

# 基于 Meta 分析的神府榆采煤塌陷区植被变化研究

王亚萍<sup>1</sup>, 刘文兆<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**采煤塌陷是发生在井采矿区的一种严重的地质灾害。为了定量评估采煤塌陷对植被的影响,在收集有关神府榆采煤塌陷区植被研究文献的基础上,采用 Meta 方法对现有的 20 多份研究结果进行了整合分析。结果表明:植被盖度在塌陷发生初期有所下降,塌陷两年后又呈上升的趋势,并超过塌陷前水平。经塌陷干扰后,矿区主要优势种有一些变化,一般而言,地表植物种数在塌陷发生 1~2 a 后有一定程度的增加,且塌陷区新增的植物种多是以沙米(*Agriophyllum squarrosum* (Linn.) Moq.)、角蒿(*Incarvillea sinensis* Lam.)等为主的短命或类短命荒漠植物。塌陷区植被变化特征展示了自然恢复在植被建设中的重要作用。神府榆矿区,以至黄土高原的生态建设需要采取自然修复为主与人工修复相辅的方式整体推进。

**关键词:**Meta 分析; 神府榆煤田; 采煤塌陷; 植被; 生态建设; 黄土高原

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)02-0278-05

## Meta-Analysis of the Characteristics of Vegetation Change in Subsidence Area of Shenfuyu Coal Mining

WANG Yaping<sup>1</sup>, LIU Wenzhao<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Subsidence is one of the serious geological disasters in well mining areas. More than 20 published papers were synthesized using meta-analysis method to assess quantitatively the influences of coal mining subsidence on vegetation changes in the Shenfuyu coal mining area. The results showed that the vegetation coverage in the coal mining subsidence area declined in the early stage of collapse, but it increased and gradually exceeded the original level within two years after subsidence. The dominant species had some changes after mining subsidence, generally speaking, the number of species increased within 1~2 years after subsidence. The new plant species mostly belonged to ephemeral or ephemeroid plants after collapse interference, such as *Agriophyllum squarrosum* (Linn.) Moq. and *Incarvillea sinensis* Lam. Characteristics of vegetation change in the subsidence area also showed the important role of natural restoration in vegetation construction. The ecological construction measure that natural recovery is majorly adopted with artificial restoration complement should be carried out in the Shenfuyu mining area, even on the whole Loess Plateau.

**Keywords:** Meta-analysis; Shenfuyu coal mining; coal mining subsidence; vegetation; ecological construction; Loess Plateau

神府榆矿区位于陕西省北部的榆林地区,以神木县与府谷县为主。作为我国大型煤炭生产基地之一,因其储量大,地理位置优越,煤质优良、开采容易而受到国家的重视<sup>[1-3]</sup>。但是由于近年来神府矿区超强度

的开采,加之矿区位于黄土高原与毛乌素沙地的复合过渡地带,造成了矿区植被覆盖率减少,荒漠化加剧等一系列生态问题<sup>[4-6]</sup>,其中尤以采煤塌陷所造成的生态问题最为严重,也逐渐成为研究热点<sup>[7-10]</sup>。植被

作为最敏感的生态环境因子,它的变化直接或间接地影响到其他环境因子的变化,也成为分析干旱区自然环境变化的重要对象与手段<sup>[11]</sup>。对神府煤矿采煤塌陷区的植被变化及其影响因素研究,可以为当地的植被恢复建设提供重要的理论参考。

近年来,有关神府榆采煤塌陷区植被变化的研究结果有多方面的报道:有学者认为不同程度的采煤塌陷对矿区植物群落结构、植被盖度等造成了一定的影响<sup>[12-17]</sup>;也有认为这种影响,包括多样性变化不显著的报道<sup>[18-22]</sup>。目前关于神府煤矿开采对植被影响的研究大多数都局限于小范围的研究,而缺少对同类研究的综合分析;与此同时,由于单个的研究结果具有不确定性和偏差<sup>[23-24]</sup>及偏见<sup>[25]</sup>,有些研究结论会出现不一致或相互矛盾的现象<sup>[26-27]</sup>。

Meta 分析是针对同一主题下的多个独立试验的研究结果进行定量综合分析的方法<sup>[28-29]</sup>。自从引入到生态学领域以来,Meta 分析已迅速被应用于解决各种生态学问题<sup>[30-31]</sup>。为了深入探究神府榆采煤塌陷对植被造成的影响,本文采用 Meta 方法对已有的若干独立研究结果进行整合分析,分析地下开采对地表植被变化的影响,了解植被的演替方向,有助于更好地认识神府榆煤田开采带来的植物群落结构及覆盖度的变化趋势,以期为进一步做好采煤塌陷区的植被建设与生态恢复提供科学依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 文献来源与筛选

从 CNKI 与 Google 学术中搜集了近 20 a (1995—2015 年)来发表的有关神府榆矿区开采对植被影响的中英文文献。根据研究目的,建立了文献筛选标准,在此基础上进行文献的搜集和数据分析。

文献检索的标准:(1) 文献均是包含神府矿区开采对植被特征影响的正式发表的研究论文(包含硕博论文和会议报告等);(2) 文献的数据资料里必须有试验组和对照组;(3) 文献的数据资料应是具体的数值,若是以图表形式表征的数据,则进行数字化;(4) 具有重复报道的数据只选其中一种。根据选取的标准,本研究最终筛选出 16 篇文献中 23 个独立研究的数据,供神府榆煤矿开采对植被影响效应的 Meta 分析和系统研究,具体资料如表 1 所示。

1.2 Meta 分析

Meta 分析是用统计学方法对具有相同研究目的、多个独立研究结果进行系统定量的合并与综合。它是用效应值来反映多个独立研究的综合效应,为了便于统计并且使文中不同独立试验中的数据具有

可比性,本研究采用 Johnson 等人提出的效应值<sup>[36]</sup>,当得出的效应值为正值时,说明采煤塌陷对矿区的植被产生了正效应,即增加了区域的植物种数或植被盖度;反之,则产生了负效应。根据研究间异质性的差异,Meta 分析使用的统计模型主要分为固定效应模型和随机效应模型,常用的分析方法有倒方差法、Mantel-haenszel 法、Peto 法、Dersimonian-Laird 法<sup>[29]</sup>,由于分配权重方法的不同使得各研究的权重存在较大差异<sup>[37]</sup>。本文依据 Meta 分析的思想,考虑检索文献的特点,对现有的 20 多个研究结果进行了定量与定性结合的综合分析。

表 1 Meta 分析文献

编号	调查矿区	地理位置	文献来源
1	大柳塔矿区	39°16'40"—39°27'00"N	[11],[12],[15],
		110°05'00"—110°20'00"E	[17],[21],[34]
2	活鸡兔矿区	38°50'—39°50'N	[15],[17],[21],
		109°30'—110°30'E	[33],[35]
3	榆家梁矿区	38°59'07"—39°05'31"N	[13],[15],[17],
		110°31'26"—110°38'32"E	[18]
4	补连塔矿区	39°18'31"—39°22'00"N	[14],[16],[17],[20],
		110°04'16"—110°10'18"E	[32],[33],[34]

注:补连塔矿区位于陕蒙交界处,为了增加研究的样本量,将补连塔矿区的数据纳入分析。

据调查<sup>[38]</sup>,截至 2004 年,大柳塔煤矿形成的塌陷面积达 16 km<sup>2</sup>,均为裂隙式塌陷;补连塔矿在距井口 2.5~3.0 km 范围内发生了大面积的地表塌陷,其范围约 300 m,形成的裂缝宽度一般为 0.25~0.45 m,与原地面比较,最大沉陷深度达到 6.5 m<sup>[14]</sup>。到了 2012 年,活鸡兔矿区形成采空塌陷面积达 8.16 km<sup>2</sup>,这在规模上属于大中型塌陷<sup>[39]</sup>。通过国家煤田地质总局航测遥感数据资料可知<sup>[39]</sup>,截至 2002 年,榆家梁煤矿开采造成的地表塌陷面积达到 8.16 km<sup>2</sup>,在 2005 年,塌陷造成了 3.1 级的地震。由此可见,神府榆煤田的采煤塌陷十分严重。

根据搜集的文献数据资料,可以看出神府榆煤田的采煤塌陷在大柳塔矿区、活鸡兔矿区与榆家梁矿区以及补连塔矿区都有发生,调查时间均在塌陷后 10 a 内,通过对同一塌陷区的物种组成及植被盖度变化分析,以此来探究塌陷年限、塌陷与未塌陷之间,植物种数和植被盖度随着塌陷年限的变化特点。

2 结果与分析

2.1 采煤塌陷对植物种类的影响

通过文献的搜集,一共查到 9 篇关于采煤塌陷对

植物种数影响的文献,具体见表 2,通过效应值的计算,可以得出采煤塌陷对 2004 年塌陷区产生的效应值为 0.24,对 2005 年塌陷区产生的效应值为 0.07,效应值的变化说明采煤塌陷对植物种数产生了促进效应。由表 2 的数据可知:在短期内(塌陷 1 a),大柳塔及补连塔采煤塌陷区的植物种数均高于非塌陷区水平,但是活鸡兔矿区在经历了采煤塌陷干扰后,植物种数出现了不同的结果:有的调查数据显示植物种数增加,有的则减少;榆家梁矿区的调查数据则可以看出,2005 年塌陷区的植物种数几乎不变,但是 2004 年塌陷区的植物种数却明显低于非塌陷区,说明塌陷在一定程度上破坏了植物的群落组成;随着塌陷年限的增加,补连塔、活鸡兔采煤塌陷区的植物种数逐渐增加并高于非塌陷区;榆家梁采煤塌陷区的植物种数却减少并低于非塌陷区水平,大柳塔采煤塌陷区的植物种数虽然出现减少,但仍高于塌陷前水平。

另外,补连塔风沙区属于风沙脆弱区,植被稀少,经过采煤塌陷干扰后,植物种数出现了先增加后减少最终高于塌陷前水平的现象,这是因为采煤沉陷使得原有的优势植物受到损伤,但是新增了一些短命或类短命的荒漠植物,这在赵国平、叶瑶的研究结果中有反映<sup>[14-16]</sup>,总之,补连塔采煤塌陷区在塌陷作用下,植物的生长受到了一定的干扰,且这种干扰有利于新增植物的生长,这可以用中度干扰假说<sup>[40-42]</sup>来解释,适当的干扰既可以抑制优势植物种群的竞争势力,又为其他物种的侵入和定居创造了机会,从而导致物种组成增多和多样性增大。总的来说,植物种类的丰富程度与塌陷有一定的相关性。

2.2 采煤塌陷对植被盖度的影响

据调查,一共有 7 篇关于采煤塌陷对植被盖度影响的数据资料,见表 3。通过效应值的计算,可以得出采煤塌陷对 2004 年塌陷区产生的效应值为 0.18,对 2005 年塌陷区产生的效应值为 0.06,效应值的变化说明采煤塌陷对植被盖度产生了正面影响。但是由表中数据可以得出,在短期内(塌陷 1 a),大柳塔采煤塌陷区的植被盖度却低于非塌陷区,活鸡兔及补连塔矿区的植被盖度却高于非塌陷区水平;随着塌陷年限增加,活鸡兔、大柳塔、补连塔矿区植被盖度均呈现出逐渐增加的趋势,但郭洋楠的一组数据显示塌陷区植被盖度始终低于非塌陷区,这说明采煤塌陷还是破坏了矿区的植被,而通过对榆家梁矿区的植被盖度数据进行分析发现,采煤塌陷对矿区的植被盖度产生了不同程度的影响,随着塌陷年限的增加,塌陷区的植

被盖度持续增加并高于非塌陷区水平。通过文献资料的汇总,发现大柳塔煤矿调查区内生态环境恶劣,植被类型比较单调,植被覆盖率较低,仅以一些沙生和小型灌木植被为主,乔木林稀少,因此受到采煤塌陷的干扰作用比较明显。总之,神府榆采煤塌陷区的植被盖度在塌陷发生初期有所下降,塌陷两年后又呈上升的趋势,并超过塌陷前水平。

表 2 采煤塌陷区植物种数变化统计表

调查 矿区	文献来源	调查时间	未采 区/种	2004 年 塌陷区/ 种	2005 年 塌陷区/ 种
大柳塔	Bian Z F 等 <sup>[34]</sup>	2005 年 7 月	45	51	—
	周莹 <sup>[15]</sup>	2005 年 7 月	41	50	52
	苏敏 <sup>[21]</sup>	2008 年	42	—	50
	郭洋楠等 I <sup>[17]</sup>	2006 年	41	52	50
	郭洋楠等 II <sup>[17]</sup>	2006 年	40	36	38
	姚国征 <sup>[18]</sup>	2006/2007 年	45	52	52
	姚国征 <sup>[18]</sup>	2006/2007	9	28	13
补连塔	赵国平等 <sup>[14]</sup>	2006 年	9	27	13
	周莹 <sup>[32]</sup>	2005 年 7 月	8	12	—
	郭洋楠等 <sup>[17]</sup>	2006 年	9	28	13
	Bian Z F 等 <sup>[34]</sup>	2005 年 7 月	9	13	—
	叶瑶等 <sup>[16]</sup>	2012 年	29	—	19
	姚国征 <sup>[18]</sup>	2006/2007	50	68	62
	周莹 <sup>[15]</sup>	2005 年 7 月	62	68	50
活鸡兔	郭洋楠等 <sup>[17]</sup>	2006 年	55	63	49
	苏敏 <sup>[21]</sup>	2008 年	58	—	49
	马迎宾 <sup>[35]</sup>	2012 年(阴坡)	24	28	—
	马迎宾 <sup>[35]</sup>	2012 年(阳坡)	22	21	—
	马迎宾 <sup>[35]</sup>	2012 年(坡顶)	21	16	—
榆家梁	姚国征 <sup>[18]</sup>	2006/2007	38	35	38
	周莹 <sup>[32]</sup>	2005 年 7 月	37	30	38
	郭洋楠等 <sup>[17]</sup>	2006 年	37	30	37

注:“—”表示文献中没有调查数据。

由以上分析可知:经沉陷干扰后,采煤塌陷区的植物种数及植被盖度受到了不同程度的影响。通过榆家梁矿区的调查数据得知塌陷区的植物种数始终低于非塌陷区的植物种数,表明塌陷对矿区植被造成了负面影响。大柳塔矿区的五个植被调查结果表明:在短期内(塌陷 1~3 a),塌陷形成的各种地貌会增加群落的物种组成,在塌陷前,植物群落的优势种主要是糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa* Trin. Keng)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)和紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)等,塌陷两年后,群落中增

加了新的耐旱植物种,如蒙古莠(*Caryopteris mongholica*)和百里香(*Thymus mongolicus* Ronn)等。以榆家梁矿区塌陷两年的调查结果为例<sup>[32]</sup>,塌陷区的群落组成均是以糙隐子草为主的退化草地演替类群及短花针茅(*Stipa breviflora* Griseb.)为主的草原类群,但在非塌陷区,糙隐子草的重要值仅有 1.02,且塌陷一年后,重要值不足 1 的丝叶山苦荬(*Ixeris chinensis*)在塌陷第二年有了较大的增长。

表 3 采煤塌陷区植被盖度变化统计表

调查矿区	文献来源	调查时间	未采区/%	2004 年塌陷区/%	2005 年塌陷区/%
大柳塔	Bian Z F 等 <sup>[34]</sup>	2005 年 7 月	36.8	35.6	—
	周莹 <sup>[15]</sup>	2005 年 7 月	36.8	38.4	35.6
	苏敏 <sup>[21]</sup>	2008 年	35.87	—	35.53
	郭洋楠等 I <sup>[17]</sup>	2006 年	36.8	38.4	35.6
	郭洋楠等 II <sup>[17]</sup>	2006 年	52	53.1	37.3
	姚国征 <sup>[18]</sup>	2006/2007 年	33	40	43.7
	姚国征 <sup>[18]</sup>	2006/2007	36.8	35.6	38.4
补连塔	赵国平等 <sup>[14]</sup>	2006 年	—	—	—
	周莹 <sup>[32]</sup>	2005 年 7 月	19.2	32.8	22.1
	郭洋楠等 <sup>[17]</sup>	2006 年	19.8	32.8	22.1
	Bian Z F 等 <sup>[34]</sup>	2005 年 7 月	19.2	22.1	—
	叶瑶	2012 年	77.22	—	75.78
活鸡兔	姚国征 <sup>[18]</sup>	2006/2007	19.2	22.07	32.8
	周莹 <sup>[32]</sup>	2005 年 7 月	47	56	48.5
	郭洋楠等 <sup>[17]</sup>	2006 年	47	56	48.5
	苏敏 <sup>[21]</sup>	2008 年	47.98	—	48.64
榆家梁	Lei S G 等 <sup>[33]</sup>	2005 年 7 月	47	48.5	—
	姚国征 <sup>[18]</sup>	2006/2007	18.4	25.3	16.3
	周莹 <sup>[32]</sup>	2005 年 7 月	33	43.7	40
	郭洋楠等 <sup>[17]</sup>	2006 年	33	43.7	40

注:“—”表示文献中没有调查数据。

虽然补连塔矿区和活鸡兔矿区的调查数据表明植物的生长受到了一定的干扰,且这种干扰有利于新增植物的生长,但是通过进一步的文献查阅后有了新的发现:随着调查年限的增加,补连塔煤矿的非塌陷区植物群落组成始终以杨树(*Populus*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、沙柳(*Salix cheilophila*)等为主要建群种,并没有发生显著变化,而塌陷区植物种类随着塌陷年限的增加发生了很大的变化,塌陷之前以杨柴(*Hedysarum mongolicum* Turcz.)、油蒿、杨树、达乌里胡枝子、沙柳(*Salix cheilophila*)等为主要建群

种,当地表塌陷两年后,达乌里胡枝子已不再是建群种,而以沙米(*Agriophyllum squarrosum* Linn. Moq.)、角蒿(*Incarvillea sinensis* Lam.)、牛心朴子(*Cynanchum komarovii* Al.)等为主的短命或类短命荒漠植被大量着生<sup>[14]</sup>。

3 讨论与结论

地下煤矿的过度开采直接导致地表沉陷,土壤松动,出现了一些斜坡和大小不等的裂缝,使裂缝处原有的优势植物受到损伤,而埋在地下的种子有机会受到光照,萌发而长成植株,进而改变了塌陷区的植被状况和群落组成,使得不同塌陷年限里的植物多样性和植被盖度发生了不同程度的变化。无论是植物种数还是植被盖度,总体上表现出沉陷干扰后大于沉陷前的,且沉陷一年区较沉陷两年区的植物种数多且植被盖度大,但各个矿区指数存在一定差异,表明各矿区有不同的抗干扰能力。但就目前的研究结果来看,由于调查时间较短,不能客观反映塌陷对植被变化规律,因此还需要做进一步的观察与研究。因此,相关研究者需要在综合现有研究结果的基础上,针对目前各个独立研究存在的不足,通过长期的野外调查来完善煤炭开采对植被变化影响的数据资料,并考虑更多的因子如气候、土壤、地形变化等进行综合分析,从而得出更完善和精确的结论。

通过 Meta 分析对神府榆采煤塌陷区的植被变化进行了综合分析,结果表明:经采煤塌陷干扰后,群落的植物种数及植被盖度发生了不同程度的改变。其中,榆家梁矿区受到了较大干扰,塌陷一年后,塌陷区的植被盖度较非塌陷区有所降低,随着塌陷年限的增加,植物种数发生了减少,但植被盖度却出现增加并高于非塌陷区水平,而大柳塔矿区、活鸡兔矿区和补连塔矿区的的结果则表明植物的生长受到了一定的干扰,且这种干扰有利于新增植物的生长,这可以用中度干扰假说来解释,采煤塌陷会导致土壤坡面出现裂缝,使得埋在地下的种子有机会受到光照而萌发。

一般来说,神府榆采煤塌陷区的植被盖度在塌陷发生初期有所下降,塌陷两年后又呈上升的趋势,并超过塌陷前水平。经塌陷干扰后,矿区主要优势种发生较大变化,植物种数在塌陷发生 1~2 a 后有一定程度的增加,且塌陷区新增的植物种多是以沙米、角蒿等为主的短命或类短命荒漠植物,但是对于塌陷时间更长的塌陷地是否也符合这个规律有待于做进一步的研究。

采煤塌陷对植被的影响是通过改变地形、土壤等条件而发生作用的。因此,需要通过长期的野外监测与调查来丰富煤矿开采对植被变化影响的数据资料进行综合分析,从而得出更完善的结论;另一方面,现有的塌陷区植被变化特征分析结果也展示了自然恢复在植被建设中的重要作用。神府榆矿区,以及作为生态环境建设重点实施区域的黄土高原地区的生态建设都应把保护自然植被恢复放在重要位置,在以自然修复为主的前提下,采取人工修复相辅的方法整体推进,以达到改善生态环境的目的。

#### 参考文献:

- [1] 裴晓阳,陈福强. 榆神府矿区景观生态修复模式初探[J]. 陕西教育:高教版,2014(Z1):7-8.
- [2] 范立民. 保水采煤是神府东胜煤田开发可持续发展的关键[J]. 地质科技管理,1998(5):29-30.
- [3] 王双明,范立民,黄庆亨,等. 榆神府区煤水地质特征与科学开采[R]. 第七次煤炭科学技术大会文集(上册),2011.
- [4] 陶虹,李成,柴小兵,等. 陕西神府煤田环境地质问题及成因[J]. 地质与资源. 2010,19(3):249-252.
- [5] 王力,卫三平,王全九. 榆神府煤田开采对地下水和植被的影响[J]. 煤炭学报,2008(12):1408-1414.
- [6] 邹慧,毕银丽,朱郴韦,等. 采煤沉陷对沙地土壤水分分布的影响[J]. 中国矿业大学学报,2014,43(3):496-501.
- [7] 杨逾,刘文生,缪协兴,等. 我国采煤沉陷及其控制研究现状与展望[J]. 中国矿业,2007,16(7):43-46.
- [8] 张平仓,王文龙,唐克丽,等. 神府—东胜矿区采煤塌陷及其对环境影响初探[J]. 水土保持研究,1994,1(4):35-44.
- [9] 张发旺,侯新伟,韩占涛,杨会峰,宋亚欣. 采煤塌陷对土壤质量的影响效应及保护技术[J]. 地理与地理信息科学. 2003,19(3):67-70.
- [10] 胡振琪,毕银丽. 2000年北京国际土地复垦学术研讨会综述[J]. 中国土地科学,2000,14(4):15-17.
- [11] 侯庆春,汪有科,杨光. 神府—东胜煤田开发区建设对植被影响的调查[J]. 水土保持研究,1994,1(4):127-137.
- [12] 道日娜. 陕西神木县大柳塔地区不同年代的地下开矿区地表植被的恢复现状研究[D]. 内蒙古:内蒙古师范大学,2014.
- [13] 胡建忠,殷丽强. 沙棘作为采煤沉陷区主栽树种的生态修复效果:以神东分公司为例[J]. 现代农业科技,2009(10):239-240.
- [14] 赵国平,封斌,徐连秀,等. 半干旱风沙区采煤塌陷对植被群落变化影响研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(1):52-56,85.
- [15] 周莹,贺晓,徐军,等. 半干旱区采煤沉陷对地表植被组成及多样性的影响[C]. 生态学报,2009,29(8):4517-4525.
- [16] 叶瑶,全占军,李俊生,等. 陕西神府风沙地貌采煤塌陷区植被演替特征研究[J]. 2013中国环境科学学会学术年会论文集(第六卷),2013.
- [17] 郭洋楠,胡春元,贺晓,等. 采煤沉陷对神东矿区植被的影响机理研究[J]. 中国煤炭,2014(1):69-72+77.
- [18] 姚国征. 采煤塌陷对生态环境的影响及恢复研究[D]. 北京:北京林业大学,2012.
- [19] 钱者东,秦卫华,沈明霞,等. 毛乌素沙地煤矿开采对植被景观的影响[J]. 水土保持通报,2014,34(5):299-303.
- [20] 于泳,张平仓,胡春元. 补连塔煤矿风沙塌陷区植被分布与生长的研究[R]. 节能环保和谐发展—2007中国科协年会论文集(三),2007.
- [21] 苏敏. 采煤塌陷区土壤养分循环及对生态环境的影响研究[D]. 河北邯郸:河北工程大学,2010.
- [22] 刘英. 神东矿区地表植被与土壤湿度遥感监测研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2013.
- [23] Rosenthal R, Dimatteo M R. Meta-analysis: recent developments in quantitative methods for literature review [J]. Annual Review of Psychology, 2001,52(52):59-82.
- [24] Noble J H. Meta-analysis: methods, strengths, weaknesses, and political uses [J]. Journal of Laboratory and Clinical Medicine, 2006,147(1):7-20.
- [25] Cooper H, Hedges L V, Valentine J C. The Handbook of Research Synthesis and Meta-analysis [M]. New York: Russel l Sage Foundation, 1994.
- [26] 郑凤英,陆宏芳,彭少麟. 整合分析在生态学应用中的优势及存在的问题[J]. 生态环境,2005,14(3):417-421.
- [27] 郭明,李新. Meta分析及其在生态环境研究领域中的应用[J]. 中国沙漠,2009,29(5):112-120.
- [28] Gurevitch J, Hedges L V. Meta-analysis: combining the results of independent experiments [M]. Design and Analysis of Ecological Experiments. New York: Chapman and Hall, 1993.
- [29] Scheiner S M, Samuel M, Gurevitch J, et al. Design and Analysis of Ecological Experiments [M]. New York: Chapman and Hall, 1993.
- [30] Curtis P S, WANG X. A Meta-analysis of elevated CO<sub>2</sub> effects on woody plant mass, form, and physiology [J]. Oecologia, 1998,113(3):299-313.
- [31] Peterson A G, Ball J T, Luo Y Q, et al. The photosynthesis-leaf nitrogen relationship at ambient and elevated atmospheric carbon dioxide: a Meta-analysis[J]. Global Change Biology, 1999,5(3):331-346.
- [32] 周莹. 半干旱区采煤沉陷对地表植被组成及多样性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [33] Lei S G, Bian Z F, Daniels J L, et al. Spatio-temporal variation of vegetation in an arid and vulnerable coal mining region [J]. Mining Science and Technology (China), 2010,20(3):485-490.

## 参考文献:

- [1] 谢作轮,赵锐锋,姜朋辉,等.黄土丘陵沟壑区农村居民点空间重构:以榆中县为例[J].地理研究,2014,33(5):937-947.
- [2] 关小克,张凤荣,刘春兵,等.平谷区农村居民点用地的时空特征及优化布局研究[J].资源科学,2013,35(3):536-544.
- [3] 朱亮,吴炳方,张磊.三峡典型区农村居民点格局及人居环境适宜性评价研究[J].长江流域资源与环境,2011,20(3):325-331.
- [4] 谢保鹏,朱道林,陈英,等.基于区位条件分析的农村居民点整理模式选择[J].农业工程学报,2014,30(1):219-227.
- [5] 双文元,郝晋珉,艾东,等.基于区位优势理论的农村居民点用地整治分区与模式[J].农业工程学报,2013,29(10):251-261.
- [6] 朱雪欣,王红梅,袁秀杰,等.基于GIS的农村居民点区位评价与空间格局优化[J].农业工程学报,2010,(6):326-333.
- [7] 海贝贝,李小建,许家伟.巩义市农村居民点空间格局演变及其影响因素[J].地理研究,2013,32(12):2257-2269.
- [8] 冯应斌.丘陵地区村域居民点演变过程及调控策略[D].重庆:西南大学,2014.
- [9] 曹浩成,谭雪兰,段建南,等.长株潭农村居民点时空格局的演变研究[J].中国农学通报,2012,28(23):181-185.
- [10] 周国华,贺艳华,唐承丽,等.中国农村聚居演变的驱动机制及态势分析[J].地理学报,2011,66(4):515-524.
- [11] 关小克,张凤荣,刘春兵,等.平谷区农村居民点用地的时空特征及优化布局研究[J].资源科学,2013,35(3):536-544.
- [12] 李玉华,高明,吕煊,等.重庆市农村居民点分形特征及影响因素分析[J].农业工程学报,2014,30(12):225-232.
- [13] 刘善开,韦素琼,陈松林,等.基于Voronoi图的农村居民点空间分布特征及其整理潜力评价:以福建省德化县为例[J].资源科学,2014(11):2282-2290.
- [14] 庄至凤,姜广辉,何新,等.基于分形理论的农村居民点空间特征研究:以北京市平谷区为例[J].自然资源学报,2015,0(9):1534-1546.
- [15] 刘明皓,戴志中,邱道持,等.山区农村居民点分布的影响因素分析与布局优化:以彭水县保家镇为例[J].经济地理,2011,31(3):476-482.
- [16] 张霞,魏朝富,倪九派,等.重庆市低山丘陵区农村居民点分布格局及其影响因素[J].中国农业资源与区划,2012,33(3):45-50.
- [17] 王成,费智慧,叶琴丽,等.基于共生理论的村域尺度下农村居民点空间重构策略与实现[J].农业工程学报,2014,30(3):205-214.
- [18] 孔雪松,金璐璐,郗昱,等.基于点轴理论的农村居民点布局优化[J].农业工程学报,2014,30(8):192-200.
- [19] 双文元,郝晋珉,艾东,等.基于区位优势理论的农村居民点用地整治分区与模式[J].农业工程学报,2013,29(10):251-261.
- [20] 刘旻霞,马建祖.甘南高寒草甸植物功能性状和土壤因子对坡向的响应[J].应用生态学报,2012,23(12):3295-3300.
- [21] 祁新华,朱宇,周燕萍.乡村劳动力迁移的“双拉力”模型及其就地城镇化效应:基于中国东南沿海三个地区的实证研究[J].地理科学,2012,32(1):25-30.
- [22] 王新生,郭庆胜,姜友华.一种用于界定经济客体空间影响范围的方法:Voronoi图[J].地理研究,2000,19(3):311-315.
- [23] 刘爱华,谢正观.加权Voronoi图在城镇经济区划分中的应用:以十堰市为例[J].地理与地理信息科学,2011,27(4):79-82.

(上接第282页)

- [34] Bian Z F, Lei S G, Inyang H I, et al. Integrated method of RS and GPR for monitoring the changes in the soil moisture and groundwater environment due to underground coal mining[J]. Environmental Geology, 2009, 57(1): 131-142.
- [35] 马迎宾.采煤塌陷裂缝对土壤水分及地上生物量的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [36] Johnson D W, Curtis P S. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis[J]. Forest Ecology and Management, 2001,140(2):227-238.
- [37] JPT Higgins, S Green. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions[M]. Chichester: Wiley-Blackwell, 2008.
- [38] 陶虹,李成,柴小兵,等.陕西神府煤田环境地质问题及成因[J].地质与资源,2010,19(3):249-252.
- [39] 宋亚新.神府—东胜采煤塌陷区包气带水分运移及生态环境效应研究[D].北京:中国地质科学院,2007.
- [40] Pollock M M, Naiman R J, Hanley T A. Plant species richness in riparian wetlands a test of biodiversity theory[J]. Ecology, 1998,79(1):94-105.
- [41] Huston M. A general hypothesis of species diversity[J]. American Naturalist, 1979,113(1):81-101.
- [42] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs[J]. Science, 1978,199(4335):1302-1310.