砂姜黑土区采煤塌陷坡耕地氮磷时空分布与流失特征

综合治理

陈孝杨，周育智，于佳禾，严家平

（安徽理工大学 地球与环境学院，安徽 淮南 232001）

摘　要：[目的] 研究砂姜黑土区采煤塌陷坡耕地动态过程中表层土壤 NH_4^+—N 和有效磷(AP)的时空分布，揭示氮磷随地表径流流失的雨强和坡度变化特征。[方法] 选择淮北平原砂姜黑土区两类不同煤矿井工开采方式引发的地表塌陷坡耕地，动态监测表层土壤中 NH_4^+—N 和 AP 含量，并在实验室应用人工模拟降雨，测定 2 种雨强和 3 种坡度处理的地表径流中可溶态及颗粒态 NH_4^+—N，AP 含量。[结果] (1) 充填开采地表塌陷坡耕地表层土壤中 NH_4^+—N 含量为 16.5～72.0 mg/kg，AP 为 26.0～63.5 mg/kg，非充填开采分别为 9.08～67.2 mg/kg 和 22.4～82.1 mg/kg，未塌陷区域为 83.5～162 mg/kg 和 38.7～86.5 mg/kg；(2) 两种开采方式地表塌陷坡地土壤 NH_4^+—N 和 AP 含量与未塌陷区域相比，均显著降低($p<0.05$)，NH_4^+—N 含量自坡顶至坡底逐渐增加。随时间推移，NH_4^+—N 和 AP 含量未显著降低，AP 含量反而有增加迹象；(3) 强降雨时 NH_4^+—N 和 AP 的流失量是弱降雨的 3～5 倍，颗粒态 NH_4^+—N 和 AP 流失量占总流失量的 60%以上。坡度越大，NH_4^+—N 和 AP 的流失量越多，流失量突变的坡度为 5°～10°之间。[结论]砂姜黑土区采煤塌陷坡耕地土壤氮磷流失显著增加，颗粒态 NH_4^+—N 和 AP 为径流流失的主要形式。

关键词：氮磷流失；坡耕地；砂姜黑土；采煤塌陷

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2015)02-0236-05　　**中图分类号**：S158.3，S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.045

Temporal-spatial Distribution and Loss Characteristics of Nitrogen and Phosphorus from Sope Farmland in Coal Mining Subsidence Aeas with Lime Concretion Black Soil

CHEN Xiaoyang, ZHOU Yuzhi, YU Jiahe, YAN Jiaping

(*School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui* 232001, *China*)

Abstract: [Objective] Temporal-spatial distribution of ammonium nitrogen(NH_4^+—N) and available phosphorus(AP) in surface soil were studied from mining subsidence slope farmland in lime concretion black soil areas. Meanwhile, the loss characteristics of nitrogen and phosphorus from surface runoff was analyzed with respect to rain intensity and slope degree. [Methods] Two surface-subsided slope farmlands resulted from coal mining were selected to sample and measure soil NH_4^+—N and AP concentration from lime concretion black soil areas in Huaibei Plain. By simulated rainfall experiments in laboratory, soluble and particulate NH_4^+—N and AP concentration from surface runoff were determined under two different rain intensity and three slope conditions. [Results] (1) NH_4^+—N and AP concentration in surface soil of slope land for backfill mining were 16.5～72.0 mg/kg and 26.0～63.5mg/kg, respectively; and the corresponding values without backfill filling were 9.08～67.2 mg/kg and 22.4～82.1 mg/kg, respectively. While, NH_4^+—N and AP content were 83.5～162 mg/kg and 38.7～86.5 mg/kg from surface soil in non subsidence areas, respectively; (2) Soil NH_4^+—N and AP contents of the two mining-caused subsidence farmlands significantly decreased in contrast to that of the farmland without subsidence ($p<0.05$). The content of NH_4^+—N was found gradually increasing from the top to the bottom of the slope there. After subsidence happened, soil NH_4^+—N and AP concentration of the subsidence slope land did not significantly decrease as time went by, and AP content had an increasing instead; (3) NH_4^+—N and AP loss under heavy rainfall were 3～5 times of that of weak

收稿日期：2014-12-07　　**修回日期**：2014-12-28

资助项目：国家自然科学基金项目“煤矿开采塌陷区土壤优先流时空演变及水土流失机理研究”(41372369)；国家自然科学基金项目(51274013)

第一作者：陈孝杨(1976—)，男(汉族)，安徽省肥西县人，博士，副教授，主要从事矿山环境修复与土地复垦研究。E-mail:chenxy@aust.edu.cn。

通信作者：严家平(1954—)，男(汉族)，安徽省淮南市人，教授、博士生导师，主要从事矿山地质灾害防治与生态环境修复研究。E-mail:jpyan@aust.edu.cn。

precipitation, in which, particulate NH_4^+—N and AP loss accounted for more than 60% of the total loss. The greater the slope is, the more NH_4^+—N and AP would be lost. The inflection gradient of increased loss is 5°～10°. [Conclusion] Mining substance can significantly result in the loss of soil nitrogen and phosphorus on slope lands in lime concretion black soil areas, and particulate NH_4^+—N and AP are the main ways of their loss with surface runoff in the region.

Keywords: nitrogen and phosphorus loss; slope farmland; lime concretion black soil; coal mining subsidence

区域土壤氮磷流失对生态环境影响和对植物生理的负面作用十分明显[1]。土壤氮磷含量降低直接导致作物养分缺失,而通过地表径流进入附近水体的部分集聚又会造成湖泊或河流富营养化[2-3]。氮磷流失主体是其在土壤中的可溶性部分,地表径流和入渗是其主要运行方式。因此,降雨强度和坡度是其重要的影响因素[4]。当然,表层土壤的性质也决定着土壤剥蚀率和水流含沙量,进而改变地表径流泥沙和水溶液中氮磷含量[5-6]。不同的土地利用方式由于存在相异的地表覆盖物,径流产生方式不同,氮磷流失规律也存在很大差别[7-8]。就影响土壤氮磷流失的主要因素而言,已有研究[9-10]表明,强降雨造成的氮磷流失量远超过弱降雨,流失现象在强降雨的初期和末期达到极大峰值。氮磷随泥沙流失量占地表径流流失总量的 80%以上,且随坡度增加,坡耕地土壤可溶性氮磷的流失量增加[11]。农田仍然是氮磷流失较容易的土地利用方式之一,通常来说,植被覆盖度越大、林相越复杂,人工干扰植被越少,则植被对降雨的截留作用越大,氮磷流失量越小[12]。

目前,我国关于高原黄土[13]、川中紫色土[14]、东北黑土[15]、南方红壤[16]等典型土壤氮磷流失规律及其影响因素多有探讨。而砂姜黑土与前者相比土壤性质有较大的不同,其广泛分布于安徽省北部的淮北平原中部,土壤黏粒含量较高,有机质含量少[17]。同时,煤炭开采引起的地表塌陷是个动态过程,坡耕地坡度随时间逐渐增加,表层土壤氮磷流失有其特殊性,而目前此方面的研究尚不多见。本研究在动态监测淮北平原砂姜黑土区煤矿充填和非充填开采地表塌陷坡耕地表土铵态氮与有效磷含量的基础上,应用实验室人工模拟降雨,测定不同雨强和坡度条件下可溶态与颗粒态铵态氮、有效磷随地表径流的流失量,分析地表塌陷坡地动态形成过程中土壤氮磷时空分布和流失规律,旨在为区域生态环境保护和土地复垦提供理论依据。

1　研究区概况

研究区位于淮北平原中部,区域气候属季风暖湿带半湿润气候,春秋温和,雨量少,夏季炎热多雨,冬季寒冷多风。1980—1991 年平均气温为 14.1 ℃,最高气温(1988 年 7 月 8 日)为 40.3 ℃,最低气温(1988 年 12 月 16 日)为－10.9 ℃。春秋季多东北风,夏季多东至东南风,冬季多北至西北风,平均风速为 2.2 m/s,最大风速可达 18 m/s。年平均降水量为 834 mm,雨量多集中在 7—8 月。全年蒸发量 1 400 mm,无霜期 208～220 d,冰冻期一般在 12 月上旬至次年 2 月中旬。研究区地形比较单一,基本上以平原为主,地势平坦。研究区土壤类型为砂姜黑土,其是晚更新世(Q_3)以来,在古地理环境条件下,发育在第四纪河湖相沉积物上的半水成土。从 60 cm 剖面构型上来看,具有黑土层与砂姜层两个基本层次,黑土层上部为耕作层。耕作层(A_p)厚度约 20 cm(0—20 cm),质地为黏土,颜色变浅,为暗灰棕,水分含量较高,呈湿润态。主要理化性质详见表 1。黑土层(AB_t)厚度约 20 cm(20—40 cm),质地为黏土,用蒸馏水浸湿,土壤呈腐泥状,颜色呈黑棕色,土壤颗粒呈柱状结构。硬砂姜层(B_{kg})在深度 40 cm 以下,质地为壤黏土,土体颜色湿态为黄棕色,剖面淋溶现象和氧化还原现象(脱潜育化)明显,锈斑湿态颜色为亮棕色。

表 1　研究区塌陷坡地耕作层土壤主要理化性质

项目	pH 值		含水量/($cm^3 \cdot cm^{-3}$)		容重/($g \cdot cm^{-3}$)		总可溶性盐/($mg \cdot kg$)		有机质/%	
	均值	变异系数	均值	变异系数	均值	变异系数	均值	变异系数	均值	变异系数
数值	7.16	4.59	0.373	24.9	1.25	6.99	504	38.2	1.131	25.2

2　材料与方法

2.1　布点与采样

选择研究区某煤矿两个不同开采方式(充填开采和非充填开采)的工作面地表塌陷坡耕地作为研究对象。充填开采工作面正在采煤,地表塌陷坡耕地呈动态过程,坡度从监测初期的 2°增加至后期的 5°。非充填开采工作面地表塌陷区域已稳沉,坡耕地坡度始终

为 8°。监测时间自 2012 年 5 月至 2013 年 7 月，共采样 5 次。分别在每个工作面地表塌陷区域四周的坡耕地设 6 个采样断面(沿塌陷盆地中央至边缘直线方向)，每个断面的近坡顶(T)和近坡脚处(B)各有 1 个采样点，坡面中间有 2 个采样点(S_1，S_2)，为直线距离 1/3 的均分点。同时，监测未塌陷区域(N)作为参照。每个采样点采集表层 0—10 cm 的土壤样品 5 kg 装入聚乙烯袋中带回实验室进行铵态氮(NH_4^+—N)和有效磷(AP)含量测定。NH_4^+—N 采用那氏试剂分光光度法测定，AP 采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定。

2.2 模拟降雨试验

模拟降雨试验应用自制的土槽试验装置进行，装置主体部分为试验土槽和模拟降雨设备。土槽的长、宽、高分别为 100 cm，50 cm 和 50 cm，土槽末端安装出水口以收集径流溢水，底部有调节杆可调节坡度满足试验需求。试验用土于 2012 年 5 月采自上述煤矿充填开采工作面地表塌陷坡耕地 0—20 cm 表层土壤，采样时地表种植冬小麦。样品采集后带回实验室自然风干，剔除根茎和碎石后过直径 2 mm 筛，按原状土壤的初始容重和含水量充填土槽。充填时土槽底部放入 20 cm 厚细砂，上覆 20 cm 厚的试验土壤。由于供试土壤中 NH_4^+—N 和 AP 的含量较低，为增强径流试验中水溶态和颗粒态的含量变化规律表征，试验前用复合肥料对土槽内供试土壤进行培肥，培肥后的土壤 NH_4^+—N 和 AP 的含量分别为 758 和 693 mg/kg。试验时，根据现场实际情况选择两种降雨强度(强降雨 0.309 mm/min 和弱降雨 0.147 mm/min)，3 种坡度(3°，5°和 10°)，共 6 个试验处理。试验时自坡底出水 10 s 后开始收集汇流，每隔 20 s 收集样品 5 s，每个处理收集样品 15 个。采用过滤装置将水样分为径流样和泥沙样，分别测定水溶态和颗粒态的 NH_4^+—N，AP 含量，测定方法与现场采集的土壤样品相同。

2.3 数据处理方法

应用 SPSS 18.0 软件进行数据统计分析，单因素方差分析和差异显著性检验($p<0.05$)。应用 Excel 软件进行数据整理和作图。

3 结果与分析

3.1 氮磷时空分布

非充填开采地表塌陷区为稳沉区，坡耕地土壤 NH_4^+—N 含量仅在第一次(2012 年 5 月份)监测时各断面差异显著，自坡底至坡顶显著降低(表 2)。其他连续监测时间坡耕地土壤 NH_4^+—N 含量在坡面上差异不显著，但与未塌陷区域相比，含量有显著降低($p<0.05$)。坡底处(B)土壤 NH_4^+—N 含量随时间推移呈季节性递减，而坡顶处(T)和两个坡面(S_1，S_2)上的采样断面随着时间推移逐渐增加。充填开采塌陷区是非稳沉区，地表塌陷处于初期和中期，除坡顶处土壤 NH_4^+—N 含量显著降低外，其它采样断面并无显著差异，坡底处也未见 NH_4^+—N 显著集聚。随时间推移，也未见明显 NH_4^+—N 流失。但与未塌陷区域相比，含量也有显著降低($p<0.05$)。

充填开采地表塌陷区监测初期 AP 含量在坡底处有显著集聚，监测后期在坡顶处有显著降低，其他时间整个坡耕地含量变化不明显，与未塌陷区域相比，出现显著减少迹象，但不如 NH_4^+—N 含量变化剧烈。而非充填开采地表塌陷坡耕地，AP 在坡顶和坡面上段两个采样断面的平均含量较坡底和坡面下段有显著降低，流失现象存在，但随时间推移，整个坡面 AP 含量有逐渐增加的趋势，这与农田耕作有关。

表 2 采煤塌陷坡地土壤铵态氮和速效磷的含量均值 mg/kg

开采方式	采样断面	2012 年 5 月 19 日		2012 年 8 月 16 日		2012 年 11 月 7 日		2013 年 3 月 15 日		2013 年 7 月 15 日	
		NH_4^+—N	AP	NH_4^+—N	AP	NH_4^+—N	AP	NH_4^+—N	AP	NH_4^+—N	AP
充填开采地表塌陷区	T	30.5^a	43.5^a	29.5^a	26.5^c	26.5^a	38.2^a	25.6^a	47.3^a	16.5^c	26.0^c
	S_1	31.7^a	48.4^a	31.2^a	33.1^c	27.5^a	31.5^c	55.5^b	40.5^a	44.6^b	41.2^a
	S_2	65.5^b	46.0^a	28.8^a	30.6^c	45.2^b	44.3^a	48.1^b	30.7^c	53.5^b	45.5^a
	B	72.0^b	63.5^b	26.5^a	37.5^a	65.5^b	44.2^a	62.3^b	46.7^a	58.2^b	50.5^a
非充填开采地表塌陷区	T	9.08^c	31.2^c	27.3^a	39.6^a	15.9^c	33.3^c	24.7^a	22.4^c	61.1^b	34.6^a
	S_1	11.8^c	43.5^a	24.3^a	29.0^c	29.6^a	27.3^c	33.6^a	38.4^a	47.9^b	47.0^a
	S_2	35.5^a	82.1^d	19.6^c	36.4^a	26.8^a	48.3^a	47.7^b	67.3^b	35.2^a	65.3^b
	B	115^d	50.6^a	25.7^a	27.1^c	67.2^b	55.6^b	32.9^a	66.7^b	49.3^b	58.2^b
未塌陷区域	N	141^d	40.3^a	94.0^d	41.3^a	103^d	53.3^b	97.1^d	44.7^a	97.3^d	55.3^b

注：T，B 分别为近坡顶和近坡脚处采样点；S_1，S_2 分别为坡面中间的 2 个采样点；N 作为参照的未塌陷区域监测样点。

3.2　氮磷流失对降雨强度响应

土壤氮磷流失主要有可溶态和颗粒态两种形式,砂姜黑土的氮磷流失也以颗粒态为主,大约占 60%以上。通过实验室模拟试验,坡度为 10°时(模拟非充填开采塌陷区),弱降雨条件下,可溶态 NH_4^+—N 和 AP 的流失趋势一致,径流初期出现峰值,中后期逐渐平稳降低,基本在 5.0 mg/L 左右(图 1)。强降雨条件下,可溶态 NH_4^+—N 流失过程相对平稳,试验径流时间内均在 5.0 mg/L 左右。而 AP 的流失波动较剧烈,浓度高时可达 30.6 mg/L,坡地 AP 流失严重。颗粒态的 NH_4^+—N 和 AP 流失与可溶态不同,强降雨和弱降雨条件下流失量均随径流时间呈缓慢下降,只不过强降雨条件下的流失量是弱降雨的 3～5 倍(图 1)。

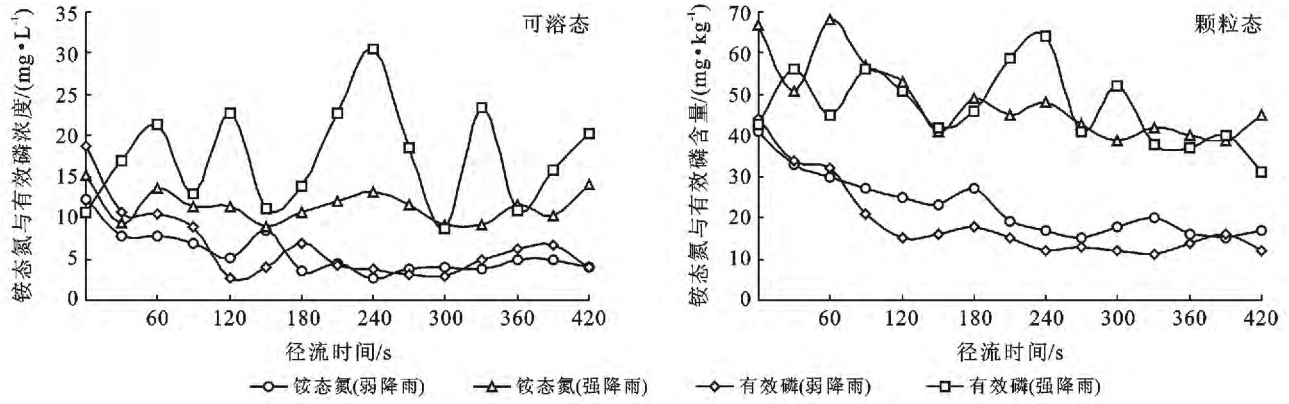


图 1　雨强对 NH_4^+—N 与 AP 流失的影响(坡度 10°)

3.3　坡度动态变化对氮磷流失影响

煤矿开采地表塌陷坡地形成是个动态过程。淮北平原单组煤充填开采,地表塌陷坡地坡度稳沉后为 3°～5°,非充填开采为 10°左右,极端情况下坡度更大。用强降雨条件下不同坡度砂姜黑土的 NH_4^+—N 与 AP 流失来表征这一特征。

随着坡度增加,地表径流中可溶态和颗粒态的 NH_4^+—N,AP 流失量均在增加。就 NH_4^+—N 来说,坡度为 3°和 5°时,流失量差异不显著,尤其是颗粒态的 NH_4^+—N。但当坡度增加到 10°时,流失量有显著增加,是 3°时的 4～6 倍(图 2)。AP 的流失与 NH_4^+—N 不同,坡度增加对其影响是显著的,尽管是煤矿充填开采引起的地表塌陷坡地动态变化过程,AP 流失量也存在显著差异。

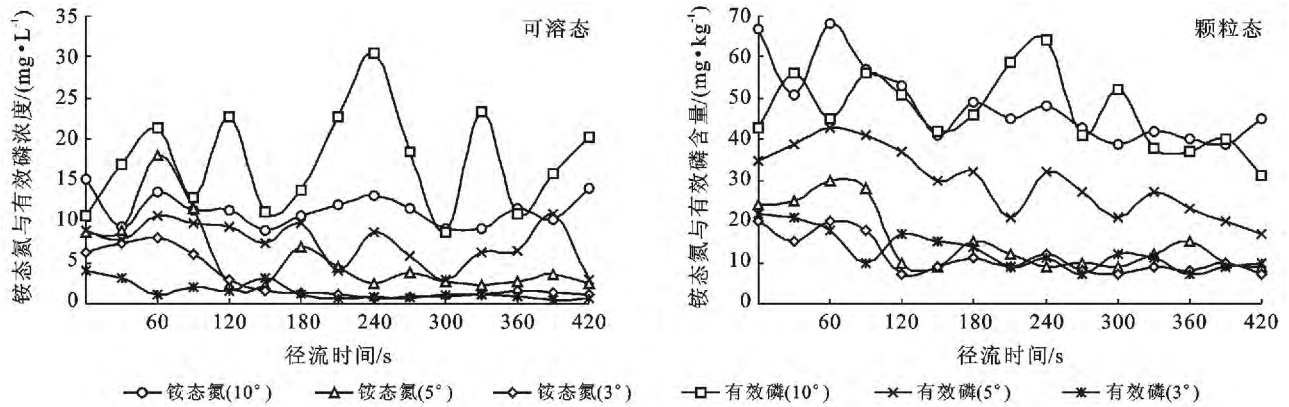


图 2　坡度对 NH_4^+—N 与 AP 流失的影响(强降雨)

4　结论与讨论

(1) 煤炭井工开采在地表引发的塌陷坡耕地是个动态发展的过程,由于地表应力的变化,土壤结构遭受不同程度的破坏[18],在降雨发生时,土壤侵蚀和氮磷流失现象时有发生。尽管充填开采对地表环境损害程度轻微,坡耕地坡度较小,但相对于未塌陷区域,NH_4^+—N 与 AP 含量显著降低,氮磷流失现象仍然存在。煤矿充填开采工作面地表变形缓慢,坡地耕作持续,而非充填开采地表塌陷坡耕地稳沉,且有土地整理和作物耕种行为,外源添加和地表微地形的变化导致氮磷时空分布的规律性不明显。NH_4^+—N 和

AP 在两种采煤方式地表塌陷坡耕地土壤中的含量并未随时间推移逐渐递减，与季节性气候的关联度也不强，在各采样断面中的空间分布没有出现沿坡顶、坡面和坡底呈明显的递减分布趋势。这说明坡耕地土壤中氮磷流失现象在塌陷形成初期即发生，且流失量达到峰值。塌陷中后期直至稳沉，氮磷流失现象在土地整理和耕作行为影响下被部分掩盖。强降雨条件下砂姜黑土中 AP 流失速度快，但培肥过后的恢复能力较 NH_4^+—N 强，监测后期坡耕地土壤中 AP 含量逐渐增加。

(2) 研究区未塌陷耕地砂姜黑土中 NH_4^+—N 含量为 83.5～162 mg/kg，AP 含量为 38.7～86.5 mg/kg。与黑土[15]、红壤[16]和紫色土[14]相比，含量较低，和高原黄土[13,19]中含量相当。采煤塌陷坡耕地土壤中，监测初期 NH_4^+—N 和 AP 的含量即出现快速下降。因煤炭开采而导致的地表微地形变化对砂姜黑土氮磷流失的增加非常强烈，这种影响往往发生在地形变化初期。

(3) 淮北平原砂姜黑土从性质来说属于变性土，质地粘重，氮磷含量低[20]。同时，土壤剖面垂直裂隙发育，降雨或灌溉时，水分沿裂隙入渗，土体膨胀，裂隙弥合，地表径流发育[21]。采煤塌陷动态过程中，坡地土壤氮磷流失随降雨间歇发生。稳沉后，从塌陷盆地边缘到中央，氮含量呈明显递减，而磷下降幅度相对较小[22]。与其它主要类型土壤相同，雨强和坡度也是砂姜黑土氮磷流失的两个主导因素[23-25]。室内降雨模拟结果显示(图 1—2)，塌陷初期，强降雨条件下 NH_4^+—N 与 AP 流失量是弱降雨的倍数，AP 更容易形成剧烈波动。这其中颗粒态的氮磷占整个流失量的 60%左右，说明砂姜黑土高黏粒含量所形成表土团粒和结皮并未阻滞因雨水击溅而导致的土壤侵蚀现象。坡度为 3°和 5°时，不同降雨条件下 NH_4^+—N 与 AP 流失量降低趋势差异不显著，但当坡度发展到 10°时，流失量在同一时段均增加 5 倍左右，说明 5°～10°是砂姜黑土坡耕地土壤 NH_4^+—N 与 AP 流失的突变点。就砂姜黑土区煤炭开采来说，只要有塌陷，坡耕地土壤氮磷流失就存在，尤其是初期有强降雨发生，表层土壤 NH_4^+—N 与 AP 含量即能达到极低值。因此，充填开采地表塌陷坡耕地需加强施肥，尤其是提升氮磷供给[26-27]，而非充填开采塌陷坡耕地由于坡度较大，需辅助土地整理工程。

[参 考 文 献]

[1] Bechmann M, Stålnacke P, Kværnø S, et al. Integrated tool for risk assessment in agricultural management of soil erosion and losses of phosphorus and nitrogen[J]. Science of the Total Environment, 2009, 407(2): 749-759.

[2] 郝旭，张乃明，史静. 昆明市云龙水库径流区氮磷非点源污染负荷分析[J]. 水土保持通报，2013，33(6)：274-284.

[3] Dalgaard T, Hutchings N, Dragosits U, et al. Effects of farm heterogeneity and methods for upscaling on modelled nitrogen losses in agricultural landscapes[J]. Environmental Pollution, 2011, 159(11): 3183-3192.

[4] Claudia H, Volker P, Christian S, et al. Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012(1), 153: 65-74.

[5] 樊兰英，郭晋平. 3 种典型河岸林土壤氮磷的空间分布格局及其影响因素[J]. 水土保持通报，2012，32(2)：17-25.

[6] Muukkonen P, Hartikainen H, Alakukku L. Effect of soil structure disturbance on erosion and phosphorus losses from Finnish clay soil[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 103(1): 84-91.

[7] 黄云凤，张珞平，洪华生. 不同土地利用对流域土壤侵蚀和氮、磷流失的影响[J]. 农业环境科学学报，2004，23(4)：735-739.

[8] 袁兴程，钱新，庞宗强，等. 不同土地利用方式土壤表层氮、磷流失特征研究[J]. 环境化学，2011，30(9)：1657-1662.

[9] 梁斐斐，蒋先军，袁俊吉，等. 降雨强度对三峡库区坡耕地土壤氮、磷流失主要形态的影响[J]. 水土保持学报，2012，26(4)：81-85.

[10] 陈志良，程炯，刘平，等. 暴雨径流对流域不同土地利用土壤氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报，2008，22(5)：30-33.

[11] 黄利玲，王子芳，高明，等. 三峡库区紫色土旱坡地不同坡度土壤磷素流失特征研究[J]. 水土保持学报，2011，25(1)：30-33.

[12] 曾立雄，黄志霖，肖文发，等. 三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应[J]. 环境科学，2012，33(10)：3390-3396.

[13] 李艳梅，袁霞，张亚丽，等. 黄绵土坡面土壤矿质氮素径流流失与入渗特征研究[J]. 农业环境科学学报，2007，26(1)：246-251.

[14] 韩建刚，李占斌，钱程. 紫色土小流域土壤及氮磷流失特征研究[J]. 生态环境学报，2010，19(2)：423-427.

[15] 郝瑞卿，孙彦君，王继红，等. 不同利用方式及施肥对黑土地表磷素养分流失的影响[J]. 土壤通报，2006，37(6)：701-705.

[16] 奚同行，左长清，王伟，等. 天然降雨下红壤坡地氮磷流失过程与特征分析[J]. 水土保持通报，2012，32(5)：136-140.

(下转第 245 页)

(3) 泥石流流域的“混合分区效应”。通常情况下,泥石流的流域分区有三分法(形成区、流通区及堆积区)和四分法(清水区、物源区、流通区及堆积区)。而在川西高原面上,由于受到冻融作用的影响,泥石流物源具有分散补给的特点,且多以沟道岸坡的冻融坍塌为主,整个流域的沟道两岸均是物源补给区,使得泥石流的流通区被弱化,很难将其与形成区和堆积区进行明显的区分。为此,多数泥石流沟的流域分区只能进行“二分法”,即分为形成流通区—堆积区或形成区—流通堆积区。在泥石流评价及开展工程防治方案的确定过程中,划分出明确的泥石流形成区流通区和堆积区极为重要。因为在泥石流评价时,需确定危险区的大致范围,为泥石流危险区内的工程建设及人类工程活动提出针对性的措施,以降低泥石流可能带来的潜在危害。而川西高原面上泥石流的混合分区特征使得我们很难对泥石流的形成特征及机制进行深入的了解,这在一定程度上降低我们对泥石流潜在危害的评价精度。

3　结 论

(1) 通过川西高原冻融作用对泥石流发育的影响发现,泥石流形成区的岩土体在冻融作用下形成一种典型的“碎化效应”。对这一地区岩土体碎化效应的分析对深入认识这类泥石流的物源区、物源类型、破坏模式及形成机理有重要的指导意义。同时,冻融过程产生的碎化效应还使得高原面上泥石流形成时物源启动所需的临界雨量条件相对较低。此外,因携带少量小粒径块石而造成的泥石流冲击破坏作用不显著,使得其破坏主要以淤埋为主,可为川西高原面泥石流的防治工程设计提供理论依据。

(2) “剥皮效应”的提出,可为泥石流物源量估算及危险性评价提供重要参考。根据产生剥皮效应区的面积和厚度,可以估算一次泥石流可能冲出的最大规模;另一方面,剥皮区的确定可为通过控制泥石流物源从而实现抑制泥石流发生的目的提供参考。

[参 考 文 献]

[1] 邱国庆,刘经仁,刘鸿绪,等. 冻土学辞典[M]. 甘肃 兰州:甘肃科学技术出版社,1994.

[2] 程国栋. 青藏铁路工程与多年冻土相互作用及环境效应[J]. 中国科学院院刊,2002,17(1):21-25.

[3] 景国臣. 冻融侵蚀的类型及其特征研究[J]. 中国水土保持,2003(10):17-18.

[4] 靳德武,孙剑锋,付少兰. 青藏高原多年冻土区两类低角度滑坡灾害形成机理探讨[J]. 岩土力学,2005,26(5):774-778.

(上接第 240 页)

[17] 程先富,余芬. 安徽省土壤侵蚀空间分布及其与环境因子的关系[J]. 地理研究,2010,29(8):1461-1470.

[18] 蔡江东. 深部采动对塌陷盆地周边土体影响的空间效应研究[J]. 岩土力学,2011,32(2):401-406.

[19] 王辉,王全九,邵明安,等. 前期土壤含水量对黄土坡面氮磷流失的影响及最优含水量的确定[J]. 环境科学学报,2008,28(8):1571-1578.

[20] 李德成,张甘霖,龚子同. 我国砂姜黑土土种的系统分类归属研究[J]. 土壤,2011,43(4):623-629.

[21] 张义丰,王又丰,刘录祥. 淮北平原砂姜黑土旱涝(渍)害与水土关系及作用机理[J]. 地理科学进展,2001,20(2):169-176.

[22] 孟庆俊. 采煤塌陷地氮磷流失规律研究[D]. 江苏 徐州:中国矿业大学,2010.

[23] 吴希媛,张丽萍,张妙仙,等. 不同雨强下坡地氮流失特征[J]. 生态学报,2007,27(11):4576-4582.

[24] 李裕元,邵明安,郑纪勇,等. 降雨强度对黄绵土坡地磷流失特征影响试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(4):39-46.

[25] van der Salm C, Dolfing J, Heinen M. Estimation of nitrogen losses via denitrification from a heavy clay soil under grass[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007,119(1-2):311-319.

[26] 陈欢,李玮,张存岭,等. 淮北砂姜黑土酶活性对长期不同施肥模式的响应[J]. 中国农业科学,2007,23(4):39-46.

[27] 王道中,郭熙盛,何传龙,等. 砂姜黑土长期定位施肥对小麦生长及土壤养分含量的影响究[J]. 土壤通报,2007,38(1):55-57.