

# 宁南黄土丘陵区旱作苜蓿地土壤综合肥力质量评价

温淑红, 潘占兵, 许浩

(宁夏农林科学院 荒漠治理研究所, 银川 750002)

**摘要:**采用改进的内梅罗综合指数法计算得出的不同年限苜蓿地土壤综合肥力指数研究,结果表明:苜蓿地表层(0—20 cm)土壤综合肥力指数范围在0.623~0.794,土壤肥力水平介于一般水平和贫瘠状态,不同年限苜蓿地表层(0—20 cm)土壤综合肥力指数呈:CK>6 a>2 a>8 a>3 a>20 a>10 a。说明宁南黄土丘陵区旱作苜蓿粗放经营(只刈割,不培肥),导致土壤综合肥力指数日趋下降。因此,在苜蓿经营过程中,有必要进行土壤培肥,在苜蓿退化严重时,可以通过轮作培肥等措施提高土壤肥力。

**关键词:**旱地苜蓿; 土壤肥力; 因子权重; 综合评价

**中图分类号:** S541

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2015)04-0056-05

## Comprehensive Evaluation of Soil Fertility Quality of Alfalfa Field in the Dryland of Loess Hilly Region in Southern Ningxia

WEN Shuhong, PAN Zhanbing, XU Hao

(Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** Soil integrated fertility index of fields with different years of alfalfa growth was calculated by the improved Nemero index. The results showed that soil integrated fertility index surface layer(0—20 cm) in the alfalfa field ranged from 0.623 to 0.794, the level of soil fertility belonged to the average or poor states, soil fertility index of surface layer(0—20 cm) of the field with different years of alfalfa growth decreased in the order:CK>6 a>2 a>8 a>3 a>20 a>10 a. The loess hilly areas of South Ningxia dryland alfalfa extensive management(only cutting, no fertilizer) led to decline of soil integrated fertility index. Therefore, in the alfalfa management process, it is necessary to improve soil fertility in alfalfa field, and when degeneration of the alfalfa is serious, soil fertility should be improved by rotation and fertilization measures.

**Keywords:** alfalfa field; soil fertility quality; factor weight; comprehensive evaluation

土壤是植物生活的基质和动物生活的基底,它为植物提供必需的营养和水分,也为土壤动物提供必要的生存场所,它与社会经济紧密联系。我国土壤学界对土壤肥力研究非常活跃,土壤肥力是土壤代谢功能、调节功能的强弱和在一定地理位置、自然条件下,土壤同内部水、养适量,气、热周期性动态,稳、匀、足、适程度;并从生态系统的角度把土壤肥力分为母质肥力、层次肥力、田块肥力、耕作肥力、气候肥力、地貌肥力、水文肥力和植被肥力。土壤肥力是土壤的本质,土壤肥力就是土壤为植物生产供应和协调营养条件和环境条件的能力,水分和养分是营养因素,温度和

空气是环境因素;水既是养分因素,又是营养因素;土壤结构是肥力的重要基础,肥力评价要考虑到土壤整体<sup>[1-2]</sup>。陈恩凤等<sup>[3]</sup>认为:土壤肥力是土壤自动调节能力,是对水、肥、气、热的储存和供应能力,肥土具有吸收容量大、转化释放供应量大特征,从而有较大的适应植物生长需要和抵抗不良生长条件的能力。章家恩等<sup>[4]</sup>提出土壤生态肥力(Soil ecological fertility)概念,即土壤生态肥力指在一定的环境条件下,土壤及其生物群落(包括动物和微生物)之间长期协同进化、相互适应、相互作用而表现出的一种和谐共融特性,以及在该特性状态下土壤保证植物生长所需物质与能量的可

收稿日期:2014-09-04

修回日期:2014-09-26

资助项目:宁夏回族自治区自然科学基金资助项目“宁南山区土壤养分对不同生态恢复模式的响应”(NZ12246)

第一作者:温淑红(1971—),女,宁夏银川人,助理研究员,在职硕士研究生,主要从事植物保护,退化生态恢复与重建等研究工作。E-mail: wshh.951@163.com

通信作者:潘占兵(1975—),男,宁夏惠农人,副研究员,在职硕士研究生,主要从事荒漠化防治与生态环境建设方面等研究。E-mail: pan7536@163.com

获得性和可持续性的一种功能和能力。土壤肥力是土壤各方面性质的综合反映,其本质就是从环境条件和营养条件供应和协调植物生长发育的能力。种植苜蓿既可以获得较好的经济效益,又可以改良土壤。对低产田种苜蓿肥田养畜研究结果显示,豆科牧草会显著提高土壤肥力,改善土壤理化性质<sup>[5]</sup>。因此,土壤肥力质量直接关系到苜蓿(*Medicago sativa* L.)的生产潜力,对黄土高原地区牧草产业发展与生态环境的改善具有重要意义<sup>[6]</sup>。

宁夏半干旱黄土丘陵区由于特殊的自然地理和社会经济条件,水土流失严重,生态环境脆弱,目前该区80%的土地为坡耕地,水土流失面积达22 897 km<sup>2</sup>,年土壤侵蚀模数1 000~10 000 t/km<sup>2</sup>,年输入黄河泥沙达0.6亿t,蚕食土地1 333 hm<sup>2</sup>,是水土流失最为严重的区域之一<sup>[7]</sup>。宁夏回族自治区政府以西部大开发为契机,通过实施退耕还林还草、退牧还草等工程,使宁夏地区人工种草面积达到约 $5.33 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,其中紫花苜蓿为主的多年生人工草地迅速增加至约 $4.00 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,极大地促进了宁夏地区草畜产业的快速发展<sup>[8]</sup>。退耕还林还草种植苜蓿不仅增加植被盖度,改善生态环境,缓解天然草场载畜压力,促进生态自然修复,而且在推动畜牧业经济快速发展,增加农民收入等方面具有重要的作用。然而,作为宁南半干旱黄土丘陵区发展畜牧业物质基础之一的旱作苜蓿老化严重,养分失调等,已成为该区草畜产业发展的瓶颈<sup>[9]</sup>。苜蓿地土壤肥力下降和持续旱化将导致植物群落衰败和生态系统退化,直接威胁畜牧业经济、生态效益的持续稳定发挥,揭示了土壤旱化诱发土壤养分失调的机理的紧迫性和重要性,土壤肥力指标体系的正确建立对土壤旱化与生态环境的改善显得尤为重要。土壤质量的综合评价涉及到诸多土壤因子,如何确定土壤质量评价指标一直是土壤质量评价的核心问题<sup>[10-11]</sup>。因此,本文针对宁南山区长期种植苜蓿土壤肥力退化的实际,应用改进的内梅罗综合指数法评价不同年限苜蓿地土壤综合肥力,以期为宁南山区苜蓿地及苜蓿资源的合理利用与管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区隶属宁夏固原市彭阳县白阳镇中庄村,位于彭阳县东北13 km,地理坐标在105°9′—106°58′E, 34°14′—37°4′N,地貌类型属于黄土高原腹部梁峁丘陵地,区内梁峁相间,沟壑纵横,地形破碎,地面倾斜度大,平均海拔在1 600~1 700 m。该村年平均气温7.6℃,≥10℃的积温2 200~2 750℃,境内年蒸发量

较大,干燥度为3.58,无霜期140~160 d。降雨是雨水资源量的决定因素,项目区多年平均年降水量475 mm,降水量集中且年内分配不均,雨量集中月份常以暴雨形式出现,易发局部地区暴雨洪水。水土流失和土地退化等问题已成为困扰该区社会经济可持续发展和农民脱贫致富的主要瓶颈<sup>[12]</sup>。自2000年实施退耕还林还草工程以来,中庄村旱作苜蓿种植面积累计达到157 hm<sup>2</sup>,部分苜蓿地土壤旱化严重,苜蓿干草产量甚至低于300 kg,对该区草畜产业的可持续发展产生了极大地影响。

彭阳县中庄村辖7个村民小组,共390户1 757人,其中回族119户498人,全村总面积16.5 km<sup>2</sup>,耕地面积1 076 hm<sup>2</sup>,其中退耕面积319.9 hm<sup>2</sup>。区内土壤以普通黑垆土为典型土壤,土壤母质为黄土及黄土状物,pH值在8~8.5,呈弱碱性反应,土层深厚,土质疏松。植被类型以草原植被为基础,属于半干旱草原区,生长有长茅草、角蒿、铁杆蒿、白羊草、赖草、星毛萎陵菜等;其次还有中生和旱中生的落叶阔叶灌丛、落叶阔叶林、草甸。人工植被以山桃、沙棘、山杏、山杨等为主。农、林、牧三业用地比例为1:0.71:0.95。其气候、土壤、土地利用、小流域生态治理及经济发展等诸多方面在宁南山区及其黄土高原西部丘陵区均具有一定的代表性<sup>[13]</sup>。

### 1.2 样品采集与处理

选择立地条件相近的3 a,7 a,19 a生苜蓿为研究对象,以种植坡耕地为对照(CK),参考全国第二次土壤普查的结果和分级标准分析。采用多点取样法,对不同年限苜蓿地0—100 cm分层取土样。先风干土样,再剔除根系、石块等杂物,混匀磨细,分别用1 mm和0.25 mm的土壤过筛待测,对旱作苜蓿地土壤养分的时空变化规律进行分析。

### 1.3 测定方法

土壤养分测定内容为土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、pH。其中:有机质采用K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>容量法测定;全氮用凯氏法测定;全磷用酸溶—钼锑抗比色法测定;全钾用NaOH熔融火焰光度计法测定;速效氮用碱解扩散法测定;速效磷用NaHCO<sub>3</sub>浸提比色法测定;速效钾用NH<sub>4</sub>OAC浸提—火焰光度计法测定<sup>[14]</sup>。

### 1.4 土壤肥力质量的综合评价指标体系

土壤肥力评价指标的确定直接影响着评价结果的正确性、客观性和指导性。由于选取的指标不同,分析目标的差异,选择的评价方法也不同,因而,没有统一的评价方法。同时,随着计算机技术的普及,国外统计软件的引进,使得那些过去因数据量大、计算

复杂的分析方法也得到广泛的应用,大大地提高了土壤肥力评价的定量经水平和科学性<sup>[15]</sup>。本研究在参考现有土壤肥力评价因子选取的基础上,采用土壤养分指标(土壤 pH、有机质、速效氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷)等为评价因子,对不同旱作年限苜蓿地土壤肥力进行综合评价。进行土壤肥力综合评价时尽可能多的选择和土壤肥力有关的单项指标。为了避免人为主观影响,将相关分析法、灰色关联法、变异系数法相结合,计算土壤肥力因子的权重;并按照最小因子率理论,采用隶属函数法对实测数据进行标准化。

1.5 土壤综合肥力指数计算

从土壤—植物—环境整体角度看,土壤肥力是土壤的养分针对特定植物的供应能力,以及土壤养分供应植物时的环境条件的综合体现,土壤养分、植物、环境条件共同构成土壤肥力的外延;土壤肥力高低不仅受土壤养分、植物的吸收能力和植物生长的环境条件各因子的独立作用,更重要取决于各因子的谐调程度。土壤肥力单项指标(属性值)是不可加和的,为了统一量纲,消除各指标间的量纲差别首先应对数据进行标准化。标准化的方法常见有标准差标准化、极差标准化、均值标准化、初值标准化等,但这些方法用在这里都存在可比性较差的缺点。因此,本文采用如下的方法:

当属性值属于差一级时,即  $c_i \leq x_a$  时,  $p_i = c_i / x_a$ , ( $p_i \leq 1$ );当属性值属于中等一级时,即  $x_a < c_i \leq x_c$  时,  $p_i = 1 + (c_i - x_a) / (x_c - x_a)$ , ( $1 < p_i \leq 2$ );当属性值属于较好一级时,即  $x_c < c_i \leq x_p$  时,  $p_i = 2 + (c_i - x_c) / (x_p - x_c)$ , ( $2 \leq p_i < 3$ );当属性值属于好一级时,即  $c_i > x_p$  时,  $p_i = 3$ ,以上各式中  $p_i$  称为分肥力系数,  $c_i$  为该属性测定值,  $x_i$  为分级指标,属性值的分极标准( $x_a, x_c, x_p$ )主要参照第二次全国土壤普查标准(表 1)。通过该计算方法标准化后得到的各单项土壤肥力系数可比性较高,且当某属性测定值超过一定标准的肥力系数( $x_p$ )后分肥力系数值便不再提高,恒为 3,它真实地模拟了植物生长过程中对某些属性的要求并不是越高越好,而是存在一个饱和值的现象,科学掌握和控制这个饱和点,才能保障土壤肥力系数的合理性。

表 1 土壤各属性分级标准

土壤属性	速效氮	速效磷	速效钾	有机质	全氮	全磷	全钾
$x_a$	60	5	50	10	0.75	0.7	10
$x_c$	90	10	100	20	1	1.5	15
$x_p$	150	20	150	30	1.5	2	20

参考全国第二次土壤普查的结果和土壤养分等

级标准的基础上<sup>[16]</sup>,根据普查土壤肥力因子分级标准,实测数据标准化结果如表 2 所示。

表 2 土壤肥力因子标准化值

年限	有机质	全氮	速效氮	全磷	速效磷	全钾	速效钾
2 a	0.72	0.72	0.63	0.91	0.94	2.70	1.28
3 a	0.55	0.63	0.50	0.69	0.64	2.60	1.24
6 a	0.60	1.44	0.63	0.79	0.80	2.56	1.56
8 a	0.65	0.93	0.92	0.77	0.64	2.60	1.44
10 a	0.64	0.88	0.87	0.76	0.40	2.52	1.28
20 a	1.03	0.72	0.67	0.74	0.52	2.56	1.16
CK	1.02	0.56	0.47	0.86	1.48	2.72	1.72

1.5.1 土壤肥力因子权重的计算 由于各项土壤肥力因子对土壤肥力的贡献是不同的,故对各项指标应给以一定的权重,然而,如何确定单项肥力指标的权重系数,这是肥力综合评价中的一个关键问题。在以往的研究中,普遍采用人为打分法、因子分析法、聚类分析法、TOPSIS 分析法、灰色关联度法、因子加权综合法、变异系数法等确定权重系数。为了避免人为主观影响,本研究分别采用相关分析法、灰色关联法、变异系数法计算了土壤肥力因子的权重。

(1) 相关分析法:相关分析法是研究随机变量之间相互关系规律性的一种统计方法。它的客观基础是,任何一种现象及其过程都必然会同其他现象与过程处在一种相互依存、相互制约的关系之中,因而人们可以根据与该现象、过程相互联系的其他现象、过程的变动规律与趋势,来预测该现象、过程的未来发展变化的规律与趋势。通过相关分析法计算各单项肥力指标间的相关系数,再求各单项肥力指标与其它肥力指标间相关系数的平均值,以其平均值占有所有肥力指标的相关系数平均值总和的比作为比单项肥力指标的权重系数。

(2) 灰色关联法:灰色关联度法是一种定性分析和定量分析相结合的综合评价方法,可以较好地解决评价指标难以准确量化和统计的问题,排除人为因素带来的影响,使评价结果更加客观准确。其计算过程简单,易于掌握;数据不必进行归一化处理,可用于原始数据直接计算,可靠性强。

(3) 变异系数法:变异系数又称“标准差率”,是衡量资料中各观测值变异程度的一个统计量。当进行两个或多个资料变异程度的比较时,如果单位和(或)平均数不同时,比较其变异程度就不能采用标准差,而需采用标准差与平均数的比值(相对值)来比较。计算出各指标的变异系数,以其变异系数占有所有肥力指标变异系数和的比作为单项肥力指标的权重系数。

1.5.2 改进的内梅罗综合指数法计算土壤肥力指数 通过有关资料的对比,分析了土壤肥力的各单项指标,但单项指标在评价土壤整体肥力状况上还缺乏说服力。因此,本文还进行了改进的内梅罗综合指数法进行了综合评价。改进的内梅罗公式计算土壤综合肥力系数,反映了植物生长最小因子律(限制因子)。该法能较全面又较简单地定量化反映土壤肥力水平。修正的内梅罗(Nemoro)公式如下:

$$P=\sqrt{\frac{(\overline{P_i})^2+(P_{\min})^2}{2}}\times\frac{(n-1)}{n}$$

式中:P——土壤综合肥力指数;P<sub>i</sub>——土壤各属性分肥力系数;P<sub>i</sub>——土壤各属性分肥力系数的平均值;P<sub>imin</sub>——各分肥力系数中最小值;n——参评因子数量。

采用 P<sub>imin</sub>代替原内梅罗公式中的 P<sub>imax</sub>是为了突出土壤属性中最差一项指标对肥力的影响,即突出限制性因子,增加修正项(n-1)/n 是为了反映可信度,即参评土壤属性项目(n)越多,可信度越高。根据公式可以计算土壤肥力系数,通常土壤肥力分为很肥沃(P≥2.12)、肥沃(1.42<P<2.12)、一般(0.72<P<1.42)、贫瘠(0.47<P<1.42)、极度贫瘠(P≤0.47)。由采用改进的内梅罗综合指数法计算得出的不同旱作年限苜蓿地土壤综合肥力指数可以看出(表 3):苜蓿地表层(0—20 cm)土壤综合肥力指数范围在 0.623~0.794,土壤肥力水平介于一般水平和贫瘠状态,不同旱作年限苜蓿地表层(0—20 cm)土壤综合肥力指数呈:CK>6 a>2 a>8 a>3 a>20 a>10 a。

表 3 土壤综合肥力评比

项目	年限						
	2 a	3 a	6 a	8 a	10 a	20 a	CK
土壤表层 (0—20 cm)	0.722	0.665	0.738	0.692	0.623	0.634	0.794
综合肥力 评语	一般	贫瘠	一般	贫瘠	贫瘠	贫瘠	一般

表 4 不同方法土壤肥力因子权重

参数	有机质	全氮	速效氮	全磷	速效磷	全钾	速效钾
相关系数法	0.159	0.068	0.079	0.193	0.202	0.116	0.184
变异系数法	0.194	0.175	0.251	0.046	0.246	0.015	0.074
灰色关联度法	0.124	0.119	0.119	0.171	0.105	0.206	0.156
平均值	0.159	0.121	0.149	0.136	0.184	0.112	0.138

2.2 苜蓿地土壤肥力的动态变化

不同旱作年限苜蓿地土壤综合肥力指数计算结果表明(表 5),随着苜蓿旱作年限的增加,土壤综合肥力

2 结果与分析

2.1 土壤综合肥力评价体系的特征分析

土壤肥力评价就是对土壤肥力高低的评判和鉴定。土壤的肥力水平是诸多肥力因素综合作用的反映。目前,土壤肥力评价时主要以养分指标为主,其次是土壤物理性状指标,而土壤生物指标和环境条件因子相对较少。因此,以最直观表达土壤肥力高低的土壤养分指标(土壤 pH、有机质、速效氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷等)为评价因子。由于土壤综合肥力指标包括多个土壤养分指标,对这些指标进行单独分析,难以客观评价土壤整体肥力状况,必须对肥力指标进行综合定量评价,才能更直观地评价旱作苜蓿地土壤肥力的高低。评价过程一般以人为划分土壤肥力评价指标的数量级别以及各指标的权重系数,然后利用简单的加、乘合成一项综合性的指标评价土壤肥力的高低。

由土壤肥力单因子指标的权重(表 4)计算结果可以看出,不同的计算方法,计算出的土壤肥力因子结果不同。这主要是由于各种客观评价方法原理迥异,导致权重计算结果的不同。土壤肥力评价指标选取应避免指标间多重共线性问题。如果选取的指标间存在多重共线性,既增加了不必要的计算量和分析量,又影响到土壤肥力评价结论的真实性。为避免指标间多重共线性问题,在进行土壤肥力评价时,应对选取的指标进独立性分析,去除存在共线性的指标。因此,本研究为了排除了人为干扰,使评价结果更加可靠,采用上述三种方法计算肥力单因子权重值的算术平均值作为土壤肥力综合指数计算的权重。由算术平均值得到的土壤肥力因子权重计算结果可以看出,对宁南半干旱黄土丘陵苜蓿地土壤综合肥力指数贡献较大的因子为土壤有机质、速效氮和速效磷。土壤有机质、速效氮、全量氮、土壤 pH 的因子得分值明显大于速效钾。这表明土壤有机质、速效氮、全量氮、土壤 pH 是该区旱作苜蓿地主要的肥力指标,其含量的高低直接影响苜蓿地土壤综合肥力指数。

指数呈现 7 a 生>3 a 生>19 a 生的趋势。在苜蓿生长初期,由于苜蓿根系较小,固氮作用较弱,土壤氮素水平较低;但随着苜蓿旱作时间的增长,苜蓿固氮作用增

强,苜蓿地土壤氮素含量增加,导致土壤综合肥力指数逐渐增加,但肥力总体水平仍然较低,均在 0.847 以下。19 a 生时,苜蓿老化严重,根系密度下降,苜蓿固氮作用减弱,苜蓿地土壤综合肥力指数仅为 0.539,苜蓿地土壤肥力比较贫瘠,已逐渐不能满足苜蓿的正常生长。与坡耕地相比,苜蓿地土壤综合肥力指数明显

偏低。不同旱作年限苜蓿地土壤综合肥力指数的变化规律也证明,在宁南半干旱黄土丘陵区苜蓿粗放经营(只刈割,不培肥),导致土壤综合肥力指数日益下降。因此,在宁南半干旱黄土丘陵区,为了促进苜蓿地可持续利用,有必要在苜蓿老化时,对苜蓿地翻拆补种,同时加强苜蓿地有机肥、磷肥的施用量。

表 5 不同旱作年限苜蓿地土壤综合肥力指数

旱作年限	相关系数法	变异系数法	灰色关联	变化范围	综合肥力评语
3 a 生	0.794	0.694	0.918	0.797±0.080	贫瘠
7 a 生	0.774	0.826	0.969	0.847±0.073	贫瘠
19 a 生	0.510	0.476	0.635	0.539±0.059	贫瘠
CK	0.937	0.903	1.147	0.992±0.094	一般

3 结 论

采用算术均数赋值法将相关分析法、灰色关联法、变异系数法等 3 种方法相结合,计算土壤肥力因子的权重,实现了评价方法的优势互补,使得到的评价结果更为合理、科学。研究结果显示,在宁南半干旱黄土丘陵区土壤有机质、速效氮、全量氮、土壤 pH 的权重值相对较高,是该区旱作苜蓿地最为关键的肥力指标,其含量的高低直接影响苜蓿地土壤综合肥力指数。

对宁南半干旱黄土丘陵苜蓿地土壤综合肥力指数贡献较大的因子为土壤速效磷、有机质和速效氮。因此,在苜蓿经营过程中,有必要进行土壤培肥,在苜蓿退化严重时,可以通过轮作培肥等措施提高土壤肥力。旱作苜蓿地土壤综合肥力指数随时间的生长时间的变化,呈现先增大、再减小的趋势。旱作苜蓿只刈割,不培肥,使部分土壤养分随着苜蓿刈割带离生境,导致土壤综合肥力指数日趋下降。

参考文献:

[1] 侯光炯,谢德体. 土壤肥力学概要[M]//侯光炯. 农业土壤学:侯光炯在宜宾应用研究 17 年论文选集. 成都:四川科学技术出版社,2000.

[2] 熊毅. 我国土壤物理科学研究的回顾:《土壤物理学》序言[J]. 土壤,1984(2):41-45.

[3] 陈恩凤,武冠云,周礼恺. 关于土壤肥力研究的几点认识[J]. 土壤通报,1989,20(4):187-188.

[4] 章家恩,廖宗文. 试论土壤的生态肥力及其培育[J]. 土壤与环境,2000,9(3):253-256.

[5] 麻冬梅,金凤霞,蒙静,等. 不同种植年限苜蓿对土壤理化性质,微生物群落和苜蓿品质的影响[J]. 水土保持研究,2013,20(5):29-32.

[6] 张大克,叶海江. 水稻土肥力水平分类中主要土壤肥力因素指标的筛选模型[J]. 农业工程学报,1997,13(2):91-95.

[7] 王思成,王月玲,许浩,等. 半干旱黄土丘陵区不同植被恢复方式下土壤理化特性及相关分析[J]. 西北农业学报,2009,18(1):295-299.

[8] 潘占兵,李生宝,蔡进军,等. 宁南山区苜蓿地土壤水分和养分变异规律研究[J]. 水土保持通报,2011,31(2):61-67.

[9] 潘占兵,蒋齐,许浩,等. 宁南黄土丘陵区旱作苜蓿地土壤肥力特征分析[J]. 中国农学通报,2011,27(28):178-183.

[10] 李桂林,陈杰,檀满枝,等. 基于土地利用变化建立土壤质量评价最小数据集[J]. 土壤学报,2008,45(1):16-25.

[11] 刘国彬,赵允格,许明祥. 黄土丘陵区土壤质量评价指标研究[J]. 应用生态学报,2005,16(10):1843-1848.

[12] 潘占兵,余峰,王占军,等. 宁南黄土丘陵区坡向,坡位对苜蓿地土壤含水量时空变异的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(2):141-144.

[13] 王月玲,蔡进军,张源润,等. 宁南黄土丘陵干旱区小流域雨水资源潜力研究[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(3):44-49.

[14] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.

[15] 骆东奇,白洁,谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境,2002,11(2):202-205.

[16] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京:中国农业出版社,1998.