

贵州农业土壤氮素流失对环境的影响及防治对策*

范菲菲^{1,2} 范成五^{1,2} 秦松^{1,2#}

(1. 贵州省土壤肥料研究所, 贵州省农业资源与环境研究所, 贵州 贵阳 550006;

2. 农业部贵州耕地保育与农业环境科学观测实验站, 贵州 贵阳 550006)

摘要 氮是引起水体富营养化的主要因子之一, 国内外学者对氮素损失的途径、机制、影响以及防治措施进行了许多研究。在总结贵州农业土壤氮素含量特点的基础上, 阐述了土壤氮素流失特征及其对环境的影响, 提出了相应的防治措施, 以期减少农田氮素损失、优化农业非点源污染管理与控制提供参考。

关键词 土壤 氮素 影响 防治 贵州

氮是植物生长所必需的营养元素, 施用氮肥是补给土壤氮素和维持土地生产力的主要措施, 是土壤矿质氮的主要来源, 但长期过量的施用氮肥会造成土壤氮素的大量盈余, 降低氮肥的增产效率和利用率, 并给环境带来巨大压力, 农田中过量氮素通过 NH_3 挥发、硝化/反硝化、淋溶损失、径流损失、吸附和侵蚀等方式从土壤-农作物系统中损失, 造成河流、湖泊等周边水体环境的富营养化污染程度加剧^[1-5], 引起土壤中硝态氮的大量累积。硝态氮是氮素淋溶的主要形式, 向土壤深层和地下水中的淋溶不但导致了土壤肥力的下降, 而且污染了地下水, 对人体健康带来了严重威胁。贵州是全国唯一没有平原支撑的喀斯特山地省, 全省有81.02%的耕地分布在大于6°的坡地上, 其中坡度大于25°的耕地有69.18万 hm^2 , 占总耕地的19.80%, 而坡度在35°以上的耕地有28.18万 hm^2 , 占总耕地的5.74%^[6]。高比例的坡耕地造成严重的水土流失, 引起土壤氮素的大量流失, 环境风险较高, 对两江上游生态屏障构成威胁。为此, 本研究根据贵州农业土壤氮素流失特征及其对环境的影响, 提出贵州农业土壤氮素流失的防治措施, 从而为有效减少农田氮素损失、优化农业非点源污染管理与控制提供参考。

1 贵州农业土壤中氮素的含量及流失特征

贵州土壤面积为15.91万 km^2 , 占全省土地面积的90.4%, 土壤的地带性属中亚热带常绿阔叶林红壤-黄壤地带。贵州中部及东部广大地区为湿润性常绿阔叶林带, 以黄壤为主; 西南部为偏干性常绿阔叶林带, 以红壤为主; 西北部为具北亚热带成分的常绿阔叶林带, 多为黄棕壤。此外, 还有受母岩制约的

石灰土和紫色土、水稻土、棕壤等土类。可用于农、林、牧业的土壤仅占全省总面积的83.7%。

1.1 贵州不同类型土壤中氮素的含量特征

黄壤是贵州分布最广、面积最大的地带性土壤, 面积达738.37万 hm^2 。在黔东和黔中主要分布在海拔500~1400 m的地带, 而西部则分布在海拔1000~1900 m的地带。黄壤中全氮量平均为2.95 g/kg, 但矿化率低, 供氮能力不高。

红壤面积为114.59万 hm^2 , 其中耕地面积为11.88万 hm^2 , 占全省耕地面积的4.6%。主要分布在黔东海拔500~600 m以下的地区, 以及南部800(东段)~1000 m(西段)以下的地区。红壤表土层全氮量平均为1.72 g/kg, 其中自然土为1.95 g/kg, 耕地为1.35 g/kg。

黄棕壤主要分布在西部的威宁、赫章、纳雍、毕节、水城、盘县等县(市), 主要分布在海拔1800 m的地区或1900~2500 m的高寒地区, 在黔中、黔东1400~1500 m以上的山地也有分布。其面积为98.64万 hm^2 , 其中耕地面积为26.63万 hm^2 , 占全省耕地面积的10.3%。黄棕壤中全氮量可高达6.0~10.0 g/kg, 但因有机质的C/N高, 加上气温低, 土壤的酸度大, 有机氮矿化作用弱, 有效氮仍较缺乏。

石灰土主要分布在贵州中部的黄壤地带, 常与黄壤交错分布, 在东部和南部低海拔的河谷地区以及西部的高寒地区, 面积达278.56万 hm^2 。石灰土地区氮素丰富, 磷、钾往往不足, 自然土中全氮量为2.0~4.0 g/kg, 耕地中全氮量为1.6~2.5 g/kg, 且C/N较低, 故供氮潜力较高。

紫色土与石灰土一样, 也是深受母岩影响的岩性土。贵州的紫色土面积为88.67万 hm^2 , 全氮量

第一作者: 范菲菲, 女, 1986年生, 硕士, 研究实习员, 主要从事土壤肥料及农业资源利用研究。* 通讯作者。

* 贵州省科技计划项目(黔科合农G字[2009]4001号、黔科合院所创能[2011]4002号)。

普遍低于地带性土壤。据统计,全氮量平均为 1.34 g/kg。

水稻土是贵州的主要耕地土壤,面积为 155.02 万 hm^2 。广泛分布于全省各地,其中 92.8% 分布在海拔 1 400 m 以下的地区,分布上限海拔可达 2 300 m。全氮含量较高,全氮量平均为 2.37 g/kg,其中大于 2.2 g/kg 的占 54.0%,1.0~2.0 g/kg 的占 41.0%,小于 1.0 g/kg 的占 5.0%^[7]。

1.2 贵州农业土壤中氮素的流失特征

1.2.1 不同土地利用方式下土壤氮素流失特征

贵州西部喀斯特石漠化地区土壤氮素变异特征表明,在气候、植被、母岩等相对一致条件下,土壤中氮素流失情况表现为茂密灌草地<农用地<草地<退耕弃荒地,其中退耕弃荒地土壤中氮素流失量分别高出草地、农用地、茂密灌草地 32.0%、47.0%、64.0%。这表明茂密灌草地小范围内生态环境较好,植物生长量较大,能有效地减弱雨水对土壤的侵蚀,有利于氮素的积累,氮素流失量较少;农用地由于常年的农事活动以及农作物收获过程中人为的不断破坏,造成土壤中氮素的大量损失;草地植物生长量较小,植被覆盖面积较少,使得土壤中氮素流失加剧;而退耕弃荒地土壤缺乏植被覆盖和人为有机肥的补足,区域雨量较为集中,土壤侵蚀变得更为严重,使土壤中氮素大量流失^[8]。

1.2.2 不同类型植被覆盖条件下土壤氮素流失特征

涂成龙等^[9]研究表明,不同类型植被覆盖条件下土壤氮素含量的排列顺序为茂密灌草地>稀疏乔灌木>草被>稀疏灌草丛>无植被(裸土)。其中,茂密灌草地覆盖条件下土壤氮素含量分别高出稀疏乔灌木、草被、稀疏灌草丛、无植被(裸土) 43.0%、53.0%、55.0%和 77.0%。说明土壤氮素含量随着植被的演替呈现逐渐下降的趋势,植被覆盖度与土壤中氮素流失量呈负相关关系。张兴昌等^[10]研究了 17 种植被覆盖对氮素流失的影响,指出土壤氮素特别是有机态氮流失实际上是坡面径流与土壤氮素相互作用结果,当植被覆盖度增大时,植被根系固着土壤能力加强,使得土壤颗粒流失量减少,从而减少了土壤氮素的损失。

1.2.3 不同耕作方式下土壤氮素流失特征

耕作方式对农田土壤水土流失和氮素淋溶损失有较大影响。不同耕作方式在不同程度上改变了土壤的空间结构和水肥状况,为农作物生长创造了不同的土壤环境,改变了土壤水分运动和农田氮素的迁移转化过程,进而对农作物产量、肥料和土壤水分

利用率产生不同影响。袁东海等^[11]采用径流小区法研究了 6 种耕作方式下土壤氮素的流失特征,发现与顺坡耕作方式相比,其他耕作方式均有明显控制土壤氮素流失的作用,等高耕种、等高土埂、休闲等耕作方式控制土壤氮素流失优于水平沟和水平槽带耕作方式,具体表现为:等高耕种耕作方式氮素流失分别低于水平沟和水平槽带耕作方式 10.2%和 11.7%;等高土埂耕作方式氮素流失分别低于水平沟和水平槽带耕作方式 16.7%和 13.4%;休闲耕作方式氮素流失分别低于水平沟和水平槽带耕作方式 8.6%和 9.3%。

1.2.4 施用不同种类氮肥下土壤氮素流失特征

周志华等^[12]研究表明,硝酸铵最易增加径流中氮的含量,施用尿素较硝酸铵能显著降低径流中氮的流失量,施用尿素所降低的氮流失量是施用硝酸铵的近 3 倍。因此,在水土流失严重的坡耕地上种植农作物时,应尽量选择尿素这一类的氮肥。并且,在普通氮肥中配施尿酶抑制剂、硝化抑制剂可明显延缓氮在土壤中的转化速率,降低土壤中硝态氮含量,减少硝态氮的流失。

1.2.5 喀斯特石漠化地区氮素流失特征

随着喀斯特石漠化的发展,喀斯特土壤受到侵蚀,其富含有机质的表层土壤流失,良好的土壤结构迅速破坏,土壤肥力急剧下降,植物种类和生物量减少,进入土壤的植物残体减少,加上植被覆盖率的下降,土壤抵抗雨水侵蚀能力减弱,导致土壤全氮含量随之急剧减少。表现为:贵州东、西、中部石漠化地区的无石漠化林地土壤全氮含量远远高于草地、农用地、退耕还草地等石漠化土壤全氮含量。同时,由于人为耕种补充了肥源和施用了农用化肥,使得贵州东、西、中部石漠化地区的土壤全氮含量随着农用地→草地→退耕还草地的变化而减少。而由于气候条件的差异,西部气温较低,南部气温较高,中部和东部则介于两者之间,造成贵州不同地区的石漠化林地土壤全氮含量变化表现为西部>中部>东部>南部^[13]。

2 贵州农业土壤氮素流失对环境的影响

土壤氮素流失对环境的污染是一种非点源污染,对环境污染的途径有三:一是流失的土壤氮素特别是硝态氮对河流和地下水的污染;二是富集在水体和土壤中氮素的反硝化过程所产生的 NO_x 对大气的污染;三是降雨和地表径流所造成的土壤氮素流失对土壤环境的污染。

2.1 贵州农业土壤氮素流失对水质的影响

据《世界资源报告》报道,由于农田氮肥施用量的增加,世界范围内地表水和地下水中氮化合物的含量都呈不同程度的增加趋势^[14]。有研究表明,贵阳市红枫湖和百花湖中约有70%的氮来源于农田土壤中氮的淋失和地表径流,从而引起湖泊发生水体富营养化现象。自1994年以来黔中深水湖泊——百花湖频发季节性水质恶化事件,水质由初期的Ⅱ类变为Ⅲ~Ⅴ类,对此事件研究的结果为:百花湖在夏季出现水温“弱”分层结构,限制上下水体的垂直交换,水体水化学性质(如溶解氧)在垂向上表现为上层富氧、下层厌氧;富营养化程度较高的百花湖,初级生产力较高,大量浮游植物进入水库下层厌氧分解,产生大量还原性有毒物质;秋季突然降温导致水体分层结构失稳,上下水团交替过程中垂直交替上迁的还原物质(如 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 和硫化物等)在上层水体中被氧化,水体的溶解氧骤降,氧化过程的颗粒态产物使水体外观显得浑浊、混黑,从而周期性发生季节性的类似“黑潮-鱼虾死亡”等水质恶化事件^[15]。

2.2 贵州农业土壤氮素流失对大气环境的影响

土壤氮素的流失引起大气污染,主要有 NH_3 的挥发以及反硝化过程中生成的 NO_x (包括 N_2O 和 NO 等)。 N_2O 具有吸收红外线和减少地表热辐射向外扩散的特性而成为几种主要的温室气体之一,大气中的 N_2O 浓度每增加1倍将导致同温层 O_3 减少10.0%,从而使紫外线向地球辐射增加20.0%^[16]。葛鑫等^[17]的研究发现,在我国,尤其是南方,稻田面积大,氮肥施用量大,降雨多,发生反硝化作用的区域大,生成的 NO_x 会扩散到大气层中从而对同温层 O_3 含量减少产生影响。据报道,氮肥的类型、施用量、施肥方式和施肥时间都会影响农田土壤 N_2O 排放。李楠^[18]的研究指出,小麦田排放 N_2O 的速率不完全取决于土壤的含氮水平,而与农作物对氮素的利用有关,过量施肥导致 N_2O 排放速率增加。

2.3 贵州农业土壤氮素流失对土壤环境的影响

土壤氮素流失是溶解于径流中的矿质氮或吸附于泥沙颗粒表面以无机态和有机质形式存在的氮随径流流失。地表径流可以将农作物未利用的氮带出农田,并污染周边环境。在未施用肥料的情况下,地表径流造成的氮损失主要是颗粒态氮,占径流中氮的96.0%以上。施用碳铵后,径流中溶解态氮浓度占总氮浓度的35.0%以上。过量施用氮肥增加了硝态氮在土壤中的累积,且这些硝态氮因降雨或灌溉的作用而向下层土壤移动,造成硝态氮的淋失,使

得土壤肥力下降。同时,土壤中氮素的大量流失导致土壤矿质养分失调,降低了土壤的C/N,加速了土壤有机质的分解,引起土壤理化、生物学性质变坏。例如, NH_4^+ 进入土壤后,在其硝化作用过程中产生 H^+ ,使土壤逐渐酸化; NH_4^+ 能够置换出土壤胶体微粒上联结的 Ca^{2+} ,造成土壤颗粒分散,从而破坏土壤团粒结构^[19]。

3 贵州农业土壤氮素流失的防治措施

3.1 实施生态农业政策

为了控制氮肥对生态环境的污染,政府应制定切实可行的生态农业政策,限制氮肥用量,鼓励农民减少氮肥以及从事与此有关的综合农业经营项目,以维持良好的生态环境。例如,湄潭县经过生态农业示范区建设,全县生态环境质量明显提高,森林覆盖率达50.56%;产业结构趋于合理,形成了茶、米、油、畜为主的绿色、无公害特色食品生产基地群;大力发展无公害蔬菜,推广免耕技术、秸秆还田,削减化肥用量、增施有机肥,使得氮肥流失量大大减少,显著改善了农业生产条件;并且“养殖-沼气-种植-加工”四位一体的生态农业模式成效显著。

3.2 优化氮肥管理

3.2.1 选择适宜的氮肥品种

由于受石漠化地区特殊的生态条件影响,贵州东部土壤有机质和氮素水平整体较低,主要原因是贵州喀斯特石漠化地区受地貌、降雨等自然因素的影响,加之人为因素的诱导,土壤跑水跑肥,氮素流失较为严重。而硝酸铵最易增加径流中氮素的含量,尿素可显著减少径流中氮的流失量。因此,在水土流失严重的坡耕地上种植农作物时,应尽量选择尿素一类的氮肥。同时,确定氮肥的适宜施用量,将氮肥用量控制在能获得最高经济效益的范围内。

3.2.2 控制氮肥用量,优化施肥比例

目前我国氮肥用量仍处在不断增加时期,据统计,1998年我国约有14个省(市)的施氮量超过国际上公认的上限(225 kg/hm^2),其中湖北、福建、广东、江苏、上海、浙江、北京、湖南等8个省(市)的平均施氮量已超过 300 kg/hm^2 ^[20]。众多的研究表明,施氮量与氮素利用率存在显著的负相关关系,过多的施氮并不能增加更多的产量,而是浪费了大量肥料,污染了环境,因此控制氮肥用量,精确施氮已势在必行。周维佳等^[21]的研究表明,在贵州杂交水稻高产栽培中,用50.0%氮肥作底肥,在插秧后5d第1次施穗肥25.0%,第2次在分蘖末期施穗肥

15.0%,第3次在始穗期施粒肥10.0%,产量最高,氮肥利用率明显提高。

3.2.3 根据农作物生育期需肥特点合理运筹

不同类型农作物其生育规律不同,需肥规律也不相同。就某一农作物而言,不同的氮肥运筹方式其氮肥利用率是不同的。朱兆民^[22]研究了水稻氮肥分次施用对肥料效果的影响,结果表明,分3次施肥(基肥、分蘖期追肥和穗分化期追肥)的氮肥利用率(49.6%)显著高于分2次施肥(基肥、分蘖期追肥为42.5%)和一次性施肥(基肥为38.7%)的氮肥利用率。周维佳等^[23]研究表明,水稻基施氮素,则利用率为22.0%~40.0%;而穗分化期追施氮素,则利用率为55.0%~65.0%。可见,根据农作物生育期需肥特点,尽可能在农作物需肥高峰期投入肥料,使养分最大限度地被农作物吸收,可显著提高氮肥利用率,减少氮素流失。

3.2.4 氮肥深施

氮肥深施能增强土壤对 NH_4^+ 的吸附作用,减少 NH_3 的直接挥发、随水流失以及硝化淋失和反硝化脱氮损失,提高氮肥利用率。就水稻而言^[24],氮肥深施10~15 cm较适宜,因氨态氮肥深施至10 cm左右后,只有极少量的 NH_4^+ 向上或向下移动,保证了 NH_4^+ 在中层土壤中最多、下层次之、上层最少的分布规律,使得氮肥深施比表施增稻谷23.3~39.3 kg,增产率为4.2%~7.1%;氮肥利用率为53.4%~58.0%,比表施利用率提高42.8%~55.1%。同时,还必须掌握早稻稍浅、晚稻略深,早熟品种宜浅、晚稻品种宜深,沙质土宜浅、粘质土宜深等原则,使氮肥深施发挥最大效果。

3.2.5 氮肥与磷、钾肥及有机肥配合,平衡施肥

农作物的正常生长发育需要氮、磷、钾等多种营养元素的协调供应,由于我国土壤长期大量的氮肥投入,而磷、钾肥的施用相应不足,农作物养分供应不均匀,明显影响了农作物的生长和氮肥肥效的发挥。众多的研究表明,氮肥与其他肥料配施可显著促进农作物高产、稳产,提高氮肥利用率。张文安等^[25]对采用不同施肥方式贵州黄壤旱地玉米产量的研究表明,黄壤旱地玉米1.0 kg单施氮肥的增产量平均为16.0 kg,氮、磷、钾肥配合施用比单施氮肥增产2.4 kg,平均提高16.22%,氮肥利用率显著提高。

3.2.6 实施节水灌溉

氮素的淋失总是伴随着水分向下移动,以产量经济效益和环境综合效益为目标,优化水肥管理,使肥料与灌溉的分配与农作物生理需求同步,从而有

效减少氮素淋失量。在满足农作物正常生长对水分需求的前提下,实施节水灌溉,可以调控氮素在土壤中的迁移转化过程,既有利于农作物对氮肥的吸收利用,减小因地表排水和地下渗水而引起的氮素损失,又能有效降低因农田氮素淋溶损失对环境产生的污染^[26]。王朝辉等^[27]通过温室培养试验指出,在不同生长期缺水及分蘖期补充灌水均能显著降低冬小麦的氮素吸收,增加矿质态氮的土壤残留,越冬、拔节、灌浆期补充灌水可显著提高冬小麦对土壤氮素的吸收能力,不同程度地降低氮素残留。节水灌溉增强了农作物对深层土壤氮素的吸收和利用能力,有利于截获前季淋溶到深层土壤中的氮,从而减少氮损失。

3.3 施用缓释/控释肥料

现有大规模生产的商品氮肥,均属于水溶而速效,施用时在土壤溶液中的浓度高、活性大、变化快,可随水流失,从而使农作物在生长过程中实际吸收的量较少,利用率不高。而根据土壤性质和不同农作物生长特点合理施用不同的缓释/控释肥料,可以满足农作物生长发育的养分需要,最大限度地提高肥料的肥效,同时也降低过量施用常规氮肥而引起的养分损失,从而达到既提高氮肥利用率又减小农田氮素淋溶损失的效果。据报道,施用控释/缓释肥料可使氮肥利用率达60.0%~80.0%,在达到相同农作物产量的情况下,可降低施肥量10.0%~50.0%。这类肥料由于利用率高,可以减少肥料用量及减少溶淋损失,减轻 NO_3^- -N对地下水的污染。因此,贵州可在高效农业和高值农业上大力推广、使用缓释/控释肥料。

3.4 改善土地利用方式,建立合理耕作制度,防止土壤侵蚀

从宏观上来看,农田氮素流失是造成农业非点源污染的主要原因之一,其中土壤氮素渗漏淋溶损失是导致地下水环境污染的直接原因。所以,根据不同地区特点采用适宜的土地利用方式,是控制农田氮素淋溶损失的有效途径。贵州具有我国典型的喀斯特地形地貌,碳酸盐岩出露面积达10.90万 km^2 ,岩石裸露面积大,在农耕区水土流失特别严重,农产品产出率低。因此,应大力推广少耕或免耕、合理间套轮作、大力发展冬季农业等保持地表良好植被覆盖的保护性措施,防止土壤侵蚀作用而引起农田氮素等营养盐的大量流失^[28]。

3.5 对农田径流水的处理

农田径流水是氮素损失的一个重要途径。农田

径流可收集用作农田回灌,使养分最大限度在农田系统内循环。目前贵州已经采用一些生态工程的方法,如在河岸和湖滨建立绿化区、缓冲带、人工湿地系统等方式,使径流减低流速,增加溶解态的污染物被土壤吸附或被植物吸收的机会,以减少氮素的流失。

参考文献:

- [1] 朱兆良,文启孝.中国土壤氮素[M].南京:江苏科学技术出版社,1992:213-249.
- [2] 徐玉宏.氮肥污染与防治[J].环境污染与防治,2002,24(3):174-175.
- [3] 程波,张泽,陈凌,等.太湖水体富营养化与流域农业面源污染的控制[J].农业环境科学学报,2005,24(增刊):118-124.
- [4] ZHANG W L, TIAN Z X, ZHANG N, et al. Nitrate pollution of groundwater in northern China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1996, 59(3): 223-231.
- [5] 刘宏斌,李志宏,张云贵,等.北京平原农区地下水硝酸盐污染状况及其影响因素研究[J].土壤学报,2006,43(3):405-413.
- [6] 林昌虎,解德蕴,涂成龙,等.贵州山区坡耕地综合利用与整治[J].水土保持研究,2004,11(3):211-213.
- [7] 吕耀.农业生态系统中氮素造成的非点源污染[J].农业环境保护,1998,17(1):35-39.
- [8] 林昌虎,涂成龙,陆晓辉,等.贵州西部喀斯特石漠化地区退耕弃荒地土壤氮素变异特征[J].水土保持学报,2005,19(4):14-18.
- [9] 涂成龙,林昌虎,何腾兵.贵州喀斯特环境特征与石漠化的形成[J].水土保持研究,2006,13(1):220-223.
- [10] 张兴昌,邵明安,黄占斌,等.不同植被对土壤侵蚀和氮素流失的影响[J].生态学报,2000,20(6):1038-1044.
- [11] 袁东海,王兆骞,陈欣,等.不同农作方式红壤坡耕地土壤氮素流失特征[J].应用生态学报,2002,13(7):863-866.
- [12] 周志华,肖化云,刘从强.土壤氮素生物地球化学循环的研究现状与进展[J].地球与环境,2004,32(3):21-26.
- [13] 张冬青,何腾兵,林昌虎,等.贵州乌江流域喀斯特土壤物理性质研究[J].贵州科学,2006,24(2):39-43.
- [14] 世界资源所.世界资源报告(1988—1989)[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [15] 白占国,吴丰昌,万曦,等.百花湖季节性水质恶化机理研究[J].重庆环境科学,1995,17(3):10-14.
- [16] 王智平.中国农田 N_2O 排放量的估算[J].农村生态环境,1997,13(2):51-55.
- [17] 葛鑫,戴其根,霍中洋,等.农田氮素流失对环境的污染现状及防治对策[J].耕作与栽培,2003(1):45-47.
- [18] 李楠.植物释放 N_2O 速率及施肥的影响[J].应用生态学报,1993,4(3):295-298.
- [19] 张世贤.三张图表说喜忧——中国面临的严峻挑战与机遇[J].中国农村,1996(5):6-9.
- [20] 齐景发.中国农业统计资料[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [21] 周维佳,刘远坤,罗德强,等.贵州杂交水稻高产栽培栽培模式研究[J].耕作与栽培,2003(3):20-21.
- [22] 朱兆良.氮肥分次施用对肥料效果影响的研究[J].土壤肥料,1984(3):29-32.
- [23] 周维佳,罗德强,江学海,等.杂交水稻强化栽培技术规范[J].贵州农业科学,2008,36(5):45-46.
- [24] 伍泽康.水稻氮肥深施比较试验[J].贵州农业科学,1999(3):39-41.
- [25] 张文安,苟久兰,李剑,等.黄壤旱地玉米氮、磷、钾肥料利用率及其肥效[J].贵州农业科学,2008,36(5):92-94.

- [26] 冯发龙,陈世文.贵州节水灌溉技术探讨[J].贵州农业科学,2008,36(4):64-66.
- [27] 王朝辉,宗志强,李生秀,等.蔬菜的硝态氮积累及菜地土壤的硝态氮残留[J].环境科学,2002,23(3):80-83.
- [28] 陈武,任明强,芦正艳,等.贵州典型喀斯特区土壤地球化学特征研究[J].中国岩溶,2010,29(3):248-251.

编辑:贺锋萍 (修改稿收到日期:2012-03-31)

(上接第105页)

耗能比较优势差异明显。在生产耗能方面:农业耗能具有综合比较优势的区域主要有四川、陕西、青海、宁夏,这些区域通过耗能效益彰显优势;工业耗能具有综合比较优势的区域主要有四川、重庆、云南、甘肃、宁夏、新疆,这些区域能通过耗能规模显示其优势;建筑业耗能具有综合比较优势的主要集中在除四川以外的西南地区及西北地区的新疆,主要通过较高的建筑业产值和较低的耗能规模获得优势;第三产业耗能具有综合比较优势的区域集中在西南地区及西北的甘肃省,贵州的第三产业耗能综合比较优势最为明显,其通过较大的能耗规模获得优势,其他区域的优势则通过耗能效益获得。总体而言,西南地区以及西北地区甘肃的产业结构相对较为合理,西北其他地区需加快产业调整步伐。在生活耗能方面,城镇生活耗能具有综合比较优势的主要集中在重庆、陕西、贵州,这些区域的城市化水平相对较高;其他区域的农村生活耗能具有综合比较优势。

参考文献:

- [1] 吴映梅,张雷,李亚,等.西部能源系统的时空效应及其协调发展[J].资源科学,2006,28(5):114-119.
- [2] 汤进华,刘成武,吴永兴.基于NRCA的湖北省水资源利用评价研究[J].长江流域资源与环境,2011,20(8):928-932.
- [3] BALASSA B. Trade liberalization and "revealed" comparative advantage[J]. The Manchester School, 1965, 33(2): 99-123.
- [4] HOEN M R, OOSTERHAVEN J. On the measurement of comparative advantage[J]. The Annals of Regional Science, 2006, 40(3): 677-691.
- [5] 孙才志,孙语桐.基于NRCA模型的辽宁省水资源利用比较优势分析[J].地域研究与开发,2010,29(2):123-128.
- [6] 汤进华,刘成武,吴永兴.基于NRCA的中国省际能源利用评价研究[J].经济地理,2011,31(8):1312-1318.
- [7] 中国国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴(2010)[M].北京:中国统计出版社,2010.
- [8] 刘宗让,成定平.西部能源开发探讨[J].安康师专学报,2000,12(1):5-10.
- [9] 延吉生.我国能源资源状况利用现状与发展战略[J].金属矿山,2003(8):1-4.
- [10] 吕涛,裴锐,刘玥.西部能源开发利用中的产业联动战略研究[J].资源科学,2010,32(7):1236-1244.

编辑:卜岩枫 (修改稿收到日期:2012-03-10)