

# 基于产能的耕地资源人口承载力研究<sup>\*</sup>

张晓燕, 陈影, 门明新, 李新旺, 周亚鹏, 许皞

(河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000)

**摘要:** 本文旨在探讨测算耕地人口承载力的科学方法, 为新一轮土地利用规划修编中的资源区域配置和人口政策提供科学依据。首先, 介绍了耕地理论产能和实际产能核算的方法, 并在此基础上建立了未来耕地生产能力预测模型, 形成了以 Logistic 生物模型和人口发展方程模型为人口预测方法, 以宽裕型、小康型、富裕型 3 种消费水平为标准的耕地资源人口承载力计算方法。然后, 以该方法为手段, 以河北省卢龙县为例进行了实证研究, 研究结果表明卢龙县 2010 年与 2020 年耕地生产能力分别为 256 826.96 t 和 299 631.45 t, 均可满足该县温饱型、小康型粮食消费需求, 但未达到富裕型人口粮食消费需求, 分别超载 22 837 人和 56 617 人。实证研究表明该方法测算结果符合当地实际发展情况, 是一种较科学的人口承载力测算方法。

**关键词:** 产能核算; 耕地人口承载力; 卢龙县

中图分类号: F323.211

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0176-05

## Study on Population Carrying Capacity of Cultivated Land Based on Production Capacity

ZHANG Xiao-yan, CHEN Ying, MEN Ming-xin, LI Xin-wang, ZHOU Ya-peng, XU Hao

(College of Resources and Environment Science, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China)

**Abstract:** In order to provide a scientific basis for regional resources allocation and population policies in the new round of land use planning revision, the paper aims to explore the scientific method of calculating the population carrying capacity of the method of cultivated land. First, on the basis of introducing the accounting method of theoretical and realistic production capacity construct the prediction model about future production capacity of cultivated land, forming the calculating method of population carrying capacity which is based on the population projection method of Logistic biological model and population growth equation model in the three consumption levels, well off, comparatively well off and surplus. Then, the paper taking Lulong County as an example makes an empirical study, the results show that the production capacity are 256 826.96 and 299 631.45 ton in 2010 and 2020 which can meet the food consumption demand in well off and comparatively well off, but can't meet the food consumption demand in surplus, overloading 22 837 and 56 617 people. The empirical study show that the calculating results adapt to local conditions is a more scientific method of calculating population carrying capacity.

**Key words:** accounting production capacity; population carrying capacity of cultivated land; Lulong county

耕地是土地的精华, 是人类食物的主要来源地和社会经济可持续发展的最基本要素, 但随着近年来工业化、城市化进程的加快, 大量耕地被侵占, 人地矛盾不断加剧, 粮食安全问题日益严峻, 我国政府和有关学者愈来愈关心耕地资源是否具有足够的生

产力满足未来人口的粮食需求, 作为回答此问题的耕地资源人口承载力的研究应运而生。耕地资源人口承载力的研究, 即研究可预见的时期内, 充分利用耕地资源及其相关的自然资源智力、技术等条件, 在保证符合社会文化准则的物质生活水平条件下, 同

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-12-24

基金项目: 河北省自然科学基金项目(D2010000795); 河北省教育厅项目(2009451)

作者简介: 张晓燕(1985-), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要研究方向土地资源规划与利用。E-mail: zxiaoyan22@163.com

通信作者: 许皞(1963-), 男, 河北定兴人, 教授, 研究方向为土地资源管理。E-mail: xuhao22003@yahoo.com.cn

时避免耕地退化和生态环境的破坏,在此前提下耕地资源所能持续供养的人口数量<sup>[1]</sup>。其研究目的不在于获取耕地资源能养活人口的精确数据,而是揭示人口、粮食、耕地三者之间的复杂关系及其地域差异<sup>[2-3]</sup>,为新一轮土地利用规划修编中的资源区域配置、耕地保护和人口政策提供科学依据。

目前,人口承载力的研究主要通过联合国粮农组织(FAO)提供的农业生态区域法(AEZ)来计算<sup>[4-6]</sup>。该方法机制合理、思路严谨,能够全面考虑影响作物生长发育的因素<sup>[7]</sup>,但难以确定合适的参数和订正函数,尤其是若不能采用有实验依据的参数将影响研究的科学性和精度<sup>[8]</sup>,而且计算过程较为繁琐。耕地产能是各种自然因素、社会经济因素综合作用的结果,是在农用地分等的基础上把全国耕地系统内部相对差异的每个梯级的绝对值水平精确地表达出来,该值能够体现耕地的自然差异、利用差异及其区域差异,因此,以耕地产能核算方法为基础测算规划期耕地生产能力,分析耕地资源人口承载力可以提高承载力研究的科学性和可行性。基于此,本文拟以农用地产能核算为切入点,以卢龙县为研究区,进行人口承载力测算方法研究,为实施耕地保护战略和确保粮食安全提供相应的决策依据,为研究区制定人口与资源环境可持续发展的人口政策提供理论依据<sup>[9]</sup>。

## 1 耕地资源人口承载力计算方法步骤

人口承载力反映的是区域人口与粮食的关系。本文主要研究思路为以耕地产能核算理论为核心,采用理论产能和实际产能核算模型测算研究区耕地产能,进而估算规划期耕地生产能力,最后结合人口预测模型,建立人口承载力计算方法,测算研究区耕地资源人口承载力。

### 1.1 耕地的理论产能测算

耕地理论产能体现农业粮食生产的远景目标,是在农业生产条件得到充分保证,光、热、水、土等环境因素均处于最优状态,技术因素所决定的农作物所能达到的最高产量,是耕地资源最大生产潜力。模型构建中样点的选取来源于试验田数据,通过补充调查指定作物审定品种的区域试验单产,将其视作理论单产的样本值,对区域重新进行分等,计算自然质量等指数,建立理论样本值和相应的自然质量等指数的函数关系为

$$y' = aR_i + b \quad (1)$$

式中: $y'$ ——指定作物理论样本地块标准粮单产; $R_i$ ——样本地块新的自然质量等指数; $a, b$ ——回归

系数值。

将县域内所有耕地分等单元的自然等指数代入式(1),可以获得各单元的年均理论单产,分等单元理论单产乘以分等单元耕地面积可以获得耕地分等单元理论总产。

### 1.2 耕地实际产能的测算

农用地实际产能是指目前实际实现的产能,即某年农作物已经达到的平均产量。本文在实际产能核算时采用研究区内农作物统计产量,按照《农用地分等规程》中的折算系数进行计算。折算过程如下:小麦、玉米、水稻等指定作物,按照折算系数折算为标准粮;棉花、花生等其它作物,按照小麦、玉米两种作物折算后的平均标准粮单产进行计算。指定作物标准粮单产计算公式如下:

$$P'_i = \frac{T_{i1} + \frac{T_{i2}}{1.43} + \frac{T_{i3}}{1.57}}{S_{i1} + S_{i2} + S_{i3}} \quad (2)$$

式中: $S_i, S_{i1}, S_{i2}, S_{i3}$ ——第*i*个县(乡)的农作物、小麦、玉米、水稻播种面积; $P'_i$ ——第*i*个县(乡)其它作物(除小麦、玉米、水稻外)的平均粮食单产; $T_{i1}, T_{i2}, T_{i3}$ ——第*i*个县(乡)的小麦、玉米、水稻的产量。

实际产能标准粮总产的计算公式如下:

$$T'_i = P_i \times (S_i - S_{i1} - S_{i2} - S_{i3}) \quad (3)$$

式中: $T'_i$ ——第*i*个县(乡)其它(除小麦、玉米、水稻外)作物转化为标准粮时的产量。

该县(乡)总的标准粮产量即实际产能为:

$$T_i = T_{i1} + \frac{T_{i2}}{1.43} + \frac{T_{i3}}{1.57} + T'_i \quad (4)$$

### 1.3 耕地资源人口承载力计算方法

1.3.1 耕地资源承载力测算模型 耕地资源人口承载力用一定粮食消费水平下,区域耕地生产能力所能供养的人口规模来度量,以公式表示为

$$LCC = G / G_{pc} \quad (5)$$

式中: $LCC$ ——耕地资源人口承载力(人); $G$ ——耕地生产能力; $G_{pc}$ ——人均粮食消费标准(kg/人)。参考联合国粮农组织公布的人均营养热值标准,结合研究区实际情况提出人均粮食消费标准在温饱型、小康型、富裕型三级生活水平下分别为400, 450, 525 kg。

1.3.2 耕地资源承载比测算模型 为揭示规划期间区域人口数量与耕地资源人口承载力之间的关系,用承载比( $SR$ )表征未来预测人口与耕地承载能力的相关关系,计算公式如下:

$$SR = P_a / LCC \quad (6)$$

式中: $SR$ ——人口承载比; $P_a$ ——规划期间人口预

测值(人); $LCC$ ——耕地资源人口承载力(人)。

人口承载比( $SR$ )值愈小,潜力愈大;反之,其值愈大,潜力愈小。根据 $SR$ 的大小将研究区内耕地资源的人口承载力分为承载良好、勉强承载、超载3种类型区:①承载良好区,人口承载比( $SR$ ) $\leq 0.94$ ,表示承载力人口大于预测人口为承载情况良好,具有一定的发展空间;②勉强承载区,人口承载比( $SR$ )为 $0.95\sim 1.05$ ,表示耕地处于满载状态,发展潜力有限;③超载区,人口承载比( $SR$ ) $\geq 1.06$ ,表示耕地生产能力缺口较大,人口超载严重<sup>[10]</sup>。

## 2 卢龙县耕地资源人口承载力研究

### 2.1 研究区概况与数据来源

卢龙县位于河北省冀东山区,秦皇岛市的西北部,地处东经 $118^{\circ}45'54''-119^{\circ}08'06''$ ,北纬 $39^{\circ}43'00''-40^{\circ}08'42''$ ,属河北省农用地分等三级指标区的“燕山长城两侧低山丘陵冬小麦两年三熟区”,主要地貌类型为低山、丘陵和盆地,土地总面积 $95\,594.90\text{ hm}^2$ 。卢龙县土地利用数据主要来源于土地利用现状变更调查和农用地分等项目;社会经济数据来源于1997–2006年《河北省国民经济统计年鉴》,将耕地利用统计资料以及农业产出情况,建成卢龙县农业经济统计数据库。此外通过调查和专

家咨询的方式获得了一定的试验田产量数据。

### 2.2 卢龙县耕地粮食生产能力计算

根据农用地分等成果,2006年卢龙县耕地面积 $40\,652.79\text{ hm}^2$ ,划分为6–14等9个自然质量等级,其中11等地所占的比例较大,占耕地总面积的24.75%,表明卢龙县农用地的自然质量较高,基础较好,耕地理论产能有较大的发挥潜力。

2.2.1 卢龙县耕地理论产能 利用卢龙县试验田数据以及补充调查指定作物审定品种的区域试验单产数据,建立理论样本值和相应的自然质量等指数的函数关系为

$$Y=3.7515X+3478.35 \quad (R^2=0.7722) \quad (7)$$

式中: $Y$ ——理论标准粮单产( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ); $X$ ——自然质量等指数。

根据以上理论产能核算模型,测算出卢龙县理论产能结果(表1)。

2.2.2 卢龙县耕地的实际产能 2006年卢龙县农作物播种面积 $43\,583.73\text{ hm}^2$ ,其中小麦播种面积 $966\text{ hm}^2$ ,玉米播种面积 $13\,908.06\text{ hm}^2$ ,稻谷播种面积 $747.87\text{ hm}^2$ ,三种主要作物总产分别为 $5\,283\text{ t}$ 、 $108\,499\text{ t}$ 和 $4\,591\text{ t}$ ,利用农业统计数据及公式(2–4),得到卢龙县实际产能结果,见表1。

表1 卢龙县理论产能和实际产能

乡镇名称	理论产能	实际产能	增产潜力	乡镇名称	理论产能	实际产能	增产潜力
卢龙镇	53094.12	28244.38	24849.74	下寨乡	25607.46	13936.09	11671.38
潘庄镇	29905.42	16098.73	13806.69	刘家营乡	17417.11	8801.30	8615.81
燕河营镇	41979.06	25195.57	16783.49	陈官屯乡	33717.09	19049.61	14667.47
双望镇	38595.09	24791.39	13803.71	印庄乡	40223.43	23683.45	16539.98
刘田各庄镇	37529.87	19441.87	18088.00	蛤泊乡	28730.59	11243.73	17486.86
石门镇	39183.22	19870.53	19312.69	木井乡	42062.47	23019.22	19043.26
卢龙县	428044.93	233375.86	194669.07				

2.2.3 卢龙县规划期的耕地生产能力 由表1可知卢龙县实际产能仅为理论产能的54.52%,增产潜力为 $194\,669.07\text{ t}$ ,按照温饱型生活水平计算还能够养活486 673人,可见卢龙县耕地潜力很大。但是以卢龙县现有经济发展水平,规划期间不可能使耕地潜力完全发挥,必须根据以往粮食作物产量资料计算实际产能,应用时间系列法外推预测近中期耕地生产能力。本文采用理论产能实现率增长速度法预测2010年、2020年耕地生产能力,其计算公式如下:

$$Y_i=Y_L(a+bt) \quad (8)$$

式中: $Y_i$ ——预测年耕地生产能力; $Y_L$ ——耕地理论产能; $a$ ——基期年理论产能实现率; $b$ ——实现率年增长率; $t$ ——预测年与基期年的时间距离。

应用线性回归方程对1996年以来实际产能进

行回归,得出理论产能实现率年增长率为1.105%,基期年理论产能实现率为54.52%,将此结果代入式(8)得到卢龙县各乡镇2010年和2020年生产能力,见表2。

由表2可知,卢龙县2010年耕地生产能力为 $256\,826.96\text{ t}$ ,2020年为 $29\,9631.45\text{ t}$ 。与2006年相比,分别增加 $23\,451.1\text{ t}$ 和 $66\,255.59\text{ t}$ 。其中卢龙县南部地势平坦,土壤条件较好,使南部乡镇耕地增产潜力较大。

### 2.3 卢龙县人口承载力估算

2.3.1 人口预测 人口因素是制约土地人口承载力的重要因素之一<sup>[11]</sup>,人口数量的多少对粮食的消耗量起决定性的作用,对人口预测的准确性,直接影响耕地资源的人口承载力水平。根据卢龙县1997

- 2006 年各年人口统计数据, 利用 Logistic 生物模型以及人口发展方程模型预测卢龙县未来的人口发展趋势, 得到规划期人口数量分别为 2010 年 536 492 人, 2020 年 655 880 人。

表 2 卢龙县 2010 年、2020 年耕地生产能力 t

乡镇名称	2010 年生产能力	2020 年生产能力	乡镇名称	2010 年生产能力	2020 年生产能力
卢龙镇	31856.47	37165.89	下寨乡	15364.48	17925.22
潘庄镇	17943.25	20933.79	刘家营乡	10450.27	12191.98
燕河营镇	25187.43	29385.34	陈官屯乡	20230.25	23601.96
双望镇	23157.06	27016.56	印庄乡	24134.06	28156.4
刘田各庄镇	22517.92	26270.91	蛤泊乡	17238.35	20111.41
石门镇	23509.93	27428.25	木井乡	25237.48	29443.73
卢龙县	256826.96	299631.45			

2.3.2 卢龙县人口承载力 运用耕地资源承载力模型(式 5), 测算得出 2010 年、2020 年卢龙县人口承载力(表 3)。由表 3 可知, 2020 年与 2006 年相比, 全县耕地生产能力仅有 28.39% 的增产潜力, 增产潜力较小, 人口承载量结果也不容乐观。到 2020 年, 若按小康型消费标准计算, 可承载 665 848 人,

有 9 968 人的承载潜力; 若按富裕型标准计算, 全县可承载 599 263 人, 超载 56 617 人。规划期间耕地生产能力卢龙镇和木井乡最大, 各消费标准下人口承载量最高; 而刘家营乡和下寨乡生产能力和人口承载量最低, 这种差异主要是其耕地数量、质量以及经济条件的差别所致。

表 3 2010 年、2020 年卢龙县耕地人口承载力

2010 年										2020 年							
乡 镇	生产能 力总产 / t	预测人 口 / 人	温饱型		小康型		富裕型		生产能 力总产 / t	预测人 口 / 人	富裕型		温饱型		小康型		
			可承载	承载	可承载	承载	可承载	承载			可承载	承载	可承载	承载	可承载	承载	
			人口 / 人	比 /%	人口 / 人	比 /%	人口 / 人	比 /%			人口 / 人	比 /%	人口 / 人	比 /%	人口 / 人	比 /%	
卢龙县	256826.96	536492	642067	0.84	570727	0.94	513654	1.04	299631.45	655880	749079	0.88	665848	0.99	599263	1.09	
卢龙镇	31856.47	83481	79641	1.05	70792	1.18	63713	1.31	37165.89	97341	92915	1.05	82591	1.18	74332	1.31	
潘庄镇	17943.25	32182	44858	0.72	39874	0.81	35887	0.90	20933.79	37154	52334	0.71	46520	0.80	41868	0.89	
燕河营镇	25187.43	44827	62969	0.71	55972	0.80	50375	0.89	29385.34	52365	73463	0.71	65301	0.80	58771	0.89	
双望镇	23157.06	41033	57893	0.71	51460	0.80	46314	0.89	27016.56	50281	67541	0.74	60037	0.84	54033	0.93	
刘田各庄	22517.92	57541	56295	1.02	50040	1.15	45036	1.28	26270.91	67099	65677	1.02	58380	1.15	52542	1.28	
石门镇	23509.93	67529	58775	1.15	52244	1.29	47020	1.44	27428.25	102972	68571	1.50	60952	1.69	54857	1.88	
下寨乡	15364.48	28226	38411	0.73	34143	0.83	30729	0.92	17925.22	37625	44813	0.84	39834	0.94	35850	1.05	
刘家营乡	10450.27	20270	26126	0.78	23223	0.87	20901	0.97	12191.98	23625	30480	0.78	27093	0.87	24384	0.97	
陈官屯乡	20230.25	35070	50576	0.69	44956	0.78	40461	0.87	23601.96	40896	59005	0.69	52449	0.78	47204	0.87	
印庄乡	24134.06	35192	60335	0.58	53631	0.66	48268	0.73	28156.40	40250	70391	0.57	62570	0.64	56313	0.71	
蛤泊乡	17238.35	36590	43096	0.85	38307	0.96	34477	1.06	20111.41	42665	50279	0.85	44692	0.95	40223	1.06	
木井乡	25237.48	54551	63094	0.86	56083	0.97	50475	1.08	29443.73	63608	73609	0.86	65431	0.97	58887	1.08	

根据承载比的大小, 按照人口承载力类型区划分标准, 将卢龙县 12 个乡镇的承载力进行分区(表 4), 分区结果显示, 除石门镇外, 规划期卢龙县各乡镇的耕地生产能力均能满足温饱型消费水平的需求; 除石门镇、卢龙镇和刘田各庄外, 其他各乡镇均能满足小康型

消费水平的需求; 但在富裕型消费水平下近半数乡镇处于超载状态, 表明卢龙县整体承载潜力较大, 但各乡镇承载潜力差异明显。表明若要在保证全县粮食安全的同时又不断提高人们生活水平, 就必须深入挖掘耕地生产潜力, 提高耕地生产能力。

表 4 卢龙县耕地资源人口承载力分区

年份	类型	地 区
2010	超载	石门、卢龙镇(小康型、富裕型)、刘田各庄(小康型、富裕型)、蛤泊(富裕型)、木井(富裕型)
	勉强承载	卢龙镇(温饱型)、刘田各庄(温饱型)、蛤泊(小康型)、木井(小康型)、刘家营(富裕型)
	承载良好	潘庄、燕河营、双望、下寨、刘家营(温饱型、小康型)、陈官屯、印庄、蛤泊(温饱型)、木井(温饱型)
2020	超载	石门、卢龙镇(小康型、富裕型)、刘田各庄(小康型、富裕型)、蛤泊(富裕型)、木井(富裕型)
	勉强承载	卢龙镇(温饱型)、刘田各庄(温饱型)、蛤泊(小康型)、木井(小康型)、刘家营(富裕型)、下寨(富裕型)
	承载良好	潘庄、燕河营、双望、下寨(温饱型、小康型)、刘家营(温饱型、小康型)、陈官屯、印庄、蛤泊(温饱型、小康型)、木井(温饱型)

3 结论

(1) 以耕地产能核算为核心, 以耕地理论产能和实际产能核算的测算方法为基础, 建立了未来耕地生产能力预测模型, 形成了以 Logistic 生物模型和人口发展方程模型为人口预测方法, 以宽裕型、小康型、富裕型 3 种消费水平为标准的耕地资源人口承载力计算方法。该方法具有传统上以光温生产力为基础逐步修正计算粮食生产能力的优点, 而且简单易行, 避免了传统上把各种粮食作物分别进行预测的分散性和由于各种预测结果加和所带来的差异性, 使结果更加科学合理。

(2) 运用构建的耕地人口承载力模型, 以卢龙县为例进行了耕地人口承载力实证研究, 结果表明: ①规划期间卢龙县人口承载量结果不容乐观, 到 2020 年, 在小康型消费标准下勉强承载, 而在富裕型消费标准下处于超载状态。②除石门镇外, 各乡镇均能满足温饱型消费标准下的粮食需求, 但在富裕型消费水平下近半数乡镇处于超载状态, 卢龙县整体承载潜力较大, 但各乡镇承载潜力差异明显。因此, 若要保证全县的粮食安全又不断提高生活水平, 必须深入挖掘耕地生产潜力, 提高耕地生产能力, 同时控制人口增长速度。

(3) 耕地产能核算是在农地分等成果的基础上完成的, 很好地反映了目前耕地生产能力, 实证研究表明该方法测算结果符合当地实际发展情况, 是一种较科学的人口承载力测算方法。但是由于当前科

学技术的发展水平尚不能对农地分等的各影响因素进行动态变更, 使得计算出来耕地产能与现实产量之间可能有一定的差异, 有待进一步完善。

参考文献

[1] 熊平生, 谢金宁, 谢世友. 重庆市耕地生产潜力及承载力分析[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(5): 584-587.

[2] 梅方权. 21 世纪前期中国粮食的发展目标和战略选择[J]. 粮食科技与经济, 1999(4): 4-8.

[3] 余旭升. 土地资源人口承载量的预测及其在人地关系研究中的意义: 以江苏省滨海、苏州为例[J]. 自然资源学报, 1991, 6(2): 117-126.

[4] 蔡成凤, 刘友兆. 淮南市耕地资源生产潜力及人口承载力研究[J]. 资源调查和评价, 2005, 23(12): 8-14.

[5] 王晓荣, 高九江. 陕北粮食生产潜力及土地人口承载力研究[J]. 水土保持学通报, 2006, 26(5): 53-56.

[6] 郭艳红. 北京土地人口承载力研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.

[7] 叶伟, 赵善伦, 孙静. 土地人口承载力计算方法综述[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(3): 40-44.

[8] 张晶, 王德岱. 浅论土地承载力研究方法[J]. 山东省农业管理干部学院学报, 2007, 23(1): 157-158.

[9] 陈卫, 孟向京. 中国人口容量与适度人口问题研究[J]. 市场与人口分析, 2000, 6(1): 2-31.

[10] 刘长运, 杨丰华, 蒋国富. 河南省土地资源承载力研究[J]. 南都学坛, 1998, 18(6): 72-74.

[11] 姬洪飞, 张俊梅, 许皞. 基于农用地分等的土地人口承载力研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(4): 369-373.

(上接第 175 页)

[3] Hawley M E, Jackson T J, McCuen R H. Surface soil moisture variation on small agricultural watershed[J]. J. Hydrol., 1983, 62: 179-200.

[4] Western W A, Grayson R B, Blöschl G, et al. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices[J]. Water Resour. Res., 1999, 35: 797-810.

[5] 王孟本, 李洪建. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 178-184.

[6] 解文艳, 樊贵盛. 土壤质地对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004, 35(5): 537-540.

[7] Andrew W W, Sen Lin Z, Rodger B G, et al. Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its

relationship to dominant spatial hydrological process[J]. J. Hydrol., 2004, 286: 113-134.

[8] Bai J, Deng W, Zhu Y, et al. Spatial variability of nitrogen in soils from land/ inland water ecotones[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 2004, 35(5/6): 735-750.

[9] 向万胜, 黄敏, 李学坦. 土壤磷素的化学组分及其植物有效性[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 663-670.

[10] 于君宝, 王金达, 刘景双, 等. 典型黑土 pH 值变化对微量元素有效态含量的影响研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 93-95.

[11] 范新瑞, 苏维词, 鄢贵权, 等. 黔中典型喀斯特地区土壤水分时空特性分析[J]. 中国岩溶, 2009, 28(1): 69-75.