

# 生态位适宜度方法在基于 GIS 的耕地多宜性评价中的应用\*

于婧<sup>1</sup> 聂艳<sup>2</sup> 周勇<sup>1,2†</sup> 何佑勇<sup>1</sup>

(1 华中农业大学资源环境学院, 武汉 430070)

(2 华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉 430079)

**摘要** 以江汉平原后湖地区耕地为研究对象, 将生态位适宜度方法引入到多宜性评价研究中, 采用加权平均和限制因子模型对各评价单元水稻、小麦、棉花和油菜 4 种作物的生态位适宜度值及限制因子进行了定量分析。结果表明: 研究区生态位适宜度值整体较高, 最大值达 0.958, 生境条件基本能满足作物的需求; 评价结果以 1、2 级为主, 所占面积达 75%; 水稻的适宜性面积在该区最大, 达 65.54%, 小麦次之; 限制该地区耕地生产潜力的生态因子主要为: 速效磷、CEC 和道路通达度。该研究结果能直接指导农业生产实践, 促进耕地的合理利用与管理。

**关键词** 生态位适宜度; GIS; 多宜性评价; 耕地  
**中图分类号** P964 **文献标识码** A

生态位(Niche)是现代生态学中一个非常重要的概念,自20世纪90年代以来,这一概念在生态学界受到了前所未有的关注<sup>[1]</sup>,并在种的适合性测定、种间关系、群落结构和生态位构建等方面得到广泛应用<sup>[1~4]</sup>。在生态位基础上发展起来的生态位适宜度模型,目前的研究主要集中在人口、作物、城市发展等方面<sup>[4~6]</sup>,而应用于土地特别是土地多宜性评价的研究则很少<sup>[7~9]</sup>。由于生态位适宜度能够较好地反应不同作物对其生境条件(土地)的适宜程度并分析限制作物生长的因子,因此,本文以江汉平原后湖地区耕地为研究对象,从耕地的多宜性角度出发,以地块为单位,运用GIS技术和数理统计方法,对研究区水稻、油菜、小麦和棉花4种作物的生态位适宜性及限制耕地生产潜力发挥的因子进行分析。目的在于揭示各地块的最适宜种植作物以及限制该区域作物生产潜力发挥的主要因子,为农业生产实践、农业结构调整,以及合理规范管理耕地提供科学依据,以促进研究区农业持续、稳定、协调发展。

## 1 研究样区与研究方法

### 1.1 研究样区概况

研究区位于湖北省潜江市(112°08'E至112°41'E,

30°20'35"N至30°22'8"N),总面积为1035 hm<sup>2</sup>,其中耕地536.0 hm<sup>2</sup>。受亚热带季风气候影响,光照充足,四季分明,雨水充沛,热量丰富;地形平坦,成土母质为第四纪河湖相沉积物与河流冲积物;地面高程主要在26.8~28.1 m(1956年黄海高程系)之间,排灌条件好,不易发生旱、涝灾害,耕作制度为水旱轮作,以油菜、水稻、棉花、小麦等农作物为主,为湖北省粮棉油中高产区。

### 1.2 生态位适宜度模型<sup>[1~9]</sup>

在 Hutchinson<sup>[10]</sup>的“ $n$  维超体积”生态位概念基础上发展起来的生态位适宜度,是指作物的现实资源位与其最适生态位之间的贴近程度,用于表征作物对其生境条件的适宜程度。以水稻为例,假定考虑与水稻生长有关的  $n$  个生态因子,如有机质、速效磷等,各因子实测值记作  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 则  $X_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  表示水稻的一个现实资源位;而与水稻需求有关的全部  $X$  构成  $n$  维资源空间中的一个“超体积”(  $E^n$  ), 其中存在某一点  $X_0 = (x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$ , 达到水稻的最佳需求, 则称  $X_0$  为水稻的最适生态位。则生态位适宜度值  $NF = (X_0, X_i)$ , 其中  $X_0, X_i \in E^n$ ;  $(X_0, X_i)$  表示  $X_0$  和  $X_i$  的贴近度,  $NF \in [0, 1]$ , 值越大表示水稻对生境条件的适宜程度越

\* 国家自然科学基金项目(批准号:40271056)和中德农业科技合作2004/2005项目计划(No.48)资助

† 通讯作者:教授,博士生导师。从事3S集成与应用方面的研究 E-mail: yzhou@mail.hzau.edu.cn

作者简介:于婧(1982~),女,内蒙古乌兰浩特人,博士研究生,主要从事土地评价与土壤养分精准管理研究 E-mail: qing@webmail.hzau.edu.cn

收稿日期:2005-01-05;收到修改稿日期:2005-05-27

高,反之越低。目前常用的计算  $NF$  值的模型有限制因子、加权平均、希尔伯特空间等模型。

事实上,任何作物都生存在一定的环境中,它对环境资源的需求和环境资源条件的供给之间存在着动态的供需关系。环境资源的供给是一定的(现实资源位),而不同作物对环境资源的需求则不一致,不同作物中必定有一种作物能够最大限度的利用环境资源,对环境的适宜性程度最高,与最佳需求的环境条件越接近,也即  $NF$  值越大。因此,一定的生境条件下,通过对不同作物的  $NF$  值进行分析和比较,就能确定该环境下最适宜生长的作物。其主要的处理步骤为:(1) 确定作物适宜性评价指标体系,通过理化分析获取各因子的实测值,构成作物的一个现实资源位;(2) 获取满足各作物的最佳生境条件即相对作物而言各因子的最适值;(3) 计算一定的环境中,各作物的生态位适宜度值;(4) 通过比较生态位适宜度值的大小,确定该环境条件下的最适作物。

## 2 基于 GIS 的耕地多宜性评价方法与步骤

### 2.1 基于 GIS 的数据处理

利用 ArcGIS 矢量化地块图(1 10 000,1998)、土地利用现状图(1 10 000,1998)建立空间数据库;适宜性评价指标共 13 个,其中道路通达度和灌排水便捷度值利用 ArcGIS 的空间分析模块获取,即从土地利用现状图中提取道路和水渠后,根据它们在空间衰减的

特性,预先将其对周围空间的影响度  $F_i$  分为几个典型等级,对水渠采用二次衰减模型( $d_i = d_0(1 - \sqrt{F_i})$ ),  $F_i$  分为 9 级 0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.45,0.65,0.85,1,  $d_0 = S/2L = 162$  m,  $S$  为研究区总面积,  $L$  为水渠总长度,  $d_0$  为水渠的最大影响距离);对道路采用指数衰减模型(一级道路为  $d_{i1} = d_{01}\left(1 - \frac{\ln F_i}{\ln f_0}\right)$ , 二级道路为  $d_{i2} = d_{02}\left(1 - \frac{\ln F_i}{\ln f_0}\right)$ ,  $F_i$  分为 8 级 1,10,20,30,45,65,85,100,  $d_{01} = S/2La = 245$ ,  $d_{02} = S/2(La + Lb) = 150$ ,  $S$  同前,  $La$  为一级道路总长,  $Lb$  为二级道路总长),对不同  $d_i$  做缓冲区分析后将各等级缓冲区图进行叠加,在相应的缓冲区带中赋予相应的  $F_i$  值,采用面积加权获取各地块的两个指标值。

其他指标由实验获得。2002 年以地块为评价单元,依照蛇形取样法采集土壤混合样品共 58 个,经风干、磨细、过筛后按照中国土壤系统分类<sup>[11]</sup>指定的方法获取全磷、有机质等指标数值,依照地块编码建立评价属性数据库。

### 2.2 确定评价指标体系和权系数

影响耕地适宜性的因子有很多,本研究在参考有关资料的基础上,结合研究区的实际情况,确定评价指标选取的原则:(1)应对耕地的适宜性有较大影响;(2)评价区内差异较大、相关性较小;(3)应以稳定性因子为主,但对农业生产影响大、变化规律明显的不稳定性因子也应考虑;(4)为实现定量评价,尽可能选择可测量的因子。基于上述原则,确定适宜性评价指标体系(表 1)。

表 1 作物适宜性评价指标体系和权系数

Table 1 Suitability evaluation index and weight of different crops

因素 Factor	因子 Factor	权重 Weight			
		水稻 Rice	小麦 Wheat	棉花 Cotton	油菜 Rape
养分状况 Nutrient status	有机质 OM(g kg <sup>-1</sup> )	0.126	0.139	0.130	0.124
	全磷 TP(g kg <sup>-1</sup> )	0.031	0.034	0.028	0.030
	全钾 TK(g kg <sup>-1</sup> )	0.031	0.034	0.028	0.030
	速效磷 Av. P(mg kg <sup>-1</sup> )	0.082	0.092	0.050	0.114
	速效氮 Av. N(mg kg <sup>-1</sup> )	0.106	0.119	0.111	0.104
	速效钾 Av. K(mg kg <sup>-1</sup> )	0.082	0.055	0.073	0.070
物理化学环境 Physical and chemical conditions	耕层厚度 (cm)	0.074	0.076	0.091	0.078
	粘粒含量 (%)	0.051	0.051	0.046	0.039
	CEC(cmol kg <sup>-1</sup> )	0.073	0.082	0.116	0.084
水利条件 Irrigation	pH	0.056	0.051	0.068	0.059
	灌排水便捷度	0.166	0.147	0.145	0.145
区位条件 Traffic	道路通达度	0.122	0.120	0.114	0.123

Thickness of cultivated layer; Clay content; Irrigation and drainage facility; Accessibility to roads

然后,采用层次分析法确定各指标的权系数。首先确定各指标的层次结构,参考土壤、作物等知识,咨询有关专家构建判断矩阵,计算一致性指标判断其是否具有满意的一致性,对通过一致性检验的矩阵计算得到各指标的权系数(表 1)。

### 2.3 确定评价指标的最适值

对作物而言,很难确定各指标的最适值。但一般来说,上述指标中粘粒含量和 pH 值存在一个最适宜区间,多或少都将成为限制因子;其他指标则是越大越好,超过某一值,它的影响将越来越小。为此,本研究依据 FAO《土地评价纲要》中关于土地适宜性评价的原则、方法和有关资料<sup>[12-15]</sup>,确定各指标的最适值,用于计算作物的  $NF$  值(表 2)。

### 2.4 计算作物生态位适宜度值

作物的  $NF$  值均处在  $[0, 1]$  之间,其值越接近 1,说明生境条件对作物需求的满足程度越高,供需关系越稳定和谐,也即评价地块越适合于种植该作物。按照 2.2 获取 58 个地块的评价指标原始数据后,根据表 1,采用加权平均模型计算各地块对水稻、小麦、棉花和油菜的  $NF$  值(表 2),其公式如下:  $NF = \sum_{i=1}^n w_i \times \min\left\{\frac{x_i}{L_i}, 1\right\}$ 。式中,  $NF$  为作物生态位适宜度值,  $x_i$  和  $L_i$  分别为第  $i$  个生态因子的实测值和最适值,  $w_i$  为第  $i$  个生态因子的权系数,  $n$  为生态因子数。根据指标特性,对粘粒含量和 pH 值而言,  $x_i/L_i$  变换为  $x_i/L_{imin}, 1, L_{imax}/x_i$ 。

表 2 作物适宜性评价指标的最适值

Table 2 Optimum values of suitability evaluation for different crops

因素 Factor	因子 Factor	最适值 The optimum value			
		水稻 Rice	小麦 Wheat	棉花 Cotton	油菜 Rape
养分状况 Nutrient status	有机质 OM(g kg <sup>-1</sup> )	20	16	18	18
	全磷 TP(g kg <sup>-1</sup> )	1.5	1.7	2.0	1.7
	全钾 TK(g kg <sup>-1</sup> )	18	18	18	18
	速效磷 Av. P(mg kg <sup>-1</sup> )	18	20	20	20
	速效氮 Av. N(mg kg <sup>-1</sup> )	100	110	120	110
	速效钾 Av. K(mg kg <sup>-1</sup> )	110	150	125	150
物理化学环境 Physical and chemical conditions	耕层厚度 (cm)	18	20	22	22
	粘粒含量 (%)	45 ~ 60	35 ~ 50	25 ~ 40	30 ~ 45
	CEC(cmol kg <sup>-1</sup> )	13	13	15	15
	pH	5.5 ~ 7.0	6.5 ~ 7.0	7.0 ~ 8.0	6.0 ~ 7.0
水利条件 Irrigation	灌溉水便捷度	0.40	0.35	0.35	0.35
区位条件 Traffic	道路通达度	0.15	0.15	0.15	0.15

Thickness of cultivated layer; Clay content; Irrigation and drainage facility; Accessibility to roads

## 3 耕地多宜性评价结果与分析

### 3.1 单作物适宜性评价

由表 3 得到各作物的  $NF$  值范围为:水稻为 0.752 ~ 0.944;小麦为 0.732 ~ 0.939;棉花为 0.684 ~ 0.938;油菜为 0.667 ~ 0.926。其值均在 0.667 以上,最大达到 0.944,表明该区生境条件整体较好,基本能满足各作物的需求。

为划分单作物适宜性级别,以表 3 的  $NF$  值为基础,以统计软件 SPSS 的 Classify Analysis 模块为工具,分别对 58 个地块不同作物的  $NF$  值采用最短距

离法进行聚类,通过分析相关系数的变化情况和树形结果图,确定各作物的绝对阈值  $d_0$ ,得到聚类结果。通过运算和分析确定水稻、小麦、棉花和油菜的  $d_0$  分别为 0.014、0.01、0.012、0.012,均聚为 4 类(表 3),将聚类结果与空间数据库联接,借助 ArcGIS 得到研究区单作物适宜性评价结果图(以水稻为例,图 1)和各级别的面积(表 4)。

表 3、表 4 和评价结果图表明,各地块对作物的适宜性级别没有明显的区别,适宜性程度略有差别;以 1、2 级为主,分别占 89.20%、84.35%、86.31% 和 85.37%,尤以水稻的适宜性最高,1 级地面积接近 1/2;对比分析原始数据发现 3、4 级地的速效养分偏

表 3 作物生态位适宜度值及适宜性评价结果

Table 3 Niche-fitness value and results of the evaluation of different crops

地块 编号	水稻 Rice		小麦 Wheat		棉花 Cotton		油菜 Rape		综合 级别
	NF	级别	NF	级别	NF	级别	NF	级别	
101	0.896	1	0.862	2	0.851	2	0.832	2	水稻
102	0.859	2	0.864	2	0.840	2	0.821	2	小麦
103	0.897	1	0.873	2	0.855	2	0.875	1	水稻
104	0.821	2	0.811	2	0.780	2	0.801	2	水稻
105	0.798	3	0.775	3	0.761	3	0.752	3	水稻
106	0.911	1	0.908	1	0.888	1	0.889	1	均适宜
107	0.797	3	0.778	3	0.760	3	0.762	3	水稻
108	0.797	3	0.765	4	0.756	3	0.753	4	水稻
109	0.855	2	0.841	2	0.833	2	0.808	2	水稻
110	0.822	2	0.815	2	0.796	2	0.781	2	水稻
111	0.792	3	0.798	2	0.787	2	0.778	2	小麦
201	0.870	2	0.856	2	0.811	2	0.833	2	水稻
202	0.871	2	0.859	2	0.822	2	0.838	2	水稻
203	0.874	2	0.856	2	0.842	2	0.824	2	水稻
204	0.910	1	0.916	1	0.881	1	0.893	1	均适宜
205	0.898	1	0.873	2	0.841	2	0.854	2	水稻
206	0.905	1	0.912	1	0.883	1	0.895	1	均适宜
207	0.915	1	0.884	1	0.859	2	0.875	1	水稻
208	0.937	1	0.929	1	0.887	1	0.912	1	均适宜
209	0.944	1	0.926	1	0.888	1	0.910	1	均适宜
210	0.863	2	0.856	2	0.814	2	0.842	2	水稻
211	0.913	1	0.881	1	0.872	1	0.872	1	水稻
301	0.903	1	0.886	1	0.878	1	0.865	1	水稻
302	0.875	1	0.867	2	0.885	1	0.842	2	棉花
303	0.838	2	0.830	3	0.820	2	0.800	2	水稻
304	0.853	2	0.847	2	0.840	2	0.821	2	水稻
305	0.819	2	0.817	2	0.827	2	0.787	2	棉花
306	0.782	3	0.747	4	0.744	4	0.696	4	不适宜
307	0.891	1	0.857	2	0.860	2	0.823	2	水稻
308	0.817	2	0.814	2	0.813	2	0.781	2	水稻
309	0.924	1	0.885	1	0.893	1	0.883	1	均适宜
401	0.929	1	0.930	1	0.938	1	0.924	1	均适宜
402	0.863	2	0.867	2	0.834	2	0.855	2	小麦
403	0.884	1	0.892	1	0.874	1	0.898	1	油菜
404	0.922	1	0.939	1	0.894	1	0.911	1	均适宜
405	0.916	1	0.885	1	0.870	1	0.874	1	水稻
406	0.875	2	0.843	2	0.861	2	0.823	2	水稻
407	0.824	2	0.817	2	0.808	2	0.769	3	水稻
408	0.829	2	0.833	2	0.831	2	0.817	2	小麦
409	0.815	2	0.828	2	0.816	2	0.800	2	小麦
501	0.913	1	0.896	1	0.889	1	0.884	1	均适宜
502	0.846	2	0.855	2	0.841	2	0.823	2	小麦
503	0.891	1	0.895	1	0.874	1	0.877	1	小麦
504	0.921	1	0.915	1	0.907	1	0.926	1	均适宜
505	0.819	2	0.819	2	0.796	2	0.795	2	水稻
506	0.919	1	0.917	1	0.918	1	0.916	1	均适宜
507	0.795	3	0.764	3	0.723	4	0.759	3	临界
508	0.820	2	0.803	3	0.801	2	0.785	2	水稻
509	0.752	4	0.733	4	0.684	4	0.667	4	不适宜
510	0.776	4	0.761	3	0.762	3	0.741	4	临界
511	0.898	1	0.895	1	0.875	1	0.873	1	水稻
512	0.890	1	0.863	2	0.840	2	0.838	2	水稻
513	0.761	4	0.732	4	0.701	4	0.750	3	不适宜
601	0.910	1	0.875	2	0.869	1	0.856	2	水稻
602	0.786	3	0.787	3	0.794	2	0.766	3	临界
603	0.880	1	0.852	2	0.859	2	0.832	2	水稻
604	0.864	2	0.833	2	0.839	2	0.802	2	水稻
605	0.824	2	0.819	2	0.827	2	0.778	2	棉花

Plot No. ; Grade ; Comprehensive grade ; All suitability ; Unsuitability ; Critical suitability

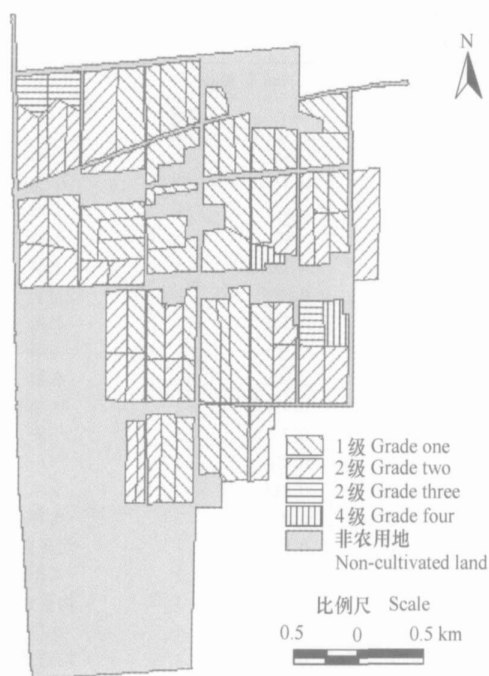


图1 后湖地区耕地水稻适宜性评价结果图

Fig.1 Suitability map of rice based on evaluation of cultivated land

低,极少地块速效氮、速效磷和速效钾含量不到 60、6 和 90  $\text{mg kg}^{-1}$ ,交通条件较差,道路通达度几乎为零;因此,当地农民可根据各级别的具体分布,在改善整体的生境条件的同时,有目的、有重点的增加农业投入,改善土壤结构,提高土地质量,发挥耕地的最大生产潜力,提高作物的产量,促进土地的可持续利用,防止作物生境条件变差。

### 3.2 多作物综合适宜性评价

以表 3 各作物的  $NF$  值和级别为基础,通过比较不同作物的  $NF$  值,根据以下的原则进行综合分析,确定各地块的最适宜种植的作物。其主要原则有:(1)比较各作物的  $NF$  值, $NF$  值大的为该地块推荐的适宜种植的作物;(2)比较各作物 1 级地的  $NF$  值范围,确定 1 级地下限的最大值  $V_1$ ,当各作物  $NF$  值均大于  $V_1$  的地块为均适宜,即各作物的种植效果一致;(3)比较各作物 2 级地的  $NF$  值范围,确定 2 级地下限的最小值  $V_2$ ,对  $NF$  值大于  $V_2$  小于  $V_1$  的地块按(1)处理;(4)比较各作物 3 级地的  $NF$  值范围,确定 3 级地下限的最小值  $V_3$ ,对  $NF$  值大于  $V_3$

表 4 各作物适宜性评价级别面积及百分比分布

Table 4 Areas and proportions of different crops in suitability class

作物 Crop	1 级 Grade one		2 级 Grade two		3 级 Grade three		4 级 Grade four	
	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	(%)	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	(%)	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	(%)	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	(%)
水稻 Rice	266.5	49.72	211.6	39.48	42.02	7.84	15.87	2.96
小麦 Wheat	214.2	39.96	237.9	44.39	61.66	11.50	22.23	4.15
油菜 Rape	217.6	40.59	245.0	45.72	54.50	10.17	18.87	3.52
棉花 Cotton	209.5	39.09	248.1	46.28	54.78	10.22	23.64	4.41

小于  $V_2$  的地块为临界适宜状态;(5)  $NF$  值小于  $V_3$  的地块界定为不适宜状态。

根据表 3 确定  $V_1$ 、 $V_2$  和  $V_3$  的值分别为 0.881、0.778 和 0.75,三个拐点将所有地块的适宜性分为均适宜、适宜、临界适宜、不适宜 4 级。对 58 个地块各作物的  $NF$  值进行分析比较后,得到各地块的综合适宜性状态(图 2,表 3,表 5)。由结果可知,作物均适宜的面积占到 25.25%,主要分布于研究区的中部和东北部靠近农场总部、养分含量比较丰富的地区;水稻的适宜性种植面积最广,小麦次之,分别达 40.28%和 23.17%,均有分布;临界适宜和不适宜面积只占 3.87%,且分布于中部和南部的零星地区。该评价结果可直接用于农民的生产实践,同时对当地农业决策部门制定科学合理的农业结构调整

战略具有很好的参考价值,因地制宜的发挥该地区耕地的最大效能。

表 5 综合适宜性评价结果面积及百分比分布

Table 5 Area and ratio of comprehensive suitability evaluation

项目 Item	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	百分比 Percentage (%)
均适宜 All suitability	135.3	25.25
水稻 Rice	215.9	40.28
小麦 Wheat	124.2	23.17
棉花 Cotton	32.61	6.08
油菜 Rape	7.21	1.35
临界适宜 Critical suitability	12.14	2.27
不适宜 Unsuitability	8.57	1.60

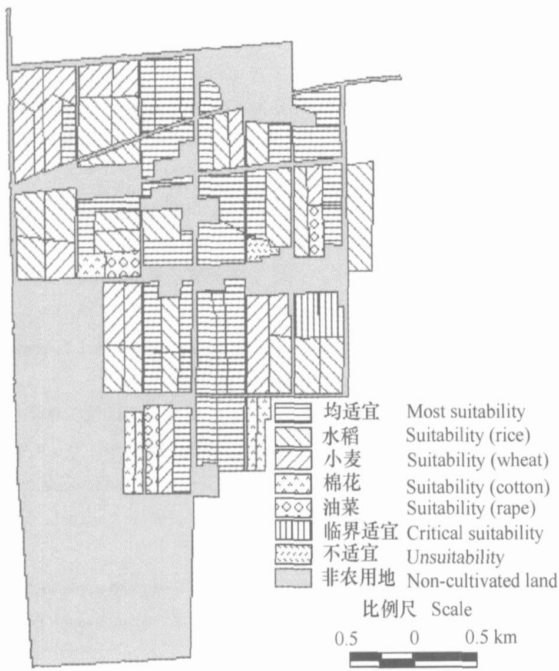


图 2 后湖地区耕地多宜性评价结果图

Fig. 2 Multi-suitability map based on evaluation of the cultivated lands in Huhu

### 3.3 限制性因子分析

以 58 个地块各评价指标实测值为基础,采用限制性因子模型计算分析得出制约该地区耕地生产潜力发挥的主要因子,公式如下:  $NF = \min \left\{ \frac{x_1}{L_1}, \frac{x_2}{L_2}, \dots, \frac{x_n}{L_n} \right\}$ 。式中,  $NF$  为作物生态位适宜度值,  $x_i$  和  $L_i$  分别为第  $i$  个生态因子的实测值和最适值,对粘粒含量和 pH 值而言,  $x_i/L_i$  变换为  $x_i/L_{imin}$ ,  $1, L_{imin}/x_i$ 。

以水稻为例说明其计算过程。首先根据  $x_i$  和  $L_i$  计算地块各因子的  $NF$  值,然后依照限制性因子模型分析和确定限制因子。本研究对该模型进行拓展,即对各因子的  $NF$  值进行排序后,取  $NF$  最小的三个作为该地块的限制因子;然后对 174 (58 × 3) 个因子进行频率统计,取最大的三个即速效氮 (23%)、道路通达度 (15%) 和 CEC (10%) 为研究区水稻的限制性因子。同样得到其他作物的限制因子与水稻相同。

通过分析得到制约该地区耕地生产潜力发挥的主要因子为速效氮、道路通达度和 CEC,该结果可以指导农民或农业生产决策者制定科学合理的耕地利用措施,从而对研究区耕地进行有针对性的改良。为提高作物的生态位,改善作物生境条件,当地农民应该加强土地质量管理,增施有机肥和氮肥,加强农

田基础设施建设,改善耕作环境,逐步提高该地区的耕地质量,使其适合各种作物生长,进一步提高作物产量,充分发挥耕地生产潜力。

### 3.4 结果校验分析

以 2002 年野外采样时收集的当地种植水稻的 25 个地块位置、水稻产量为基础数据,检验多宜性评价结果的正确性以及与实际情况的吻合程度。对比分析 25 个地块,发现只有 3 个地块不符,其中 2 个种小麦,1 个种棉花,与综合适宜性评价结果基本吻合;同时以 25 个地块水稻的  $NF$  值为因变量,以水稻产量为自变量,进行回归分析,通过比较各预测模型的回归平方和  $R^2$  的大小,选取  $R^2$  最大的为最终的预测模型:

$$y = -240.0 + 10960x \quad (R^2 = 0.901)$$

式中,  $y$  表示水稻的产量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ ),  $x$  表示  $NF$  值。对方程进行  $F$  统计检验,表明该回归方程在 0.05 显著水平上有回归意义,水稻单产与生态适宜度值存在显著相关。

作物产量是耕地生产潜力的最终体现,由于产量和  $NF$  值具有显著相关,因而可以通过  $NF$  值界定土地的适宜性级别,通过本文研究发现生态位适宜度模型在耕地多宜性评价中具有良好的应用价值,特别是那些即将进行农业结构调整和作物布局的地区。

## 4 结 论

1) 研究结果表明,研究区的生境环境整体较好,对各作物的适宜性较强,单作物评价结果以 1、2 级为主,所占比例都在 85%,水稻达 89.20%;综合适宜性评价表明水稻适宜性面积最大,临界适宜和不适宜面积只占 3.87%;制约该地区作物生长的主要因子为速效氮、道路通达度和 CEC。

2) 生态位适宜度理论和定量分析方法,是对经典生态位理论的深化和发展。本文将该种新理论与方法引进耕地的多宜性评价中,进行了有益的探索,并取得了较好的效果。但生态位适宜度模型作为一种新的方法,还不成熟,特别是生态因子最适值的确定方法和  $NF$  值的模型拓展两方面,需要我们在实际工作中进一步的研究。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Leibold M A. The niche concept revisited mechanistic model and community context. Ecology, 1995, 76 (5) : 1371 ~ 1382
- [ 2 ] Thompson K, Gaston KJ. Range size, dispersal and niche breadth in

- the herbaceous flora of central England. *Ecology*, 1999, 87 (4) : 150 ~ 155
- [ 3 ] Odling-smee P J, Laland K N, Feldman M W. Niche construction. *American Naturalist*, 1996, 147(4) : 641 ~ 648
- [ 4 ] 李自珍, 惠苍, 徐中民. 沙区植物生态位构建的数学模型及其应用研究. *冰川冻土*, 2002, 24(4) : 387 ~ 392. Li Z Z, Hui C, Xu Z M. Mathematical model of niche construction for desert vegetation and its application (In Chinese). *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(4) : 387 ~ 392
- [ 5 ] 李自珍, 李文龙. 黄土高原半干旱区农田水肥条件对作物生态位适宜度和产量的影响. *西北植物学报*, 2003, 23(1) : 28 ~ 33. Li Z Z, Li W L. The effect of water-fertilizer conditions on crop niche-fitness and yield in semi-arid regions of the Loess Plateau (In Chinese). *Acta Bot. Boreal-Occidnt Sin.*, 2003, 23 (1) : 28 ~ 33
- [ 6 ] 廖红娟, 徐建华, 岳文泽. 城市生态系统适宜度的时空对比分析. *生态科学*, 2003, 22(4) : 300 ~ 304. Liao H J, Xu J H, Yue W Z. Contrastive analysis in space and on time of urban ecosystem niche-fitness (In Chinese). *Ecologic Science*, 2003, 22(4) : 300 ~ 304
- [ 7 ] 张侠, 葛向东, 濮励杰, 等. 土地利用的经济生态位分析和耕地保护机制研究. *自然资源学报*, 2002, 17(6) : 677 ~ 683. Zhang X, Ge X D, Pu L J, *et al.* A study on the economic niche of land use theory and mechanisms of cropland conservation (In Chinese). *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6) : 677 ~ 683
- [ 8 ] Ouyang Z Y. Niche suitability model and its application in land use planning. *Environmental Science*, 1994, 6(4) : 449 ~ 456
- [ 9 ] 欧阳志云, 王如松, 符贵兰. 生态位适宜度模型及其在土地利用适宜性评价中的应用. *生态学报*, 1996, 16(2) : 113 ~ 120. Ouyang Z Y, Wang R S, Fu G N. Ecological niche suitability model and its application in land suitability assessment (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(2) : 113 ~ 120
- [ 10 ] Hutchinson G E. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symp. Quant Biol.*, 1957, 22 : 415 ~ 427
- [ 11 ] 龚子同, 陈志诚, 史学正, 等. 中国土壤系统分类理论方法实践. 北京: 科学出版社, 1999. Gong Z T, Chen Z C, Shi X Z, *et al.* The Theoretic, Method and Practice for Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999
- [ 12 ] 邱炳文, 周勇, 李学垣. 地理信息系统支持下的区域土壤资源适宜性动态评价. *土壤学报*, 2002, 39(3) : 301 ~ 307. Qiu B W, Zhou Y, Li X Y. Dynamic assessment of regional land resource suitability based on geographical information system (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(3) : 301 ~ 307
- [ 13 ] Wang S Q, Zhou Y, Dong Y H, *et al.* Design and application of land resources and ecological environment information system. *Pedosphere*, 2002, 12(4) : 373 ~ 381
- [ 14 ] Eswaran H, Kimble J. Land quality assessment and monitoring: The next challenge for soil science. *Pedosphere*, 2003, 13(1) : 1 ~ 10
- [ 15 ] 沈善敏. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998. Shen S M. ed. *Soil Fertility of China* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1988

## NICHE-FITNESS THEORY AND ITS APPLICATION TO GIS-BASED MULTI-SUITABILITY EVALUATION OF CULTIVATED LAND

Yu Jing<sup>1</sup> Nie Yan<sup>2</sup> Zhou Yong<sup>1,2†</sup> He Youyong<sup>1</sup>

(1 College of Resources & Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(2 College of Urban & Environment Sciences, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)

**Abstract** With the theory of sustainable development as guide for the agriculture of China, farmland in Huhu region of the Jiangnan Plain was selected for case-study on introduction of the niche-fitness theory into multi-suitability evaluation of cultivated land. Quantitative analyses of niche fitness of and restrictive factors for rice, wheat, cotton and rape, were carried out by means of weighted average and limiting factor models. The results indicate that the niche-fitness value in this area is in medium on the high side with the peak value reaching 0.958, suggesting the region meets the basic requirements of the crops; and farmlands in Grade 1 and 2 account for 75%; rice ranks first in terms of acreage of niche-fitness, amounting to 65.54%, and wheat comes the next. CEC, soluble phosphorus and accessibility to roads are the primary niche factors that restrict land productive potential in this area. These results of the study can find direct application to supervision of agricultural production, to reasonable utilization and scientific management of cultivated land resources.

**Key words** Niche-fitness; GIS; Multi-suitability evaluation; Cultivated land