气候背景对比分析 [J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(3): 309-314. [DAN Rui-xiang, YANG Xiao-huan. Research on the climate background in arable land changed areas of China. *Journal of Geo-information Science*, 2010, 12(3): 309-314.]
- [5] Loom I S, Williams W A. maximum crop productivity: An estimate [J]. *Crop Science*, 1963, 3(1): 67-72.
- [6] Hanks R J. Yield and water use relationships: An overview [C] // Limitation to Efficient Water Use in Crop Production. 1983.
- [7] De Wit C T. Photosynthesis in Leaf Canopies [M]. Wageningen: Center for Agricultural Publications and Documentation, 1965: 201-300.
- [8] De Wit C T. Simulation of Assimilation, Respiration and Transpiration of Crops [M]. Wageningen: Center for Agricultural Publications and Documentation, 1978: 1-112.
- [9] Schulze R. Transcending scales of space and time in impact studies of climate and climate change on agrohydrological response [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 82: 185-212.
- [10] Olesen J E, Bocher P K, Jensen T. Comparison of scales of climate and soil data for aggregating simulated yields of winter wheat in Denmark [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 82: 213-228.
- [11] Childs S W, Gilley J R, Splinter W E. A simplified model of corn growth under moisture stress [J]. *Transaction of American Society of Agricultural Engineers*, 1977, 20: 858-865.
- [12] Kiniry J R, Bockholt A J. Maize and sorghum simulation in diverse Texas environments [J]. *Agronomy Journal*, 1998, 90: 682-687.
- [13] Wilkerson G G, Jones J W, Boote K J, et al. Modeling soybean growth for crop management [J]. *Transaction of American Society of Agricultural Engineers*, 1983, 26: 63-73.
- [14] Backalenko B I, Globus A M, Poluektov R A. Studies of sensitivity of a dynamic model of grain crop productivity to soil hydrophysical information [J]. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2008, 9: 94-101.
- [15] Belova G P, Bodro V A, Globus A M, et al. Soil hydro physical properties and mathematical modeling of salt movement

- in the soil profile [J]. *Soil Science*, 1984, 4: 23–44.
- [6] 高文彬, 江东, 杨小唤. 遥感数据驱动的耕地生产潜力模型与应用 [J]. *地理科学进展*, 2009, 28(4): 597–602. [GAO Wen-bin, JIANG Dong, YANG Xiao-huan. Cultivated land potential production model and application driven by RS information. *Progress in Geography*, 2009, 28(4): 597–602.]
- [7] 程传周, 杨小唤, 李月娇, 等. 基于不同模型组合的山东省耕地生产潜力计算与分析 [J]. *资源科学*, 2010, 32(11): 2165–2171. [CHENG Chuan-zhou, YANG Xiao-huan, LI Yue-jiao, et al. Calculation and analysis of cropland potential productivity in Shandong province with different models. *Resources Science*, 2010, 32(11): 2165–2171.]
- [8] 程传周, 杨小唤, 徐瑞娜, 等. 农业生产潜力计算与分析系统的设计与实现 [J]. *地球信息科学学报*, 2011, 13(2): 205–212. [CHENG Chuan-zhou, YANG Xiao-huan, XU Rui-na, et al. Design and realization of calculation and analysis system for agricultural potential productivity. *Journal of Geo-information Science*, 2011, 13(2): 205–212.]
- [9] 刘纪远, 徐新良, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代 LUCC 过程对我国农田光温生产潜力的影响 [J]. *中国科学 D 辑*, 2005, 35(6): 483–492. [LIU Ji-yuan, XU Xin-liang, ZHUANG Da-fang, et al. The impact of LUCC process on potential productivity for crops of China in 1990s. *Science in China Series D*, 2005, 35(6): 483–492.]
- [10] 徐新良, 刘纪远, 曹明奎, 等. 近期气候波动与 LUCC 过程对东北农田生产潜力的影响 [J]. *地理科学*, 2007, 27(3): 318–324. [XU Xin-liang, LIU Ji-yuan, CAO Ming-kui, et al. Impact of recent climate fluctuation and LUCC process on potential productivity for crops in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(3): 318–324.]
- [11] 程传周, 杨小唤, 李月娇, 等. 2005—2008 年中国耕地变化对区域生产潜力的影响 [J]. *地球信息科学学报*, 2010, 12(5): 620–627. [CHENG Chuan-zhou, YANG Xiao-huan, LI Yue-jiao, et al. The effects of cultivated land change on regional potential productivity in China from 2005 to 2008. *Journal of Geo-information Science*, 2010, 12(5): 620–627.]
- [12] YANG Xiao-huan, CHENG Chuan-zhou, LI Yue-jiao. Effect of cropland occupation and supplement on light-temperature potential productivity in China from 2000 to 2008 [J]. *Chinese Geographical Science*, 2010, 20(6): 536–544.

Spatial-Temporal Characteristics of Light-Temperature Potential Productivity on Cropland Occupation and Supplement in China in the Last 20 Years

WANG Jing^{1,2}, YANG Xiao-huan¹, CAI Hong-yan¹, LI Yue-jiao¹

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

2. Ningxia Hui Autonomous Region Earthquake Administration, Yinchuan 750001, China)

Abstract: It is of great significance to study the light-temperature potential productivity (LTPP) on cropland occupation and supplement for reasonable developing cropland resources and instructing grain production. This paper analyzed spatial-temporal characteristics of LTPP on cropland occupation and supplement for recent 20 years in terms of LTPP per unit area based on multiperiod land use change data and average annual LTPP from 1990 to 2010. The results demonstrate: 1) LTPP per unit area on cropland occupation was higher than on cropland supplement at country level from the 1980s to 2010. 2) At regional level, LTPP per unit area on cropland occupation was continuously higher than on supplement in the last 20 years in producing areas of Northeast China Plain, arid and semiarid northern China, Qinghai Tibetan Plateau, South China and Yunnan-Guizhou Plateau. Cropland with lower LTPP per unit area was occupied and cropland with higher LTPP per unit area was supplemented in the middle and lower reaches of the Yangtze River. LTPP per unit area on occupation was higher for the former 10 years but however, lower for the latter 10 years in Sichuan Basin and the surrounding area, the Loess Plateau, and Hainan. The cropland with higher LTPP per unit area was supplemented for the former 10 years and occupied for the latter 10 years in Huang-Huai-Hai Plain. 3) Better cropland occupied and worse cropland supplemented had an important effect on total LTPP at country level. 4) The regions (Northeast China Plain, etc.), with a greater deal of cropland supplement than occupation were remarkably affected by better cropland occupied and worse cropland supplemented, which had a slight effect on the regions (South China and so on) with a greater deal of cropland occupation than supplement. Better cropland supplied than worse cropland occupied also slightly impacts the regions (the middle and lower reaches of the Yangtze River and so on) where more cropland was occupied and less cropland was supplemented.

Key words: cropland occupation; cropland supplement; light-temperature potential productivity