

黑龙江明水县耕地质量综合评价

侯淑涛¹, 邸延顺¹, 程光大¹, 陈建龙², 张羽鑫¹

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省国土资源勘测规划院, 哈尔滨 150090)

摘要:耕地质量评价是改善农田质量状况、提高耕地生产能力的基础,是基本农田保护与高标准基本农田建设等工作科学开展的重要前提。在深入剖析耕地质量评价理论与方法的基础上,从质地、土层、气候、地貌、农田基础设施和规模等方面建立评价指标体系,运用综合指数模型、模糊聚类及GIS技术,从地块、乡、县三个尺度评价该县耕地质量及其空间分布。结果表明:自然等别中,一类地面积 12 832.17 hm²,占 8.89%;二类地面积 111 269.06 hm²,占 77.05%;三类地面积 20 301.55 hm²,占 14.06%。该县耕地总体质量一般,西部基本为二类地,东部主要为三类地。综合等别中,一类地面积 60 794.01 hm²,占 42.10%;二类地面积 56 950.72 hm²,占 39.44%;三类地面积 60 794.01 hm²,占 18.45%,一类耕地面积比例比自然质量耕地面积比例提高了 33.21%,说明耕地质量提升潜力较大,农田基础设施建设对提高耕地生产能力作用显著。

关键词:耕地质量评价;多尺度;模糊聚类;空间分布;明水县

中图分类号:F301.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)04-0232-05

Comprehensive Evaluation of Cultivated Land Quality in Mingshui County, Heilongjiang Province

HOU Shutao¹, DI Yanshun¹, CHENG Guangda¹, CHEN Jianlong², ZHANG Yuxin¹

(1. School of Resources and Environmental Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Institute of Surveying and Planning on Land and Resources in Heilongjiang Province, Harbin 150090, China)

Abstract: The evaluation of cultivated land quality is the important basis to improve the quality of farmland and production capacity, it is also the important premise of the basic farmland protection and scientific construction of high standard basic farmland works carried out. Based on the in-depth analysis of cultivated land quality evaluation, the basis of the theory and method, and the basis of the quality of material, soil, climate, landscape, infrastructure, and scale of farmland, etc., the evaluation index system was established. The cultivated land quality and its spatial distribution were evaluated on the land unit, township and county scales using composite index, fuzzy clustering and GIS. The results show that in nature categories the first kind of cultivated land was 12 832.17 hm², accounting for 8.89%; the second kind of cultivated land area was 111 269.06 hm², accounting for 77.05%; the third kind of cultivated land area was 20 301.55 hm², accounting for 14.06%. Overall quality of cultivated land was average, it was mainly the second category in the west and the third was mainly in the east. In comprehensive categories, the first kind of cultivated land area was 60 794.01 hm², accounting for 42.10%; the second category was 56 950.72 hm², accounting for 39.44%; the third type was 60 794.01 hm², accounting for 18.45%. Comprehensive classification of the first kind of arable land proportion compared with the natural quality of cultivated land area ratio increased by 33.21%, the cultivated land quality improvement potential is greater, farmland infrastructure construction to improve the production capacity of cultivated land was significant.

Keywords: cultivated land quality evaluation; multi-scale; fuzzy clustering; space distribution; Mingshui County

耕地是社会可持续发展和农业生产最基本的资源,其质量的好坏直接影响到粮食产量^[1]。随着城镇

化、工业化进程的加快,耕地资源日益减少、质量不断下降,耕地资源稀缺性十分突出,以提高耕地综合生

产能力为目标的耕地保护与建设已成为我国粮食安全和经济社会可持续发展的重要任务^[2-4]。

耕地质量评价是改善农田质量状况、提高耕地生产能力的基础,耕地保护与建设的核心是在评价耕地质量的基础上,挖掘耕地生产潜力^[5],因而耕地质量评价成为学术界热衷研究的内容之一,也是基本农田保护与高标准基本农田建设等工作科学开展的重要前提。近年来,许多学者对耕地质量评价研究进行了积极探索,在评价单元的选择上,农业领域多以省、市、县或以农业生态区域为基本评价单位;国土领域考虑气候等大尺度因素,多以耕地类型单位或耕地地块为基本评价单元,不同空间尺度的评价都能为所对应层面的政策决策提供支持^[6]。在评价方法方面,大部分学者采用综合评价与分级赋值分类法、嫡值法、主导因素法等方法^[7-9]。在评价指标的选择上,学术界普遍认为耕地质量受社会经济条件、土壤条件、农田基础设施条件及耕地立地条件等人文与自然因素影响并决定^[10],而耕地质量评价指标必须能反映耕地质量和区位条件的优劣,以期切实评价耕地质量的空间分布^[11-12]。以区域、县域为单元的大尺度耕地质量评价,可为国家、区域耕地数量质量变化监测、完善耕地保护政策、保障国家粮食安全提供依据,但评价结果难以在小尺度耕地保护与建设中发挥作用。黑龙江省是中国重要的粮食主产区和商品粮基地,中央关于建立两大平原现代农业综合配套改革区既给黑龙江省的现代农业发展带来难得的机遇,也给粮食产量和耕地质量提升提出了更高的要求。两大平原农田规模较大、耕地自然质量较好,但农业基础设施落后是耕地生产能力较低的主要影响因素。综合耕地自然质量、农田基础设施及规模水平的耕地质量评价及空间分布研究^[13-14],可为黑龙江省粮食安全保障体系建设、农业规模集约经营及新时期农村建设规划、决策与管理提供依据。

本文以明水县为例,从东北商品粮基地建设及高标准基本农田建设的视角^[15],厘清土壤质地、土层厚度、地形、地貌、气候、农业基础设施及耕地规模对耕地质量的影响关系,构建耕地质量评价指标体系,运用综合指数、模糊聚类及GIS空间叠加技术与方法,从地块、乡、县三级尺度评价该县耕地质量等级,分析其空间分布特征及主要影响因素,为科学量化耕地质量水平及提升耕地整理潜力提供依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

明水县位于黑龙江省西部,地理坐标 $47^{\circ}01'37''$ — $47^{\circ}22'58''$ N, $125^{\circ}16'12''$ — $126^{\circ}27'00''$ E,地处松嫩平原

东部、小兴安岭西侧山前冲积洪积缓倾斜台地,地势中部略高,东西两侧渐低,平均海拔249 m。全县地貌分丘陵岗地、缓坡漫岗、低洼平原及沿河漫滩四种类型。气候特点冬季漫长寒冷干燥;夏季温热多雨;春季降水少,多大风;秋季降水适中,温凉宜人,霜来早。由于西部和南部是开阔平原,风速大,气温偏高,降水偏少;东部和北部是丘陵漫岗地区,风速小,气温偏低,降水多。无霜期在124 d左右,平均降水为490 mm。植被条件比较丰富,田间和河边生长各种杨、柳、槐、松等树木,西部草原生长牧草、水草等各种草类及龙胆、柴胡等中草药。土壤资源主要为黑土,土层较厚,耕地肥力较好。主要河流有通肯河及其支流撒拉河。全县辖5镇、7乡、99个行政村,截至2009年底,全县总人口35万人,农业人口27.5万人,占总人口的78.57%;全县总面积22.97万 hm^2 ,耕地总面积14.44万 hm^2 ,占总面积的62.86%,其中平耕地、坡耕地分别占耕地总面积的85.49%,14.51%。全县地区生产总值18.6亿元,三次产业结构比为39.2:33.9:26.9,粮食产量达6.55万t。

1.2 数据来源

本文所用数据包括明水县2009年1:1万土地利用变更数据库、1:10万土壤类型图、1:5万DEM数据、《明水统计年鉴2010》。

2 研究方法

耕地质量不仅表现在土壤、地形、地貌及气候等自然因素方面,农田基础设施建设水平及规模经营程度对耕地生产能力提升具有一定的影响。通过定量研究与定性分析相结合,从而厘清耕地质量等别及其空间分异状况。本文考虑耕地质量影响因素及分等因子差异,从耕地的土壤、土层厚度、有机质含量、地形、气候等自然因素及基础设施建设与耕地规模三个方面,在平耕地($<2^{\circ}$)、坡耕地($2^{\circ}\sim 6^{\circ}$, $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$)3个层面确定耕地质量评价指标体系;参考《农用地质量分等规程》及相关文献,确定指标度量的基准及分值;采用专家咨询与层次分析法结合确定指标权重,利用综合指数模型计算评价单元分值;运用模糊聚类得到图斑尺度上的耕地自然质量及综合质量等别,分析耕地自然等别及其影响因素;以乡镇为单元分析各乡镇农田规模、农田基础设施建设水平及综合等别状况,利用统计及GIS叠加分析该县耕地质量、数量空间分布及未来的建设目标和方向。

2.1 评价指标及权重

根据本文界定的耕地质量内涵,结合明水县实际情况,从耕地自然状况、农业基础设施及耕地规模3

个方面确定 12 项耕地质量评价指标,采用理论分析和专家咨询相结合的方法,以耕地图斑为评价单元,选取黑土层厚度、有机质含量、土壤质地、距障碍层深度、pH 值、坡度、降水 7 项自然因素指标,田间道路

通达度、农田防护林比率、灌排条件 3 项农业基础设施因素指标,田块规模、田块形状 2 项耕地规模因素指标,构建耕地质量评价指标体系,运用专家咨询与层次分析法相结合确定指标权重(表 1)。

表 1 明水县耕地质量评价指标及权重

因素	权重	<2°		2°~6°		6°~15°	
		指标	权重	指标	权重	指标	权重
自然因素	0.623	黑土层厚度	0.2124	黑土层厚度	0.175	黑土层厚度	0.178
		有机质含量	0.1176	有机质含量	0.107	有机质含量	0.1098
		土壤质地	0.0916	土壤质地	0.086	土壤质地	0.0818
		距障碍层深度	0.041	距障碍层深度	0.0348	距障碍层深度	0.0368
		pH 值	0.0499	pH 值	0.0414	pH 值	0.044
		降水	0.1109	降水	0.1032	降水	0.0688
				坡度	0.076	坡度	0.1042
农田基础设施因素	0.239	田间道路通达度	0.0325	田间道路通达度	0.0338	田间道路通达度	0.0598
		农田防护林比率	0.1202	农田防护林比率	0.1257	农田防护林比率	0.1796
		灌排条件	0.0867	灌排条件	0.0799		
耕地规模水平	0.137	田块规模	0.0686	田块规模	0.0686	田块规模	0.0686
		田块形态	0.0686	田块形态	0.0686	田块形态	0.0686

2.2 基于综合指数模型的耕地质量测算

耕地质量测算采用综合指数模型法计算耕地自然质量、农田基础设施水平、耕地规模水平分值及综合得分。综合指数采用多目标线性加权函数进行测算,模型如下:

$$P=\sum_{i=1}^nb_i\times w_i$$

式中: P ——耕地图斑质量综合指数; b_i ——第 i 个单项指标量化值; w_i ——第 i 个单项指标的权重。

2.3 基于模糊 C 均值聚类的耕地质量等别划分

耕地质量等别的划分大多采用简单的等间距法、数轴法、总分值频率曲线划分等别区间。等间距法不适宜较小数据的分类;基于地块尺度的全县上万个图斑的耕地质量分值在数轴上点的分布稀疏与集中情况很难观察和确定各等别分值区间;总分值频率曲线法虽能很好地观察各图斑频率曲线突变点,但分区组数的确定受判定经验的限制,且难以验证分类精度。模糊聚类是一种非监督分类方法,适合大容样本数据的聚类分析。模糊 C 均值聚类在类别数较明确的分类中优势显著,它通过优化目标函数得到每个样本点对所有类中心的隶属度来决定样本点的类属,以达到自动对样本数据进行分类的目的,其目标函数为:

$$J_m(U,V)=\sum_{k=1}^c\sum_{i=1}^n(u_{ik})^md_{ik}^2\tag{1}$$

式中: n ——数据个数; c ——类别数; m ——模糊加权指数($1\leq m\leq\infty$),它控制了不同类别间共用数据的数目。 u_{ik} ($1\leq i\leq c, 1\leq k\leq n$)表示数据矩阵 X 中第 k 个样本 X_k 属于聚类中心矩阵 V 中第 i 个聚类中心 V_i 的隶属度值, U 为隶属度矩阵。 d_{ik}^2 等于 X_k 与 V_i 在特

征向量上距离的平方。

模糊 C 均值聚类通过迭代优化实现分类。首先是对隶属度矩阵 U 的初始化,根据公式(2)计算 C 个聚类中心,由此依据公式(3)计算各个数据点的隶属度;其次,通过调整隶属度矩阵,再次计算新的 C 个聚类中心,然后比较聚类中心的变化;如果两次循环之间的变化量小于预设的阈值,则停止迭代运算,否则重复前述步骤直至聚类中心变化小于设定的阈值。

$$v_i^b=\frac{\sum_{k=1}^nu_{ik}^mx_k}{\sum_{k=1}^n(u_{ik})^m}\tag{2}$$

$$u_{ik}^{(b+1)}=\left[\sum_{j=1}^c\left(\frac{d_{jk}^{(b)}}{d_{jk}^{(b+)}}\right)^{\frac{2}{m-1}}\right]^{-1}\tag{3}$$

2.4 聚类有效性检验

聚类有效性是评价聚类结果清晰与否及优劣的依据,通常采用模糊性能指数或归一化分类熵来确定合适的聚类数。本文采用模糊性能指数(FPI)检验耕地质量等别划分的有效性。

模糊性能指数(FPI)是数据矩阵 X 的模糊 C 分区间隔离程度的度量,其定义为:

$$FPI=1-\frac{c}{(c-1)}\left[1-\sum_{k=1}^m\sum_{i=1}^c(u_{ik})^{2/n}\right]\tag{4}$$

FPI 的值在 0 到 1 之间变动。若该值接近 0 表示聚类时共用数据较少,类的划分明显;若该值接近 1 则表示具有较多的共用数据,类的划分不明显。

3 结果与分析

本文采用综合指数模型测算图斑单元耕地质量分值,运用 Matlab 软件的模糊 C 均值聚类出耕地自

然质量、基础设施建设、农田规模及综合质量分类, GIS 支持下分析空间分布。

3.1 耕地自然质量及空间分异分析

2009 年明水县耕地自然质量分三类,全县耕地自然质量聚类分类统计结果如表 2 所示,耕地总体自然质量中等水平,其中:1 类地面积 12 832.17 hm²,占耕地总面积的 8.89%,主要分布在明水、兴仁、永久、永兴四乡镇;2 类地面积 111 269.06 hm²,占 77.05%,主要分布在崇德、通达、育林、双兴、通泉五乡镇;3 类地面积 20 301.55 hm²,占 14.06%。各类耕地在空间分布上主要是,西部基本为 2 类地,中部有少量质量较高的 1 类地,东部主要为 3 类地及部分 2 类地。由以上数据可知,该县耕地自然质量总体水平一般,主要集中在 2 类地,应根据实际需要进行必要的土地平整工程和平衡施肥来改善耕地的自然质量。

3.2 农田基础设施建设水平分析

本文将农田基础设施条件分为较好、一般及较差

三个级别,全县农田基础设施建设水平分类统计结果如表 3 所示,总体来看,全县农田基础设施建设水平较好。其中农田基础设施条件较好的耕地面积为 64 210.86 hm²,占耕地总面积的 44.46%,主要分布在崇德镇、明水镇、永久乡、育林乡、通达镇;农田基础设施条件一般的耕地面积为 48 512.44 hm²,占 33.60%,主要分布在兴仁镇、双兴乡、繁荣乡、通泉乡;农田基础设施条件较差的耕地面积为 31 679.48 hm²,占 21.94%,其主要分布在光荣乡、树人乡、永兴镇。

3.3 农田规模水平分析

本文将农田规模水平分为大规模、规模及农户规模三个级别,全县农田规模水平分类统计结果如表 4 所示。全县农田规模分布相对比较均衡,各乡镇规模化程度趋于接近,大规模农田所占比例较大,占 50%左右;规模农田次之,占 30%左右;小规模农田所占比例相对较小,占 20%左右。

表 2 明水县各乡镇各类耕地质量面积及变化统计 hm²

乡镇	1 类地			2 类地			3 类地		
	自然质量	综合质量	面积变化	自然质量	综合质量	面积变化	自然质量	综合质量	面积变化
光荣乡	136.53	593.11	456.58	5996.88	3706.39	—2290.49	3532.25	5366.19	1833.94
兴仁镇	1692.59	2623.35	930.76	4152.32	3554.11	—598.21	2983.76	2651.22	—332.54
双兴乡	1522.09	6981.44	5459.35	13118.06	7544.23	—5573.83	253.77	368.25	114.48
崇德镇	0.00	9164.99	9164.99	13482.53	4278.21	—9204.32	0.00	39.33	39.33
明水镇	2517.26	6677.15	4159.89	9559.79	5277.39	—4282.40	335.19	457.70	122.51
树人乡	846.91	1660.36	813.45	4947.40	4057.58	—889.82	3331.13	3407.47	76.34
永久乡	1761.19	4882.52	3121.33	6401.25	3944.85	—2456.40	1174.73	509.80	—664.93
永兴镇	2745.10	2640.22	—104.88	8130.02	5520.98	—2609.04	3462.74	6176.66	2713.92
繁荣乡	175.09	676.33	501.24	5340.97	4831.28	—509.69	3431.77	3440.21	8.44
育林乡	331.79	10093.10	9761.31	11454.97	1617.98	—9836.99	989.74	1065.43	75.69
通泉乡	1072.91	1760.88	687.97	10403.40	7487.35	—2916.05	627.05	2855.12	2228.07
通达镇	30.71	13040.56	13009.85	18281.47	5130.37	—13151.10	179.42	320.67	141.25
总面积	12832.17	60794.01	47961.84	111269.06	56950.72	—54318.34	20301.55	26658.05	6356.50

表 3 明水县各乡镇基础设施建设水平面积统计

乡镇	总面积/hm ²	较好耕地		一般耕地		较差耕地	
		面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
光荣乡	9665.66	1.34	0.01	2623.23	27.14	7041.09	72.85
兴仁镇	8828.67	0.00	0.00	8779.59	99.44	48.08	0.54
双兴乡	14899.92	7737.32	51.93	7147.96	47.97	14.64	0.10
崇德镇	13481.53	12866.97	95.44	530.39	3.93	84.17	0.62
明水镇	12411.24	7873.69	63.44	3374.98	27.19	1162.57	9.37
树人乡	9124.45	11.47	0.13	4626.03	50.70	4486.95	49.18
永久乡	9337.17	8080.86	86.55	644.10	6.90	612.21	6.56
永兴镇	14336.85	8.20	0.06	4117.58	28.72	10211.07	71.22
繁荣乡	8947.82	1334.46	14.91	5012.07	56.01	2601.29	29.07
育林乡	12776.51	9562.02	74.84	832.55	6.52	2381.94	18.64
通泉乡	12103.36	34.98	0.29	10290.13	85.02	1778.25	14.69
通达镇	18490.60	16699.55	90.31	533.83	2.89	1257.22	6.80
总面积	144402.78	64210.86	44.47	48512.44	33.60	31679.48	21.94

表 4 明水县各乡镇农田规模水平面积统计

乡镇	总面积/hm ²	大规模耕地		规模耕地		农户规模耕地	
		面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
光荣乡	9665.67	4531.69	46.88	2591.84	26.81	2542.14	26.30
兴仁镇	8828.68	4426.25	50.13	2557.21	28.96	1845.22	20.90
双兴乡	14893.92	9626.29	64.63	3482.93	23.38	1784.70	11.98
崇德镇	13482.52	7299.83	54.14	4441.36	32.94	1741.33	12.92
明水镇	12412.24	6821.03	54.95	3314.51	26.70	2276.70	18.34
树人乡	9125.44	4191.16	45.93	2630.81	28.83	2303.47	25.24
永久乡	9337.17	4315.42	46.22	3075.50	32.94	1946.25	20.84
永兴镇	14337.86	7104.63	49.55	4065.73	28.36	3167.50	22.09
繁荣乡	8947.82	3932.02	43.94	2511.58	28.07	2504.22	27.99
育林乡	12776.50	9755.62	76.36	1925.27	15.07	1095.61	8.58
通泉乡	12103.36	7702.71	63.64	2724.71	22.51	1675.94	13.85
通达镇	18491.60	10704.25	57.89	5125.36	27.72	2661.99	14.40
总面积	144402.78	80410.90	55.69	38446.81	26.62	25545.07	17.69

3.4 耕地综合质量分析

全县耕地综合质量聚类分类统计结果如图 1 所示。其中:1 类地面积 60 794.01 hm²,占耕地总面积的 42.10%,主要分布在育林、通达、崇德、明水四乡镇;2 类地面积 56 950.72 hm²,占 39.44%,主要分布在通泉、繁荣、崇德、双兴、树人五乡镇;3 类地面积 26 658.05 hm²,占 18.46%。各类耕地空间分布由图 1 可知,西部主要为 1 类耕地,中部主要为 2 类耕地,东部主要为 3 类耕地,耕地综合质量由西向东总体呈递减趋势。由表 2 可以看出:耕地综合质量与自然质量相比,1 类地面积增加了 47 961.84 hm²,二类地面积减少了 54 318.34 hm²,表明自然质量一般的耕地由于基础设施建设及农田规模水平较高,其综合质量提升显著;综合质量为 3 类地略有增加,反映了基础设施及农田规模水平较差。耕地综合质量总体一般,整个研究区内存在一定影响耕地综合质量的限制因素,考虑基本农田划定的目标和方向,根据该区域土地整理可改造的难易程度,对综合质量较差的区域开展土地平整、植树造林、田间生产道路建设、完善水利设施等土地整理工程以达到基本农田划定的要求。

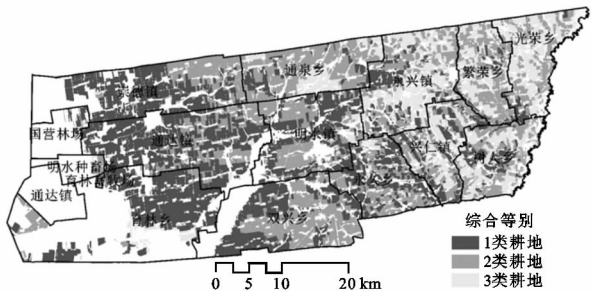


图 1 明水县耕地综合质量空间分布

4 结论

耕地质量是反映农田质量状况、耕地生产能力重

要的基础。本文在利用多因素综合指数模型测算耕地自然质量、农田基础设施、规模及综合质量分值的基础上,利用模糊聚类与 GIS 技术划分耕地质量类别及其空间分布,不仅得到最佳耕地质量分类结果,同时反映出耕地自然属性、农田基础设施及规模在耕地总体质量中的影响水平。耕地自然质量与综合质量类别的转移表明农田基础设施对提高耕地生产能力作用显著;全县耕地中大规模经营斑块比例占 55.68%,规模经营比例占 26.62%,十分有利于开展农业规模集约经营。

黑龙江省是国家重要的商品粮生产基地,本文以小尺度的县域为研究实体,以耕地图斑为单元,从地块、乡、县三级尺度,研究耕地质量及空间分异特征,较好地反映了耕地质量的客观情况,研究成果为黑龙江省两大平原农业工程基础设施建设、土地整治规划及高标准基本农田建设提供依据。

参考文献:

[1] 史泽鹏,马中文,马友华,等.阜阳市颍东区耕地地力与粮食增产潜力分析[J].中国农学通报,2012,28(35):139-143.

[2] 宋伟,陈百明,张英.中国耕地资源安全预警系统探讨[J].水土保持研究,2013,20(6):192-196.

[3] 李冬梅,廖和平,唐娜,等.基于粮食安全角度的三峡库区耕地保护研究[J].中国农学通报,2011,27(6):286-289.

[4] 倪超,雷国平.黑龙江省粮食生产与耕地利用耦合分析[J].水土保持研究,2013,20(1):246-249.

[5] 奉婷,张凤荣,李灿,等.基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J].农业工程学报,2014,30(1):200-210.

[6] 肖碧林,陈印军,卢布,等.当前我国耕地质量评价类型与问题分析[J].资源与产业,2008,10(4):58-61.

有机肥配施菌肥和高浓度化肥处理($Y_3S_3F_3$)时玉米 N 素含量明显趋于减少,其原因可能是由于 N 肥施入土壤后,挥发、转化等各种损失很大,造成土壤中 N 素含量明显下降^[13],从而降低玉米 N 素含量;单施有机肥处理对玉米 P 和 K 含量增加效果最差,其次均为有机肥配施菌肥处理,而有机肥、菌肥和化肥配施各处理($Y_1S_1F_1$, $Y_2S_2F_2$, $Y_3S_3F_3$)对玉米 P 和 K 含量增加最明显,这是由于菌肥的影响作用下,为微生物提供了合适的 C/N,并为其大规模生长繁殖创造了有利条件,起到了释磷、活钾的作用,同时菌肥中的微生物使有机肥和土壤中不能被植物利用的磷被释放出来,转化成有效磷和钾,使玉米中 P 和 K 含量提高,同时,化肥的施入调节了土壤中的养分比例,改变了土壤中微生物的活动和酶活性条件,使之玉米 P、K 素增加^[14];而同一施肥模式 N、P、K 肥利用率均随着施肥量的增加而递减,这表明施肥对肥料利用率的影响在低产田显著高于中产田和高产田,此外,总趋势为有机肥、菌肥和化肥配施处理对玉米 N、P、K 肥利用率高于有机肥配施菌肥处理更高于单施有机肥处理,因此有机肥、菌肥与无机肥料配合施用可以明显地提高养分的吸收量和肥料的利用率,且达到缓急相济、互相补充,减少肥料养分流失,进而提高矿区复垦土壤肥力水平及作物产量的目的^[15-16]。

参考文献

- [1] 王莉,张和生. 国内外矿区土地复垦研究进展[J]. 水土保持研究,2013,20(1):294-300.
- [2] 王改玲,白中科. 安太堡露天煤矿排土场植被恢复的主要限制因子及对策[J]. 水土保持研究,2002,9(1):38-40.
- [3] 邵蕾,张民,王丽霞. 不同控释肥类型及施肥方式对肥料利用率和氮素平衡的影响[J]. 水土保持学报,2007,21

(6):115-119.

- [4] 史春余,张夫道,张树清,等. 有机-无机缓释肥对番茄产量和氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(6):584.
- [5] 刘学军,赵紫娟,巨晓棠,等. 基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 生态学报,2002,22(7):1122-1128.
- [6] 龙健,黄昌勇,滕应,等. 矿区废弃地土壤微生物及其生化活性[J]. 生态学报,2003,23(3):496-503.
- [7] 龙健,黄昌勇. 我国南方红壤矿山复垦土壤的微生物特征研究[J]. 水土保持学报,2002,16(2):126-128.
- [8] 卢宁,李晋川,郭春燕,等. 露天煤矿复垦地土壤呼吸的日变化研究:以平朔安太堡露天煤矿排土场为例[J]. 山西农业科学,2010,38(4):52-54.
- [9] 马彦卿. 微生物复垦技术在矿区生态重建中的应用[J]. 采矿技术,2001,1(2):66-68.
- [10] 李华,李永青,沈成斌,等. 风化煤施用对黄土高原露天煤矿区复垦土壤理化性质的影响研究[J]. 农业环境科学学报,2008,27(5):1752-1756.
- [11] 刘美英,高永,汪季,等. 矿区复垦地土壤碳氮含量变化特征[J]. 水土保持研究,2013,20(1):94-101.
- [12] 鲍士旦,土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等. 长期施氮、磷、钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(5):789-794.
- [14] 梁利宝,洪坚平,谢英荷,等. 不同培肥处理对采煤塌陷地复垦不同年限土壤熟化的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(3):140-144.
- [15] 孙建,刘苗,李立军,等. 不同施肥处理对土壤理化性质的影响[J]. 华北农学报,2010,25(4):221-225.
- [16] 何铁光,秦芳,苏天明,等. 不同栽培模式对氮磷钾养分径流流失的影响[J]. 水土保持研究,2014,21(1):95-99.

(上接第 236 页)

- [7] 张学雷,冯婉婉,钟国敏. 豫中褐土耕地土壤性质空间分异及质量评价[J]. 应用生态学报,2011,22(1):121-128.
- [8] 王帅,曲长祥,冯翔迪. 黑龙江省耕地集约利用的区域差异及影响因素分析[J]. 东北农业大学学报,2012,43(5):142-147.
- [9] 金儒成,梅再美,蔡广鹏,等. 主导因素法对利用聚类分析进行土地利用分区的校正研究:以贵州省仁怀市和罗甸县为例[J]. 安徽农业科学,2010,38(15):8115-8118.
- [10] 农肖肖,何政伟,吴柏清. ARCGIS 空间分析建模在耕地质量评价中的应用[J]. 水土保持研究,2009,16(1):234-236.
- [11] 涂建军,卢德彬. 基于 GIS 与耕地质量组合评价模型划

定基本农田整备区[J]. 农业工程学报,2012,28(2):234-238.

- [12] 陈朝,吕昌河. 基于综合指数的湖北省耕地质量变化分析[J]. 自然资源学报,2010,25(12):2018-2029.
- [13] 禹洋春,刁承泰,蔡朕,等. 基于聚类分析法的西南丘陵区县域土地利用分区研究[J]. 中国农学通报,2014,30(2):227-232.
- [14] 孔祥斌,靳京,刘怡,等. 基于农用地利用等别的基本农田保护区划定[J]. 农业工程学报,2008,24(10):46-51.
- [15] 杨乐,涂建军,王小飞,等. GIS 技术在基本农田整备区划定中的应用:以重庆秀山县中和镇为例[J]. 农机化研究,2011,33(5):178-181.