

保护地土壤质量障碍因素研究

熊汉琴^{1,2}, 王朝辉¹, 宰松梅¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 汉中职业技术学院, 陕西 汉中 723100)

摘要: 随着种植年限的增加, 与露地和大田相比, 保护地土壤在温度、湿度、空气、水分等环境条件, 土壤有机质、全氮、速效氮、磷、钾、钙镁、酸碱度及生物活性等理化和生物性质、土壤盐分累积等均发生了巨大的变化会给土壤质量、作物生长及人类健康带来危害。为了保证高产、优质、高效的蔬菜生产, 研究保护地土壤理化性状及障碍因素具有重要的理论和实践意义。

关键词: 保护地; 土壤环境; 养分; 盐分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)03-0136-05

中图分类号: F301.24

Factors Affecting Soil Quality in Protected Field

XIONG Han-qin^{1,2}, WANG Chao-hui¹, ZAI Song-mei¹

(1. College of Resources and Environmental Science, Northwest Agriculture and Forestry University,

Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. Hanzhong Technical College, Hanzhong 723100, Shaanxi Province, China)

Abstract: Compared to the soil in cereal cropland, the physical, chemical and biological properties of the soil in the protected field, such as organic matter, total N, available nutrient (N, P and K), exchangeable Ca and Mg, acidity and alkalinity, salinity accumulation and bio-activity, have obviously changed with the prolongation of cropping duration. This has decreased soil quality, impacted crop growth and potentially threatened human health. In order to sustain the vegetable production with high yield, high quality and high efficiency, it is of great theoretical and practical significance to study soil fertility and its affecting factors in the protected field cropping system.

Keywords: protected field; soil environment; nutrient; salinity

几年来随着我国农业结构的调整, 种植面积不断扩大。据农业部全国农业技术服务中心统计, 在 1985—1995 年间, 蔬菜播种面积由 1985 年的 $4.76 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 增加到 1995 年的 $9.51 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 平均每年增加 10% 左右。保护地蔬菜栽培面积增加更快, 从 1990 年的 $1.60 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 增加到 1995 年的 $5.00 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 平均每年增加 54%, 1999 年发展到 $1.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。2001 年, 全国设施栽培面积超过 $1.66 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[1], 收到了可观的经济效益和社会效益。

科技的进步推动了蔬菜科学的发展, 蔬菜栽培的科技含量在不断提高。保护地栽培人为改变了传统露天菜地种植的土壤环境, 具有常年的高温、高湿, 无降水淋洗及高施肥、高产, 超强度利用等特点, 是一种高度集约化的工厂式农业利用方式。同时, 保护地蔬菜种植环境相对稳定的栽培方式, 随着使用年限的推移, 与露天菜地和大田相比, 土壤的理化性质发生了巨大的变化。为了保证蔬菜生产向高产、优质、周年供应方向正常发展, 对保护地土壤理化性状的研究及改良工作也迫在眉睫。

1 保护地蔬菜栽培的环境

保护地蔬菜栽培是一种在密闭的人工环境下, 受强烈人为作用的土地利用方式, 它对于克服农业生产受低温、干旱, 无霜期短等不利因素的影响具有特殊意义。

1.1 土壤温度、湿度状况

保护地塑料大棚的建立形成了一个相对封闭的环境, 太阳光可以进入大棚内, 但是棚内空气与大气的交流扩散被阻止, 因而棚内气温、土温明显提高, 光照愈强则棚内气温、土温愈高。棚内水分主要来源于人为灌溉。由于灌溉频繁, 土壤长期保持湿润, 大部分时间土壤温度均高于棚外, 棚内气温、土温高, 土壤蒸发和植物蒸腾作用较露天栽培加剧。白天棚内大气湿度可达 80% 以上, 夜晚 90% 以上, 甚至达到饱和状态。其变化规律是: 棚温高、湿度低, 棚温低、湿度高, 空气相对湿度与温度呈现负相关, 与土壤温度呈正相关^[2]。

1.2 空气条件

保护地蔬菜栽培环境中气体组成和含量与露天菜地栽培有很大差异。CO₂ 气体含量明显降低并难以自然补充, 进而严重影响蔬菜的正常光合作用, 造成蔬菜产量减少, 品质下降。棚内有害气体聚集量增大, 对蔬菜生长产生直接危害, 主要有害气体有 NH₃, NO₂, SO₂ 等。这些均与大量施用化肥及施肥不当有直接关系。

1.3 土壤水分

保护地土壤由于有覆盖物, 其热量表现为冬、春季节温度高, 有利于作物生长。

它的水分来源主要是畦沟, 渗透或深层地下水随毛细管上升, 水分的损失主要是作物的蒸腾损失, 土壤蒸发损失很少。因此, 能在较长时间内保持一定水分含量状况, 而且还可以避免短时间的雨涝灾害, 但在作物生长旺盛阶段, 往往下层水分不能满足作物生长的需要。

由于保护地栽培一般采用沟灌, 通过横向渗透作用而浸润土壤, 避免了灌溉水或雨水冲击而引起的土壤板结, 保持了土壤的疏松状态, 因而透气性能好。另外, 塑料薄膜地面覆盖能使土壤团粒数量增加, 土壤结构性好。

2 保护地土壤养分变化

合理施肥是蔬菜优质高产的关键, 但在广大菜区并未引起重视, 仍然沿用“肥大水勤”、“肥随水走”, “一水一肥”的传统模式, 尤其是近年来化学肥料的施用量越来越高, 在一些地区, 氮肥用量已高达 3 000 kg/hm², 磷肥高达 995 kg/hm²^[3], 超过作物实际需求量的数倍。同时蔬菜生产灌水数量和频率通常也高于一般粮田。不仅造成肥料资源的大量浪费, 影响蔬菜的品质, 还会引起养分在土壤中累积, 对土壤、水体和大气等生态环境构成潜在威胁。

2.1 土壤有机质及全氮

有机肥是土壤有机质的重要来源, 由于很多生产者不重视有机肥的施用, 在用肥比重上, 有机肥大大降低, 取而代之的是大量化肥的施用。因此土壤有机质含量逐渐下降, 这不仅影响蔬菜的养分供应和养分吸收, 而且会造成菜田地力下降与破坏。如果进一步发展, 将会在相当长的时期内成为蔬菜栽培的重要土壤限制因素。薛继澄测定, 保护地蔬菜土壤有机质含量低于露天菜地土壤的 1~1.5 倍^[4], 是由于地膜覆盖的增温, 保墒作用, 改善了土壤理化性状, 增加了微生物活动, 从而加速了土壤中有有机质的分解。

2.2 土壤速效氮

正确的土壤氮素管理对维持作物产量和环境质量至关重要。与其它农作物相比蔬菜有需肥量大的特性, 相当一部分菜农为了追求高产, 在菜地施用的 N 肥远远超过蔬菜生长的需求量。土壤中的氮素是植物和微生物生长所需的最主要的营养元素, 可以转化成多种形态, 而且转化过程迅速。硝态氮是植物利用氮素的主要形态, 这一形态不易被土壤胶体吸附, 一旦氮肥施用过量, 就将产生淋失, 对环境造成污染。因此, 土壤中的硝态氮管理已经受到广泛关注。李文庆等研究表明, 土壤硝态氮过量累积导致地下水硝态氮污染, 土壤盐渍化, 肥料利用率下降, 氮氧化物等温室气体的大量释放, 蔬菜品质变劣等问题^[5]。在大棚内高温季节土壤水分蒸发强烈, 深层土壤硝态氮随水分上移, 导致大棚土壤硝态氮表聚现象增强。梁成华等人的研究表明大棚菜田土壤硝态氮积累迅速, 随着大棚使用年限的增加逐年提高^[6-7]。

在无公害蔬菜栽培中, 蔬菜硝酸盐含量超标倍受人们关注, 而土壤硝态氮含量高低与蔬菜品质的研究也在不断地深入。分析结果显示: 土壤硝态氮含量变幅为 3.16~42.8 mg/kg, 硝态氮占碱解 N 的比例在 3.93%~91.26%, 占碱解 N 平均含量的 39.93%。证明大棚土壤中有 1/3 多的有效氮是以硝态氮形式存在。硝态氮数量的多少取决于施用氮肥和有机肥的数量、有无作物生长、降雨等情况。显然, 较高的施氮和有机肥水平, 缺乏雨淋是大棚土壤硝态氮含量增加的主要原因。土壤硝态氮含量越高, 蔬菜体内积累硝酸盐的可能性越大。食用硝态氮含量高的蔬菜会危害人的健康。目前, 中国蔬菜播种面积达 1.97 × 10⁷ hm², 占全国农作物总面积的 12.74%^[8], 蔬菜生产中 N 肥用量大, 灌水数量和频率又高, 菜地土壤的硝态氮残留一直受到人们关注。古巧珍等通过大田长期定位施肥试验研究了土壤剖面硝态氮分布与累积, 表明长期单施化肥或 NK, NP, NPK 肥使土壤 NO₃⁻-N 大量积累, 部分 NO₃⁻-N 伴随水分, 通过土壤-植物系统而淋失。过量施用化肥, 容易使保护地 NO₃⁻ 离子大量剩余与迅速累积, 加速了土壤积盐和次生盐渍化^[9]。

2.3 土壤速效磷

土壤中速效 P 含量与大棚种植年限呈极显著正相关^[10]。这可能与菜农每季施用过磷酸钙、含磷复混肥、磷酸二氢铵、钙镁磷肥和有机肥等肥料及其在土壤中的固定释放机理有关。P 素在土壤中的变化则是一个相对稳定缓慢的过程, P 肥施入土壤后, 大部分转化为固定态^[11], 使磷的利用率较低, 土壤磷素

易于积累。同时,蔬菜作物大多需 N 和钾较多,而需磷较少。陈强寿、陆景陵报道每 1 hm^2 产 $75\,000 \text{ kg}$ 的番茄需要从土壤中吸收 $\text{N}238.5$, $\text{P}_2\text{O}_555.5$, $\text{K}_2\text{O}363.0 \text{ kg}$, 三者比例为 $1:0.21.7$, 又据沈火林报道,蔬菜吸磷仅比大田作物高 20% 。王朝辉对菜地和一般农田土壤速效 P 累积的差异研究结果表明: 200 cm 土层,大棚和露天菜地土壤速效 P 累积含量比农田高出 6.2 和 2.7 倍^[3]。磷素在土壤中富集,易造成养分失调,资源浪费,在离水源近或地下水位较高的地方,还有导致水体富营养化的危险^[12],因此,大棚蔬菜地应注意适当控制磷肥的施用量。P 肥多含有 Pb, Cd 等重金属元素,在大量施 P, 提高土壤供 P 水平的同时,也导致这些元素超标^[13]。

2.4 土壤速效钾

菜地土壤的钾素含量及供钾状况与一般粮田土壤相比,更具有特别的意义。因为蔬菜作物比粮食作物的需钾量大,且根系分布浅,吸钾能力相对较弱,钾作为“品质元素”,不仅能提高蔬菜的产量,更能改善蔬菜的品质。要想获得高产、优质、高效益的蔬菜生产,施用钾肥是必不可少的措施。

据郭文龙研究报道,土壤速效钾含量与棚龄呈一定的相关关系,速效钾富集在 400.0 mg/kg 时对茎叶生长最佳。在速效钾为 300.0 mg/kg 的日光温室,施用硫酸钾对番茄仍有增产作用。虽多数蔬菜需钾量大,蔬菜吸钾是大田作物的 1.92 倍。但菜农很少考虑土壤实际含钾水平而超常规使用钾肥,尤其是含钾量高的复合肥(如钾宝)和硫酸钾,所以,大棚补钾也应适可而止,降低化学钾肥用量,增加秸秆肥的用量。

大棚蔬菜土壤中有效钾的含量明显高于露天菜地土壤。辽宁省的研究结果表明,大部分土壤中的有效钾增加,增加的幅度在 $60\% \sim 150\%$ 之间,一些土壤则减少。山东的研究报道,山东大棚蔬菜土壤中有效钾具有积累效应,随种植年限的延长土壤中有效钾不断增加^[14]。

2.5 菜地土壤交换性钙镁的变化

交换性 Ca 和 Mg 是土壤中主要的盐基离子,虽然在土壤中的含量主要受成土母质及土壤形成过程中 Ca 和 Mg 优先吸持作用的影响,但是植物类型和施肥、灌溉等农田管理措施对 Ca, Mg 元素的组成也会产生较大影响,作物对 Ca, Mg 的吸收利用与其在土壤中的交换性含量有很好的相关关系,土壤交换性 Ca/Mg 比值的大小不仅可反映土壤生态过程的变化及 Ca 和 Mg 的生物有效性,还会对 K 等其它养分的生物有效性产生比较大的影响,蔬菜保护地常常处于半封闭的状态下,与露天菜地土壤相比,蔬菜保护地

土壤中交换性 Ca 含量和 Ca/Mg 比值总体呈现下降的趋势,交换性 Mg 含量总体呈上升趋势。交换性 Ca 含量下降的主要原因是随蔬菜输出到系统外的 Ca 量相对较多,含钙肥料施用量减少及土壤 pH 下降,交换性 Mg 含量上升的主要原因是土壤中适宜酸碱度范围($\text{pH}5.0 \sim 6.5$)有利于 Mg 以交换性形态存在,土壤中高浓度的 Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ 抑制了蔬菜对 Mg^{2+} 的选择性吸收^[15]。

3 土壤酸碱度

薛继澄研究报道,随着大棚种植年限增加,土壤 pH 逐渐降低。关于土壤 pH 降低现象出现的原因,目前报道屡见不鲜。首先是受施肥的影响。近年来,各种复合肥大量施用,除少量追肥用尿素外,大多数基肥均为复合肥,这些复合肥主要由过磷酸钙、氯化钾、硫酸铵等生理酸性肥料配制而成。当 N, P, K 等主要营养元素被作物吸收以后,在土壤中残留下 SO_4^{2-} , Cl^- 等酸根,促使了土壤的酸化作用。另外,使用未腐熟的有机肥或人粪尿,在腐熟与分解过程中产生各种有机酸,也加速了土壤的酸化。同时,一些硫化物、硝酸盐和无机盐残存在土壤中,造成土壤盐化。由于保护地内外气体流通受到限制,保护地内氧气不足,土壤含氧量下降,根系呼出的二氧化碳积累在土壤中与水形成碳酸,导致土壤酸度的增加。pH 值的下降可能会增加土壤溶液中 Ca^{2+} , Mg^{2+} 的淋溶,导致交换性 Ca^{2+} , Mg^{2+} 量的减少,而 Ca^{2+} , Mg^{2+} 的淋溶又可能导致土壤 pH 值继续下降^[16]。

4 土壤物理和生物性质

保护地土壤由于人为改变了自然状态下水盐平衡,季节性或常年覆盖,土壤得不到雨水的淋洗,土壤理化性质和生物性质发生变化。据薛继澄研究,随着种植年限延长,土壤的团粒结构受到破坏,形成板结层,大孔隙减少,透水性和蓄水性变差,同时盐分不能渗透到土壤深层,而随着毛细管作用上升到土壤耕层,使耕层理化性状变劣,对肥水的保持力下降,使耕层的理化性质变劣。

土壤微生物区系测定结果^[17]:细菌和真菌数量是大棚 > 温室 > 露天菜地,放线菌数量则是大棚 > 露天菜地 > 温室。真菌中的非病源性腐生性青霉、曲霉等为主。因此,真菌引起的病害,并不是温室、大棚土壤特有障碍因子。微生物活性的变化规律与微生物总量相一致,大棚土壤微生物活性最高,温室次之,露天菜地最弱。温室、大棚土壤中硝化细菌和反硝化细菌数量比露天菜地高,并有一定的 NO_3^- 和 NO_2^- 积

累。Chapman 曾指出, 旱田 0~20 cm 表土内含有 NO_3^- 90 mg/kg, 对大麦、蚕豆、番茄均有显著毒害作用^[18]。温室、大棚 NO_2^- 积累远远超过这一数量, 可能是造成蔬菜生长受抑制的重要原因之一。

5 保护地土壤盐渍化

5.1 保护地类型影响土壤盐渍化

不同年限的温室土壤盐分含量是不同的, 其基本趋势是: 随着棚龄的延长, 土壤总盐量不断增加并逐步向表层积累。据研究, 栽培了 5 a 的大棚土壤, 表层盐分含量比露天菜地增加了 4~5 倍^[19], 山东李文庆的研究结果表明, 大棚种植 1 a 与 3 a 的土壤全盐量均比附近大田高, 且大棚种植了 3 a 后土壤可溶性盐分总量比大棚种植 1 a 的高。即使用年限长的大棚 > 使用年限短的大棚 > 棚外蔬菜地 > 棚外大田。

5.2 保护地土壤盐渍化的危害

土壤中的盐分可抑制土壤微生物的活动, 影响土壤养分的有效化过程, 从而间接影响土壤对作物的养分供应。随着土壤含盐量的增加, 首先抑制土壤微生物活动, 降低土壤中硝化细菌、磷细菌和磷酶的活性, 从而使氮的氨化和硝化作用受抑制^[20], 土壤有效磷含量减少, 硫酸铵和尿素中氮的挥发也随之增加, 而氯化物盐类能显著地抑制硝化作用。如当土壤中 NaCl 含量达到 2.0 g/kg 时, 氨化作用大为降低, 达到 10 g/kg 时氨化作用几乎完全被抑制, 硝化细菌对盐类的危害更敏感。

作物所需的养分一般都是伴随水分进入植物体内, 盐分过多, 影响作物吸收水分, 因此也影响作物对养分的吸收, 同时, Cl^- 和 Na^+ 大量存在, 还能抑制 Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} 等离子进入植物体内, 破坏植物体内的矿质营养过程, 使植物的营养状况失去平衡^[21]。土壤盐渍化可以阻碍植物对氮素的吸收, 降低植物体内氨基酸和蛋白质的合成, 使植物生长受到抑制。 Cl^- 与 NO_3^- 的拮抗作用影响植物正常的氮素吸收与同化, 因而造成产量损失; Cl^- 与 H_2PO_4^- 的拮抗可以抑制马铃薯根系对磷素的吸收, 并阻碍 H_2PO_4^- 从根部向上部运输^[22]。

某些离子对作物有直接的毒害作用, 如 Cl^- 可使作物体内的叶绿素含量降低, 使蔬菜淀粉及糖分降低, 品质变劣, 降低产量。天津的程奕通过盆栽试验对几种蔬菜的耐氯能力进行了研究^[23], 结果发现, 高氯浓度使西红柿生长受到抑制, 对产量有较大的影响, 产量与土壤离子相关系数为 -0.986 2。过量氯离子还会残留在土壤, 毒害根系或引起土壤板结, 增加土壤盐分。过量氯离子的存在, 可抑制酶的代谢作

用。 Na^+ 浓度过高还能使作物的叶片边缘枯焦, 造成“生理灼伤”现象。

土壤盐渍化, 还会对周围生态环境造成不良影响。进入到土壤中的离子, 除去被作物吸收部分以外, 一部分可以随着灌溉和雨水淋溶到深层土壤或地下水中, 对地下水造成污染。人体摄入的硝酸盐在细菌作用下可还原成亚硝酸盐, 亚硝酸盐可与人和动物摄取的胺类物质在胃腔中形成强力致癌物——亚硝胺, 从而诱发消化系统癌变, 危害人类自身的健康。

保护地土壤随着种植时间的延长, 会出现土壤理化性状变劣问题, 养分平衡问题, 土壤酸化问题, 土壤盐渍化问题。这些问题将会严重影响蔬菜的产量和品质。因此, 今后应注重对保护地土壤性质演变机理的研究, 以便从根本上为治理保护地土壤障碍因素提供理论依据。

[参 考 文 献]

- [1] 秦巧燕, 贾陈忠, 曲东, 等. 我国设施农业发展现状及施肥特点[J]. 湖北农学院学报, 2002, 22(4): 373—376.
- [2] 黄锦法. 稻麦轮作改为保护地菜田土壤肥力质量的演变[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 19—25.
- [3] 王朝辉, 宗志强, 李生秀. 菜地和一般农田土壤养分累积的差异[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1091—1094.
- [4] 薛继澄. 保护地栽培蔬菜生理障碍因子及对策[J]. 土壤肥料, 1994(1): 4—9.
- [5] 李文庆, 张民, 李海峰. 大棚土壤硝酸盐状况研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 283—287.
- [6] 梁成华. 蔬菜大棚土壤肥力特征及其调控研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1996(3): 15—17.
- [7] 杨丽娟, 张玉龙. 保护地菜田土壤硝酸盐积累及其调控措施的研究进展[J]. 土壤通报, 2001, 32(2): 66—69.
- [8] 中国农业年鉴编辑委员会编. 中国农业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [9] 张维理, 田哲旭, 张宁, 等. 我国北方农田氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 8—15.
- [10] 郭文龙, 党菊香, 吕家珑, 等. 不同年限蔬菜大棚土壤性质演变与施肥问题的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 85—89.
- [11] 张强, 陈明昌. 磷肥在石灰性土壤中的固定及其肥效演变[J]. 山西农业科学, 1994, 22(2): 48—50.
- [12] 吕家珑. 农田磷素淋溶趋势及预测[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2689—2701.
- [13] Song F, Guo Y-W, Liu Y, et al. Pollution of cadmium, zinc and lead in brown earth [J]. Journal of Environmental Sciences, 1996, 16(4): 431—436.
- [14] 刘兆辉, 李晓林. 保护地土壤养分特点[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 206—208.

- [15] 姜勇, 张玉革, 梁文举. 沈阳市郊区蔬菜保护地土壤交换性钙镁含量及钙镁比值的变化[J]. 农村生态环境, 2004, 20(3): 24—27.
- [16] Chang C. Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure[J]. J. Environ Qual. 1991, 20: 475—480.
- [17] 薛继澄, 毕德义, 李家全, 等. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因素与对策[J]. 土壤肥料, 1994(1): 5—9.
- [18] 岛田永生. 蔬菜营养生理与土壤[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1982.
- [19] 李文庆. 大棚栽培后土壤盐分的变化[J]. 土壤, 1995(4): 203—205.
- [20] 侯云霞, 钱光熹, 王建民, 等. 上海蔬菜保护地的土壤盐分状况[J]. 上海农业学报, 1987, 3(4): 31—38.
- [21] 李海云, 王秀峰, 邢禹贤. 设施土壤盐分积累及防治措施研究进展[J]. 山东农业大学学报, 2001, 32(4): 535—538.
- [22] 唐泳, 梁成华, 刘志恒, 等. 日光温室蔬菜栽培对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1999, 30(1): 11, 16—19.
- [23] 程奕, 张仲国, 李玉华. 蔬菜耐氯的研究[J]. 天津农业科学, 1996, 2(2): 29—32.

(上接第 131 页)

- [13] 何池全. 湿地植物生态过程理论及其应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003. 7—55.
- [14] 李清平, 崔玉兰. 黄河侧渗补给浅层地下水实验研究[J]. 水文, 2004, 24(2): 26—30.
- [15] 夏东兴, 武桂秋, 杨鸣. 山东省海洋灾害研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1999. 9—22.
- [16] 张绪良, 于冬梅, 丰爱萍, 等. 莱州湾南岸滨海湿地的退化及其生态恢复和重建对策[J]. 海洋科学, 2004, 28(7): 49—53.
- [17] Reed D J. The Response of Coastal Marshes to sealevel Rise: Survival or Submergence? [J]. Earth Surface Process and Landform, 1995, 20(1): 56—64.
- [18] 邓慧平, 刘厚凤, 李爱贞. 莱州湾地区水资源问题与对策分析[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 81—83.
- [19] 韩美, 张维英, 李艳红, 等. 莱州湾南平原古湖泊的形成与演变[J]. 地理科学, 2002, 22(4): 430—435.

(上接第 135 页)

因此, 根据所收集的数据, 运用小流域可持续经营评价方法, 参考有关专家依据各种影响因素建立的小流域生态经济系统警戒标准, 快速全面地对小流域可持续经营作出评价, 建立起可持续经营的预警系统, 以便及时采取对策和措施, 使小流域自然—经济—社会复合生态系统能在安全区间内运行。

综上所述, 小流域可持续经营评价旨在寻求可操作的和量化的方法, 用来分析小流域可持续经营战略实施的进展和效果, 以便更好地指导小流域可持续经营的具体实践。因此, 小流域可持续经营评价对于地方各级政府、决策部门在推进可持续发展的进程中都是不可缺少的政策性工具, 也是小流域民众参与可持续发展的重要信息来源。

[参 考 文 献]

- [1] Brook Field H C. Environmental Sustainability with Devel-

opments Extracts from a speech at the EAPL General Conference[C]. Development. 1991.

- [2] 叶文虎, 栾胜基. 论可持续发展的衡量与指标体系[J]. 世界环境, 1996(1): 7—10.
- [3] 王礼先. 面向 21 世纪的小流域综合治理[J]. 北京林业大学学报, 1997, 19(4): 100—102.
- [4] 王礼先, 等. 中国大百科全书水利卷水土保持分支[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1992.
- [5] 王礼先. 小流域综合治理的概念与原则[J]. 中国水土保持, 2006(2): 16—17.
- [6] James D E, et al. Economic approaches to environmental problem[M]. Elsevier Scientific Publi. Com. 1978.
- [7] 曹利军, 王华东, 海热提. 论可持续发展的基本组织单元和层次体系[J]. 中国人口资源与环境, 1996, 6(4): 19—22.
- [8] 潘存德. 实践可持续发展的空间系统途径[J]. 北京林业大学学报, 1994, 16(增刊): 23—27.