

多时空尺度的土壤质量评价最小数据集的建立

张世文^{1,2}, 叶回春², 胡友彪¹, 黄元仿^{2*} (1. 安徽理工大学地球与环境学院, 安徽淮南 232001; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 农业部华北耕地保育重点实验室, 国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193)

摘要 [目的]探讨土壤质量评价最小数据集的建立方法,并且基于建立的方法构建不同时空尺度的土壤质量评价最小数据集。[方法]基于环境相关法,采用皮尔森相关分析、主成分分析和计算矢量常模值、土壤母质类型、土壤类型和土地利用与土壤质量的关系等建立土壤质量评价最小数据集。[结果]就空间尺度而言,衡量县域和乡镇尺度土壤质量好坏的最小数据集明显不同,2008年县域尺度下最小数据集包括土壤容重、砂粒、土壤有机质、黏粒、pH、土壤有效锌、土壤有效锰7个指标,而进入2008年乡镇尺度下的最小数据集则为粉粒、有效钾、有效锰、全氮、土壤容重、黏粒、pH、土壤有效铁8个因素;就时间尺度而言,不同时期的最小数据集不同。[结论]土壤质量评价必须和时空尺度挂钩才有意义。基于该研究建立的方法得到的土壤质量评价最小数据集参数能够最大限度地包含所有未入选参数所表达的土壤质量信息。不同时空尺度下建立土壤质量最小数据集冗余程度最低。

关键词 多时空尺度;土壤质量;最小数据集

中图分类号 S158 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)17-07487-06

Establishment of Minimum Data Set for Soil Quality Assessment with Multiple Spatial and Temporal Scales

ZHANG Shi-wen et al (School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001)

Abstract [Objective] To discuss establishing method of the minimum data set for soil quality assessment and based on the method to build minimum data set of soil quality assessment for different spatial and temporal scales. [Method] Using Pearson correlation analysis, principal component analysis, calculation of Norm value, soil parent material, relationship of soil type, land use and soil quality and so on to establish minimum data set of soil quality assessment. [Result] On spatial scales, the minimum data set measure soil quality are differences for the county and township scale. The minimum data set includes soil bulk density, sand, soil organic matter, clay, pH, soil available Zinc, soil available Mn for the county scale in 2008, and silt, available potassium, soil available Mn, total nitrogen, soil bulk density, clay, pH, soil available iron for the township scale in 2008. The minimum data set for the different periods are not the same. [Conclusion] It is meaningful that soil quality assessment must be linked to meaningful spatial and temporal scales. The minimum data set constructed based on this method could maximize to contain all the selected parameters not expressed in soil quality information. Degree of redundancy of the minimum data set was the minimum under spatial and temporal scales.

Key words Multiple spatial and temporal scales; Soil quality; Minimum data set

有关土壤质量内涵、评价、时空变异及其影响因素等的研究已在世界范围内广泛开展^[1-6]。合理地选择指标对土壤质量的有效评价至关重要。我国有关土壤质量评价的研究集中于选择合适的评价方法和评价指标的分级上,评价之前几乎均未进行MDS因子的定量选取。因此,尽管评价手段、分级的隶属度确定方法等方面都能与国际接轨,但由于应用这些评价方法前忽略了MDS参数的严格选取,我国的土壤质量评价结果在评价精度、可信度等方面都相对粗糙^[7]。对于特定区域,由于土壤利用方式的多变性、数据获取的高成本及因子间的共线性等因素,只能从候选参数选出一个能最大限度地代表所有候选参数的最小数据集(Minimum data sets, MDS)。MDS就是可以反映土壤质量最少的指标参数集合。现有的确定MDS的方法主要为数理统计方法,特别是主成分分析法(PCA)^[8-13]。PCA法能在一定程度上减少参评指标的数量,也能在一定程度上降低数据冗余,然而参评因子数量的减少意味着衡量土壤质量信息的丢失,因此目前基于PCA的评价很少能够兼顾数据冗余和信息丢失。此外,目前建立土壤质量评价MDS时很少考虑地利

用、土壤特征等环境因素。不考虑土地利用影响的土壤质量评价MDS很少能适用于其他地区,甚至对相邻的地区也不实用。

为了探讨土壤质量评价MDS建立的方法和不同尺度下衡量土壤质量的MDS的差异性,在充分考虑研究区地形地貌和土地利用状况的基础上,设置2个空间和时间尺度。空间尺度包括县域尺度和乡镇尺度。时间尺度包括1980、2008年。基于环境相关法,通过皮尔森相关分析、PCA、计算矢量常模(Norm)值以及土壤母质类型、土壤类型、土地利用等与土壤质量的关系等一系列的数理统计分析,最终对计算结果进行线性转换和排序,获取不同时空尺度下的最小数据集。通过比较分析,确定建立MDS的合理性。

1 材料与方法

1.1 数据获取与处理 研究区地处北京市东北端的密云县(40°13'7"~40°47'57"N, 116°39'33"~117°30'25"E)(图1)。研究区土壤母质以长石岩类风化物为主。该类型风化物难以风化,发育的土壤质地较粗,南部主要为冲积物风化物(图2a)。土壤类型包括褐土、棕壤和潮土三大类(图2b)。褐土集中分布于南部的耕地区,棕壤分布于密云水库以北地区。研究区功能定位为水源保护区和生态涵养区,土地利用以林地为主,耕地主要分布于密云水库以南较为平坦的区域(图2c)。1980年采样点数据来源于第2次土壤普查,样点数为1444个;采用网格布点和分层抽样相结合,将土地利用现状图与方形网格叠加,确定交叉样点,在此基础上根据土壤类

基金项目 国家自然科学基金(41071152);公益性行业(农业)科研专项(2011033005-01-01);国土资源部公益性行业科研专项(201011006-3)。

作者简介 张世文(1978-),男,安徽合肥人,讲师,从事土壤属性空间异质性、土地利用与信息技术方面的研究。*通讯作者,教授,博士生导师,从事土壤水分、养分模型与水土资源管理方面的研究, E-mail: yfhuang@china.com。

收稿日期 2013-05-27

型、剖面点位置及控制面积等分层抽样,确定设计样点,获取了 469 个有效采样点(图 1)。田间确定样点后,用 GPS 定位,并记录实际取样点的经纬度。采集农田耕作层土样(0 ~

30 cm)。每个样点在直径 10 m 范围内取 5 点混合作为待测品带回室内分析。

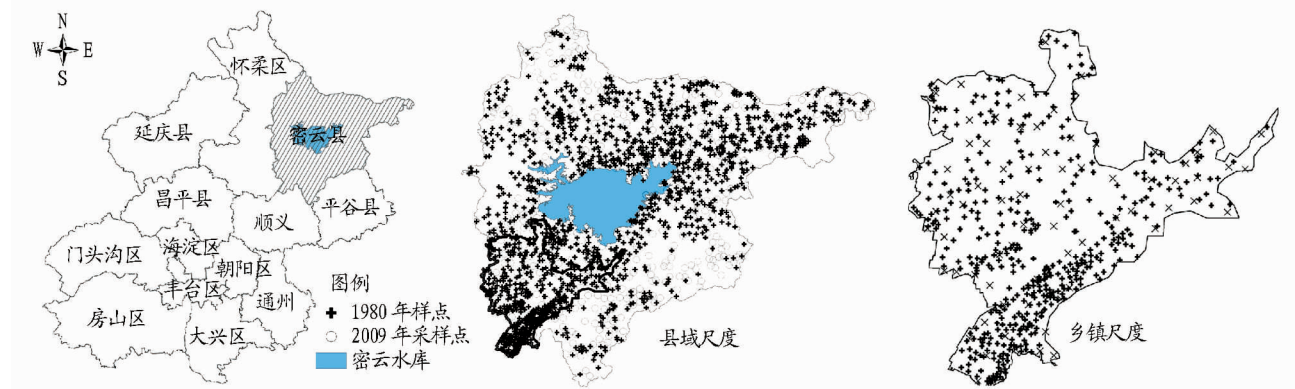


图 1 不同的研究尺度划分与样点分布图

衡量土壤质量的土壤物理性质、土壤化学性质、土壤养分、土壤环境等 4 个方面。2008 年县域尺度和乡镇尺度共获取 13 个因素,包括土壤化学因素 2 个,即土壤有机质(SOM)和 pH;土壤养分因素 3 个,即有效磷(AP)、速效钾(AK)和全氮(TN);土壤物理因素 4 个,即容重(BD)、砂粒含量(Sand)、粉粒含量(Silt)和黏粒含量(Clay);土壤环境因素 4 个,即有效锌(A_Zn)、有效铜(A_Cu)、有效锰(A_Mn)和有效铁(A_Fe)。1980 年共获取 9 个指标,包括土壤化学指标 1

个,即 SOM;土壤养分指标 3 个,即 AP、AK 和 TN;土壤物理指标 1 个,即 BD;土壤环境指标 4 个,即 A_Zn、A_Cu、A_M 和 A_Fe。土壤颗粒体积百分含量采用激光粒度分析仪(Master size 2000)测定,相关指标的测试方法参考土壤农化分析^[14]。

相关的数理分析(如 Pearson 相关分析、主成分分析、多变量方差分析等)在 SPSS20.0 中进行。样点土壤母质类型、土壤类型和土地利用类型利用 ArcGIS10.0 从土壤图和土地利用现状图(图 2)中抽取。

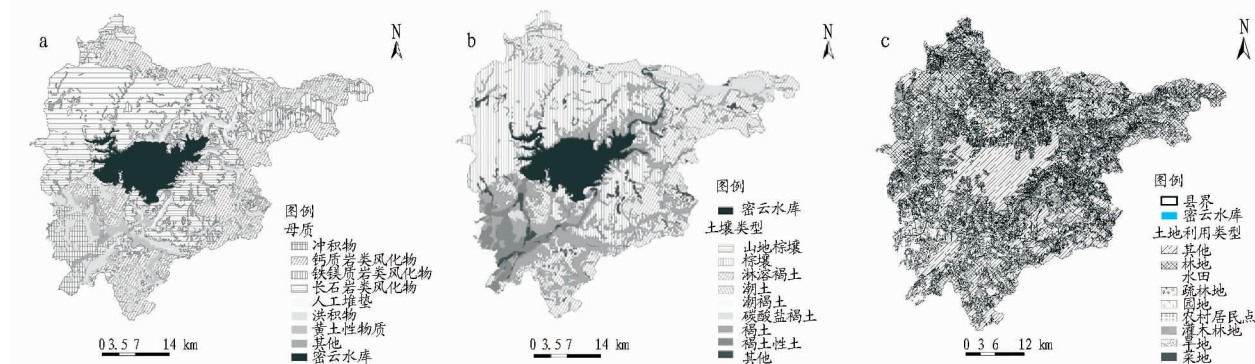


图 2 研究区母质(a)、土壤类型(b)和 2008 土地利用现状(c)

1.2 研究方法 尽可能多地获取能够衡量土壤质量的指标(包括土壤理化性质、土壤养分、土壤环境指标等)。通过数理分析,并且基于环境相关法(即指标与环境因素相关关系),建立最小数据集。该研究建立 MDS 包括 6 个步骤。

(1)Pearson 相关分析。通过 Pearson 相关分析,确定用于评价土壤质量的因素是否存在冗余问题。

(2)主成分分析(PCA)。选出每个特征值(Eigenvalues) ≥ 1 的 PC 中因子荷载 ≥ 0.5 土壤参数分为 1 组。若某土壤参数同时在两个主成分(Principal component, PC)中的荷载高于 0.5,则该参数应归并到与其他参数相关性较低的那一组。分组后,考察每组中参数之间的相关性。如果某土壤因素与该组中其他因素的相关性都非常低($r < 0.3$),说明其他因素均不能代表该因素包含的土壤质量信息,应将该因素从该组中分离出来独成一组。

(3)计算矢量常模(Norm)值。Norm 值的几何意义为该变量在由主成分组成的多维空间中的矢量常模(Norm)的长度,长度越长,则表明该变量对所有主成分的综合荷载越大,其解释综合信息的能力就越强。PCA 分析只考虑某变量在一个 PC 上的荷载,这样该变量在其他特征值 ≥ 1 的 PC 上的信息就全部丢失,可以通过计算变量的 Norm 值避免该缺陷。Norm 的计算公式为:

$$N_{ik} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (u_{ik}^2 \lambda_k)} \quad (1)$$

式中, N_{ik} 为第 i 个变量在 Eigenvalues > 1 的前 k 个主成分上的综合荷载; u_{ik} 为第 i 个变量在第 k 个主成分上的荷载; λ_k 为第 k 个主成分的特征值。

(4)基于环境相关法,计算土壤类型、土地利用等环境因素与土壤质量的关系。对不同土地利用类型、母质类型和土壤类型组合下各因素进行多变量方差分析,计算的决定系数

(Adjust R^2) 被用来作为土地利用类型和土壤类型组合对土壤属性的影响。多变量方差分析中的 Adjust R^2 统计学意义表示所得线性模型的决定系数越大,自变量对因变量的解释力越强。

(5)线性变换和参数得分计算。消除 $Norm$ 值和 R^2 的量纲,将二者进行正态转换,比较分值大小。线性转换的方法是将二者的最大值赋值为 1。 $Norm$ 值赋值为 1,表示该指标在主成分中载荷最大,对土壤质量的贡献最大; R^2 为 1,表示该指标受土地利用和土壤类型等环境因素的影响最大。其他评价指标的线性变化采用将它们 $Norm$ 值、 R^2 与最大值为 1 的评价指标相除。

(6)排序分组。将线性转换的 $Norm$ 值和 R^2 相加,求和获取每个因素的综合得分,按综合分值的大小进行排序,总分值在最高总分值 10% 范围内的参数被选取,然后分析每组

所选参数间的相关性。若高度相关($r > 0.5$),则选取总分值最高的进入最终的 MDS;若相关性很低($r < 0.3$),则全部进入最终的 MDS。

2 结果与分析

2.1 2008 年县域尺度 MDS 的建立 利用 SPSS20.0 对 2008 年县域尺度的 13 个指标进行皮尔森相关分析。由表 1 可知,2008 年县域尺度下很多因素之间存在显著或极显著相关关系,若都进入 MDS,则会造成数据的冗余,比如土壤容重除了不与 AK 和 AP 呈显著相关外,与其他因素均呈 0.01 水平显著相关,土壤有机质、A_P 和 A_K 存在 0.01 水平显著性相关等。所以,有必要对各因素进行下一步的分析。利用 SPSS20.0 对县域尺度 2008 年数据进行主成分分析,获取每个指标主成分载荷矩阵(表 1),并绘制前 3 个主成分的载荷图。

表 1 2008 年县域尺度因素皮尔森相关分析

因素	SOM	AP	AK	TN	pH	BD	A_Zn	A_Cu	A_Mn	A_Fe	Sand	Silt	Clay
SOM	1.000												
A_P	0.310**	1.000											
A_K	0.321**	0.421**	1.000										
TN	0.715**	0.269**	0.314**	1.000									
pH	0.058	0.001	0.057	0.094*	1.000								
BD	-0.327**	0.049	-0.018	-0.306**	-0.213**	1.000							
A_Zn	0.174**	0.097*	0.111*	0.187**	0.004	-0.233**	1.000						
A_Cu	0.062	-0.013	-0.020	0.064	-0.063	-0.372**	0.232**	1.000					
A_Mn	0.044	0.003	-0.056	0.041	-0.061	-0.147**	-0.009	0.293**	1.000				
A_Fe	0.030	0.006	-0.032	-0.034	-0.021	-0.193**	0.240**	0.156**	0.199**	1.000			
Sand	0.010	0.203**	0.053	0.005	-0.120**	0.394**	-0.146**	-0.207**	-0.106*	-0.109*	1.000		
Silt	-0.011	-0.182**	-0.041	0	0.108*	-0.506**	0.167**	0.213**	0.124**	0.099*	-0.980**	1.000	-
Clay	0.005	-0.099*	-0.055	-0.021	0.053	-0.022	-0.111*	-0.040	-0.099*	0.048	-0.048	-0.151**	1.000

注: *、** 分别表示相关性在 0.05、0.01 水平显著。

表 2 2008 年县域尺度主成份载荷矩阵

PC	SOM	A_P	A_K	TN	pH	BD	A_Zn	A_Cu	A_Mn	A_Fe	Sand	Silt	Clay
PC ₁	0.419	0.016	0.143	0.415	0.198	-0.747	0.451	0.506	0.298	0.309	-0.737	0.747	-0.088
PC ₂	0.716	0.661	0.612	0.701	0.04	-0.031	0.162	-0.091	-0.089	-0.081	0.480	-0.464	-0.053
PC ₃	-0.095	0.099	-0.135	-0.139	-0.5	0.039	0.248	0.483	0.135	0.485	0.325	-0.279	-0.211
PC ₄	0.166	-0.286	-0.305	0.137	0.237	-0.291	-0.104	0.093	0.033	0.264	0.173	-0.321	0.757
PC ₅	-0.177	0.115	0.148	-0.214	0.087	0.08	0.599	-0.151	-0.503	0.486	-0.013	-0.013	0.135

由表 2 和图 3 可知,各个因素在不同的主成份中载荷是不同的,将每个特征值 ≥ 1 的 PC 中因子荷载 ≥ 0.5 土壤参数分为一组。第 1 组包括 BD、A_Cu、Sand 和 Silt;第 2 组包括 SOM、A_P、A_K 和 TN;第 3 组包括 pH;第 4 组为 Clay;第 5 组为 A_Zn 和 A_Mn。由于 A_Zn 和 A_Mn 之间的相关性低($r < 0.3$),将它们分为两组,故 2008 年县域尺度下 13 个因素共计分成 6 组。

采用多变量方差分析获取不同因素与土地利用类型(Land use types, LU)和母质类型(Parent matter, PM)之间关系。由表 3 可知,除了 A_Mn 外,其余因素受土地利用和母质类型的影响均呈显著或者极显著性影响。为了避免变量在其他特征值 ≥ 1 的 PC 上的信息丢失,采用式(1)计算各因素 $Norm$ 值。由表 4 可知,不同因素对所有主成份载荷的贡献率不一样,差异比较明显,如第 1 组的 A_Cu($Norm$ 值 =

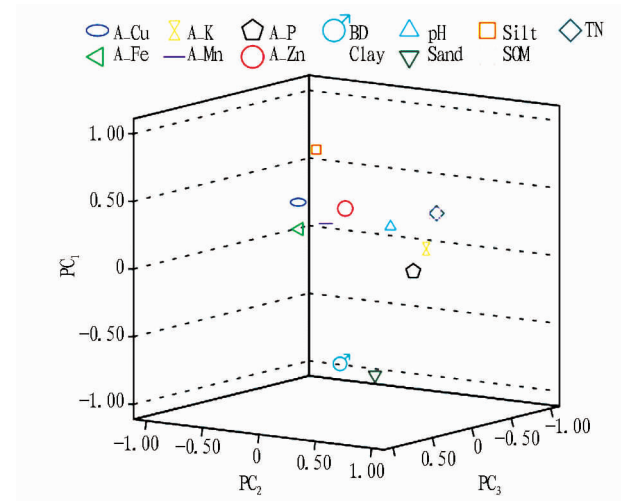


图 3 主成份载荷

1.034)和 Silt(*Norm* 值 = 1.497),Silt 解释综合信息的能力更强。对计算获得 *Norm* 值和 *R*² 进行线性转换,将二者线性转换的值求和,得到综合得分,根据综合得分进行排序。按照总得分值在最高得分值 10% 范围内的参数被选取,然后分析

每组中所选参数间的相关性。若高度相关(*r* > 0.5),则选取总分值最高的进入最终的 MDS;若相关性很低(*r* < 0.3),则全部进入最终的 MDS。

表 3 2008 年县域尺度下土地利用与母质类型交互作用的多变量方差分析

因素	自由度(<i>df</i>)	SOM	A_P	A_K	TN	pH	BD	A_Zn	A_Cu	A_Mn	A_Fe	Sand	Silt	Clay
LU	9	0.200	0.044	0.001	0.140	0.673	0.549	0	0.002	0.515	0.001	0.090	0.107	0.024
PM	15	0	0.043	0.261	0.001	0.005	0	0.052	0	0.961	0.002	0	0	0.084
LU 和 PM 交互作用	25	0	0.020	0.004	0.001	0.013	0	0	0	0.920	0	0	0	0.019
Adjusted <i>R</i> ²		0.132	0.035	0.047	0.061	0.039	0.257	0.081	0.097	-0.020	0.079	0.259	0.229	0.036

表 4 县域尺度下 Data2008 的土壤因素得分计算及 MDS 评价因子选取

因素	分组	得分			得分			综合得分	是否进入
		Norm	R ²		Norm	R ²			
			LU	PM		LU	PM		
BD	1	1.275	0.033	0.282	0.851	0.418	1.000	2.269	进入
A_Cu	1	1.034	0.057	0.093	0.691	0.722	0.330	1.742	
Sand	1	1.480	0.027	0.273	0.988	0.342	0.968	2.298	进入
Silt	1	1.497	0.028	0.245	1.000	0.354	0.869	2.223	
SOM	2	1.319	0.044	0.153	0.881	0.557	0.543	1.981	进入
A_P	2	1.065	0.031	0.049	0.711	0.392	0.174	1.278	
A_K	2	1.038	0.059	0.040	0.694	0.747	0.142	1.582	
TN	2	1.304	0.034	0.082	0.871	0.430	0.291	1.592	
pH	3	0.726	0.019	0.075	0.485	0.241	0.266	0.991	进入
Clay	4	0.878	0.037	0.245	0.587	0.468	0.869	1.924	进入
A_Zn	5	1.037	0.079	0.045	0.693	1.000	0.160	1.852	进入
A_Mn	6	0.737	0.018	0.015	0.492	0.228	0.053	0.773	进入

根据综合得分,第 1 组中最高得分为 Sand,综合得分为 2.298,综合得分在 10% 范围内的有 2 个,分别为 BD 和 Silt。由于两者之间的相关性高(*r* > 0.5),选择得分较高的容重。最终进入县域尺度 2008 年土壤质量评价 MDS 的参数包括 BD、Sand、SOM、Clay、pH、A_Zn、A_Mn 7 个指标。通过对上述进入最小数据集的指标进行相关性分析验证,各指标之间的

相关性明显降低,最大相关不超过 0.4,说明在一定程度上降低了数据的冗余。

2.2 2008 年乡镇尺度 MDS 的建立 乡镇尺度下,共计 13 个衡量土壤质量的指标。与县级尺度一样,对所属的样点因素进行分析。通过 6 个步骤获取相关衡量参数,获得乡镇尺度下土壤质量评价最小数据集,结果见表 5~8。

表 5 2008 年乡镇尺度样点皮尔森相关分析

因素	SOM	A_P	A_K	TN	pH	BD	A_Zn	A_Cu	A_Mn	A_Fe	Sand	Silt	Clay
SOM	1.000												
A_P	0.226	1.000											
A_K	0.065	0.257*	1.000										
TN	0.571**	0.087	0.508**	1.000									
pH	-0.076	-0.094	0.000	-0.178	1.000								
BD	-0.194	0.063	0.147	0.011	0.343**	1.000							
A_Zn	-0.034	0.052	0.013	-0.070	0.079	-0.195	1.000						
A_Cu	0.144	-0.017	0.147	0.193	0.084	-0.280*	0.487**	1.000					
A_Mn	0.141	0.037	0.061	0.098	0.049	0.008	0.414**	0.601**	1.000				
A_Fe	0.160	0.011	-0.269*	-0.146	-0.056	0.106	-0.026	-0.153	0.171	1.000			
Sand	-0.502**	-0.013	0.125	-0.183	-0.052	0.440**	-0.097	-0.123	-0.001	-0.135	1.000		
Silt	0.508**	-0.005	-0.130	0.188	0.028	-0.491**	0.086	0.148	0.002	0.086	-0.983**	1.000	
Clay	0.057	0.092	0.001	0.008	0.133	0.191	0.072	-0.109	-0.009	0.281*	-0.262*	0.080	1.000

注: *、** 分别表示相关性在 0.05、0.01 水平显著。

与县域尺度相比,乡镇尺度下各因素的冗余程度要小得多。当然,随着数据量的减少,相关性肯定降低,但是部分参数间的相关性还是呈现显著或极显著相关,如土壤养分因素与土壤颗粒组成之间。

根据主成份载荷矩阵,按照将每个特征值 ≥ 1 的 PC 中因子荷载 ≥ 0.5 土壤参数分为一组的原则,将衡量乡镇尺度下 2008 土壤质量评价因素分成 5 组。第 1 组为 SOM、BD、Sand、Silt;第 2 组为 A_K、A_Cu、A_Mn;第 3 组为 A_K、TN;第

4 组为 A_Fe、Clay;第5 组为 pH、A_Fe。考虑到 A_K 与 TN 相关程度高,呈 0.01 水平显著相关($r=0.508^{**}>0.5$),故将 A_K 归入到第2 组中;第1 组中的 BD 与 SOM、Sand 和 Silt 之间的相关程度高于 BD 在第4 组中各因素之间的相关程度,故将 BD 归并到第4 组中。同样道理,将 A_Fe 归入到第5 组中。根据以上分析,对因素进行重新分组,分组结果如下:第1 组为 SOM、Sand、Silt;第2 组为 A_K、A_Cu、A_Mn;第3 组为 TN;第4 组为 BD、Clay;第5 组为 pH、A_Fe。重新分组后,考察每组中参数之间的相关性。如果某土壤参数与该组中其他参数的相关性都非常低($r<0.3$),那么其他参数均不能代表该参数包含的土壤质量信息,故应将该参数从该组中分离出来独成一组。由于 A_K 与 A_Cu、A_M 相关性较低,低于 0.3,将此单独分离出来作为一组。同样道理,将第4、5 组也分成2 组。所以,共计分成8 组。由表7 可知,Silt、A_K、A_Mn、TN、BD、Clay、pH、A_Fe 等8 个因素进入2008 年乡镇尺度下土壤质量评价的最小数据集。与2008 年县域尺度下的

MDS 相比,除 A_Mn、Clay、pH 相同外,其余均不同。

表 6 乡镇尺度下 Data2008 主成份载荷矩阵

因素	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅
SOM	0.717	-0.038	0.387	0.158	0.133
A_P	0.112	0.170	0.373	0.252	0.305
A_K	0.028	0.552	0.604	0.068	-0.180
TN	0.437	0.331	0.678	0.022	-0.026
pH	-0.097	0.047	-0.229	0.450	-0.743
BD	-0.573	0.103	0.238	0.602	-0.150
A_Zn	0.286	0.488	-0.527	0.104	0.019
A_Cu	0.444	0.690	-0.348	-0.055	-0.057
A_Mn	0.282	0.621	-0.372	0.293	0.256
A_Fe	0.096	-0.348	-0.203	0.546	0.541
Sand	-0.861	0.391	0.050	-0.074	0.215
Silt	0.868	-0.361	-0.053	-0.057	-0.213
Clay	0.116	-0.230	0.007	0.698	-0.046

表 7 2008 年乡镇尺度下土壤参数得分计算及 MDS 评价因子选取

因素	分组	得分			线性转化			综合得分	是否进入
		Norm	R ²		Norm	R ²			
			LU	PM		LU	PM		
SOM	1	1.356	0.111	0.150	0.849	0.698	0.294	1.841	
Sand	1	1.597	0.124	0.504	1.000	0.780	0.986	2.766	
Silt	1	1.591	0.126	0.511	0.996	0.792	1.000	2.789	进入
A_K	2	1.149	0.159	0.108	0.719	1.000	0.211	1.931	进入
A_Cu	3	1.329	0.083	0.165	0.832	0.522	0.323	1.677	
A_Mn	3	1.212	0.066	0.277	0.759	0.415	0.542	1.716	进入
TN	4	1.271	0.118	0.097	0.796	0.742	0.190	1.728	进入
BD	5	1.295	0.021	0.126	0.811	0.132	0.247	1.189	进入
Clay	6	0.952	0.120	0.070	0.596	0.755	0.137	1.488	进入
pH	7	1.044	0.040	0.039	0.654	0.252	0.076	0.982	进入
A_Fe	8	1.074	0.091	0.060	0.672	0.572	0.117	1.362	进入

2.3 1980 年县域尺度 MDS 的建立 1980 年共获取 9 个指标。根据最小数据集建立的方法和步骤,构建 1980 年县域尺度土壤质量评价数据集。由表8 可知,1980 年县域尺度下

衡量土壤质量各因素相关性很强,因素之间存在较强的冗余,如 A_Mn 和 A_Fe、BD 和 A_Cu、A_Mn 等达到0.01 水平显著性相关。

表 8 1980 年县域尺度因素皮尔森相关分析

因素	SOM	TN	AP	AK	BD	A_Zn	A_Cu	A_Mn	A_Fe
SOM	1.000								
TN	0.485 [*]	1.000							
AP	0.053	0.173 ^{**}	1.000						
AK	0.136 ^{**}	0.200 ^{**}	0.083	1.000					
BD	-0.084 [*]	-0.080 [*]	-0.041	0.072	1.000				
A_Zn	0.046	0.092 [*]	-0.019	0.016	-0.009	1.000			
A_Cu	0.005	0.031	-0.062	-0.078 [*]	-0.122 ^{**}	0.029	1.000		
A_Mn	-0.085 [*]	-0.084 [*]	-0.022	-0.074 [*]	-0.276 ^{**}	0.185 ^{**}	0.421 ^{**}	1.000	
A_Fe	-0.070	-0.046	-0.007	-0.034	-0.170 ^{**}	0.288 ^{**}	0.131	0.632 ^{**}	1.000

注: *、** 分别表示相关性在 0.05、0.01 水平显著。

采用相同的分组流程和方法,最终将因素分成5 组,计算 Norm 和 R² 值,并对它们进行线性转换后,环境因素选择土壤类型(soil types),计算综合得分(表9)。

由表10 可知,最终 SOM、AP、A_Cu、A_Zn、A_Fe 等5 个因素进行最小数据集。

表 9 县域尺度 Data1980 主成份载荷矩阵

PC	SOM	TN	AP	AK	BD	A_Zn	A_Cu	A_Mn	A_Fe
PC ₁	0.523	0.526	0.516	0.552	0.215	-0.348	-0.362	-0.655	-0.631
PC ₂	0.540	0.582	0.454	0.421	-0.338	0.496	0.289	0.510	0.589
PC ₃	-0.579	-0.536	0.629	0.636	0.155	0.052	-0.138	0.086	0.159
PC ₄	0.046	0.062	-0.165	-0.069	0.464	0.659	-0.561	-0.283	0.305

表 10 县域尺度下 Data1980 的土壤参数得分计算及 MDS 评价因子选取

因素	分组	得分		线性转化		综合得分	是否进入
		Norm	土壤类型 R ²	Norm	土壤类型 R ²		
SOM	1	1.312	0.210	0.990	0.986	1.976	进入
TN	1	1.290	0.213	0.973	1.000	1.973	
AK	2	1.284	0.024	0.969	0.113	1.082	
AP	2	1.325	0.030	1.000	0.141	1.141	进入
A_Cu	3	0.931	0.031	0.702	0.146	0.848	进入
A_Zn	4	1.138	0.022	0.859	0.103	0.962	进入
A_Mn	5	1.267	0.018	0.956	0.085	1.041	
A_Fe	5	1.325	0.037	1.000	0.174	1.174	进入

3 结论与讨论

该研究探讨了土壤质量最小数据集建立的方法(包括皮尔森相关分析、主成分分析(PCA)、计算矢量常模(Norm)值以及土壤母质类型、土壤类型、土地利用等与土壤质量(指标)的关系、计算结果进行线性转换和排序),并基于该法获取不同时空尺度下的最小数据集。就空间尺度而言,衡量县域和乡镇尺度土壤质量好坏的最小数据集有所不同。2008 年县域尺度下最小数据集包括 BD、Sand、SOM、Clay、pH、A_Zn、A_Mn 等 7 个指标,而进入 2008 年乡镇尺度下的最小数据集则为 Silt、A_K、A_Mn、TN、BD、Clay、pH、A_Fe 等 8 个因素。就时间尺度而言,不同时期的衡量指标也不同。土壤质量评价必须与时空尺度挂钩才有意义。

该研究所使用的方法得到的 MDS 参数能够最大限度地包含所有未入选参数所表达的土壤质量信息。不同时空下建立土壤质量最小数据集冗余程度最低。1980~2008 年,不管研究区土地利用方式变化多剧烈,有些对土壤质量起极其重要作用的参数(例如 SOM)总是会被选入 MDS。

参考文献

[1] ALEXANDER M. Agriculture's Responsibility in Establishing Soil Quality Criteria. Environmental Improvement-Agriculture's Challenge in the Seventies[M]. Washington,DC:National Academy of Sciences,1971:66-71.

[2] 赵其国,孙波,张桃林. 土壤质量与持续环境:土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤,1997(3):113-120.

[3] 曹志洪. 解译土壤质量演变规律,确保土壤资源持续利用[J]. 世界科技研究与发展,2001,23(3):28-32.

[4] DOUGLAS L K, CRAIG A D, SUSAN S A. Soil quality: why and how? [J]. Geoderma,2003,114:45-156.

[5] CORWIN D L, LESH S M. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. Survey protocols[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2005,46:103-133.

[6] SHUKH M K, EBINGER M. Determining soil quality indicators by factor analysis[J]. Soil & Tillage Research,2006,87:194-204.

[7] 李桂林,陈杰,孙志英,等. 基于土壤特征和土地利用变化的土壤质量评价最小数据集确定[J]. 生态学报,2007,27(7):2715-2724.

[8] LARSON W E, PIERCE F J. Conservation and enhancement of soil quality [C]//Proc of the Int. Workshop on evaluation for sustainable land management in the developing world. International Board for Soil Resource and Management (IBSRAM). Proceeding no. 123 vol. 2. Bangkok, Thailand, 1991.

[9] KARLSEN D L, SOTOTT D E. A framework for evaluation physical and chemical indicators of soil quality[C]//DORAN J W. Defining soil quality for sustainable environment. Number 35, Madison, Wisconsin, USA: SSSA Special Publication 1994:53-71.

[10] ANDREWS S S, KARLEN D L, MITCHEL J P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 90:25-45.

[11] REZAEI S A, GILKES R J, ANDREWS S S. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands[J]. Geoderma,2006,136:229-234.

[12] SPARLING G P, SCHIPPER L A. Soil quality at a national scale in New Zealand[J]. Journal of Environmental Quality, 2002, 31:1848-1857.

[13] YEMEFACK M, JETTEN V G, ROSSITER D G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems [J]. Soil & Tillage Research, 2006, 86:84-98.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析[J]. 北京:中国农业出版社,2000.

(上接第 7459 页)

参考文献

[1] CODEFROID S, KOEDAM N. Comparative ecology and coexistence of introduced and native congeneric forest herbs: *Impatiens parviflora* and *I. noli-tangere* [J]. Plant Ecology and Evolution, 2010, 143(2):119-127.

[2] 陈艺林. 凤仙花科[M]//中国植物志,第四十七卷·第二分册. 北京:科学出版社,2001:170.

[3] 黄明远. 一种花粉管生长测定的好材料——水金凤[J]. 生物学通报, 2000, 35(5):18-19.

[4] 张志英,李继璜,陈彦生. 陕西种子植物名录[M]. 西安:陕西旅游出版社,2000:68.

[5] 张新时. 伊犁野果林的生态地理特征和群落学问题[J]. 植物学报(英文版),1973,15(2):239-253.

[6] 孙保芳,刘树民. 鄂伦春民族习惯用药[M]. 北京:中国中医药出版社,2007:25-26.

[7] 布日额. 蒙药材水金凤的显微鉴定[J]. 中药材,2002,25(10):709-710.

[8] 汪劲武. 金凤花与急性子果——凤仙花科琐谈[J]. 植物杂志,1998(2):34-35.

[9] 危建安,谢琪. 凤仙花研究进展[J]. 时珍国医国药,2001,12(2):164-165.

[10] 林琼,肖娟. 3 种凤仙花属植物种子萌发特性比较研究[J]. 湖南农业科学,2007(4):36-37,40.

[11] 郑林,魏华生. 贵州苗族草药“水金凤”植物基源调查报告[J]. 中草药,2004,35(6):714-715.

[12] 于帅,陈玮,何兴元,等. 浑河河岸带六种草本植物氮、磷含量特征[J]. 生态学杂志,2012,31(11):2775-2780.

[13] 苏秀芳,蓝金. 凤仙花的化学成分及药理活性研究进展[J]. 广西民族师范学院学报,2010,27(3):13-15.

[14] 黄武光,周厚琼,唐继坤. 金凤液的毒理学实验研究[J]. 中国民族民间医药杂志,1999(5):293-294.

[15] 李世全. 秦岭巴山天然药物志[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1987:42-43.

[16] 滕崇德,李继璜,杨懋琛,等. 水金凤[J]. 山西医药杂志,1976(S1):13.