蚯蚓粪对鹅掌楸容器苗生长及养分吸收的影响

马丙尧[1]，马海林[1]，刘方春[1]，陈 波[2]，井大炜[2]
（1.山东省林业科学研究院 山东省森林植被生态修复工程技术研究中心，
山东 济南 250014；2.山东农业大学 生命科学学院，山东 泰安 271018）

摘 要：在容器育苗基质中添加体积比为5%～20%的蚯蚓粪，通过无纺布容器育苗试验，研究了不同育苗基质对鹅掌楸根际环境中的微生物数量、根系建造和活力、养分吸收及育苗效果的影响。结果表明，育苗基质中添加蚯蚓粪可不同程度地提高鹅掌楸根际环境中细菌数量和微生物总量，真菌数量有所降低，但对放线菌数量影响差异不显著。蚯蚓粪有利于鹅掌楸根系的生长，尤其是增加了毛细根的重量和在根系体系中的比例，根系活力也有显著提高。此外，育苗基质中加入蚯蚓粪还提高了鹅掌楸根、茎和叶干物质的积累量，虽然对植物体内氮和磷的含量影响较小，但蚯蚓粪的添加显著提高了植物体内钾的含量。同普通育苗基质相比，加入15%体积比例的蚯蚓粪使氮、磷和钾的养分吸收量分别提高了22.23%，15.58%和26.66%。综合分析认为，育苗基质中加入一定比例的蚯蚓粪可显著改善鹅掌楸的根际环境，促进育苗植物对养分的吸收和利用，提高无纺布容器育苗效果。在试验蚯蚓粪添加比例中，育苗基质中添加体积比例为15%的蚯蚓粪效果最为显著。

关键词：鹅掌楸；容器育苗；蚯蚓粪；养分；生长；基质
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2013)02-0251-05 **中图分类号**：S317

Effects of Vermicompost on Growth and Nutrient Uptake of *Liriodendron Chinensis* Container Seedlings

MA Bing-yao[1], MA Hai-lin[1], LIU Fang-chun[1], CHEN Bo[2], JING Da-wei[2]
(1. *Shandong Engineering Research Center for Ecological Restoration of Forest Vegetation, Shandong Academy of Forest, Ji'nan, Shandong* 250014, *China*; 2. *College of Life Science, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong* 271018, *China*)

Abstract: Varying amounts of vermicomposts(5%～20%) were mixed with normal container nursery medium. The effects of vermicompost were studied on microbial populations in rhizosphere, root construction and activity, as well as the growth and nutrient uptake of *Liriodendron chinensis*, using non-wave container nursery technique. The results showed that the addition of vermicompost in nursery medium increased the bacteria population and the total microorganism amount in rhizosphere of *Liriodendron chinensis*, while decreased the fungus population significantly. However, vermicompost had no significant effect on actinomycetes amount. Vermicompost showed beneficial effects on growth and construction of the roots of *Liriodendron chinensis*, especially the weight and ratio of fine roots. Additionally, more root activities were observed with vermicompost addition. The addition of vermicompost in container nursery medium greatly increased the dry matter accumulation of root, stem, and leaf of *Liriodendron chinensis*. However, no significant influence was found on the nitrogen and phosphorous contents, except for potassium content. Compared with normal container nursery medium, addition of 15% vermicompost increased the nitrogen, phosphorous and potassium uptake by 22.23%, 15.58% and 26.66%, respectively. In summary, suitable ratio of vermicompost addition in nursery medium benefited the ecological environment, nursery effect, as well as the nutrients uptake and utilization of *Liriodendron chinensis*. Addition of 15% achieved the best benefits among all the treatments.

Keywords: ***Liriodendron chinensis***; **container seedling**; **vermicompost**; **nutrients**; **growth**; **medium**

收稿日期：2012-04-25 **修回日期**：2012-05-19
资助项目：山东省科技发展计划专项“山东省干旱瘠薄山地集雨造林关键技术研究”(2010GSF10621)；“十一五”国家科技支撑计划重大专项“黄河滩地高效利用模式构建技术试验示范”(2006BAD03A1505-3)
作者简介：马丙尧(1970—)，男(汉族)，山东省昌邑人，本科，高级工程师，主要从事土壤生态与肥料方面的研究。E-mail: mby777@163.com。

育苗是林木栽培的重要环节之一，苗木质量的高低直接关系到定植后植株的成活及生长发育。工厂化容器育苗可与温室、大棚、电子自动喷雾装置等配合使用[1]，具有省工，省力，成本低，效率高，成苗便于远距离运输和机械化移栽，定植后根系活力好，缓苗期短等优势，目前已成为国内外主要的育苗方式。育苗基质是容器育苗的重要组成部分，目前国内外工厂化容器育苗多采用草炭系复合基质，但是，草炭资源分布的不均匀性和不可再生性，已严重影响到容器育苗成本和资源保护。林木容器育苗由于其生长周期长，苗木生长迅速，同普通的蔬菜及农业育苗相比，林木容器育苗对养分的长效性需求更为强烈。林木容器育苗中的养分利用率同样低下。Juntunen 等人[2]研究了不同容器育苗植物对养分的吸收利用，发现只有 15%到 63%氮肥，5%到 31%的磷肥被育苗植物吸收，意味着绝大部分应用的养分流失到土壤、大气及水环境中。缓/控释肥料可大幅度的提高养分利用效率，其在容器育苗中的应用也必将得到重视。但由于目前缓/控释肥料主要为各种包膜肥料，价格昂贵，增加育苗成本[3-4]，因此，寻求养分含量高，且适宜林木容器育苗的基质显得尤为重要。

蚯蚓消解农业有机固体废弃物的产物，其养分含量高，具有良好的团粒结构、孔隙性、通气性、排水性和持水性[5]，作用特点类似于泥炭等物质，可促进农作物生长，提高作物产量[6-7]，在园艺、蔬菜育苗基质上也有较多的应用[8-9]，但在林木容器育苗上的应用还未见报道。鹅掌楸(*Liriodendron chinensis* Hemsl.)是中国特有的珍稀植物，为木兰科鹅掌楸属落叶大乔木，生长快，耐旱，对病虫害抗性极强，是珍贵的行道树和庭园观赏树种，也是建筑及制作家具的上好木材。因此，本研究选用经蚯蚓吞食牛粪后产生的蚓粪为基础材料，部分替代泥炭作为容器育苗基质，以鹅掌楸根系研究为切入点，研究不同蚓粪添加量对鹅掌楸生长和养分吸收等的影响，为蚯蚓粪的进一步资源化利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验处理

育苗采用基质材料主要有草炭、蛭石和珍珠岩，草炭来自吉林省梅河口市山城镇，蛭石和珍珠岩为常用材料。按照体积比草炭∶蛭石∶珍珠岩＝3∶1∶1的比例混合作为对照育苗基质。基质的 pH 值为 5.24，容重为 0.21 g/cm^3，毛管孔隙度和持水空隙度分别为 69.56%和 24.37%，阳离子代换量为 41.92 cmol/kg。蚯蚓粪为蚯蚓吞食牛粪后的产物，在对照育苗基质中加入体积比为 0%，5%，10%，15%和 20%的蚯蚓粪，并配施速效养分制成等养分含量的不同育苗基质，分别作为处理 1～5。试验采用随机区组设计，每个处理 3 次重复。

1.2 试验方法

1.2.1 *育苗容器的制备、播种及管理* 将不同基质材料用 0.1%多菌灵消毒后，按照试验处理将基质材料和蚯蚓粪混合均匀，装入山东省林业科学研究院研制的 LKY-1 型无纺布育苗成型机中，制备出无纺布容器基质，置专用带孔托盘上于山东省林业科学研究院试验苗圃。无纺布育苗容器为圆柱形，其规格为高 12 cm，直径 9 cm。种子经消毒、催芽后依要求的深度每杯播 4 粒于容器基质中。每处理 24 个育苗容器，重复 3 次，出苗后第 15 d，每个育苗容器中定苗 1 株。每天用自动喷雾系统定时浇水，保证育苗期间的水分供应，进行常规育苗管理。

1.2.2 *样品采集及数据测定* 根际样品的取样方法采用剥落分离法，将带基质的植株样品取出，轻轻抖动，粘附在根系上的作为根际土壤样品。取样后样品立即进行土壤微生物数量的测定。微生物数量采用稀释平板计数法，细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基；放线菌采用改良高氏 1 号培养基；真菌采用马丁—孟加拉红培养基。2011 年 10 月 18 日将育苗苗木收获，将鹅掌楸植株按照根、茎、叶采集样品，称其鲜重。其中根系按照：＜2 mm，2～5 mm 和＞5 mm 进行分级，分别称其鲜重和总鲜重。称重后选取＜1 mm 的根系，利用 0.4%的 TTC 溶液测定根系活力。植物样品在杀青、烘干后称其干重，分别采用 H_2SO_4—H_2O_2—蒸馏法、钒钼黄比色法和火焰光度计法测定其氮、磷和钾的含量。并计算鹅掌楸苗木对养分的总吸收量。

1.3 统计方法

采用 Excel 2007 处理数据并制图，采用 SAS 软件对鹅掌楸的生物量、养分含量及养分吸收量进行多重比较(LSD 法，$p<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 微生物数量

根际是植物—土壤—微生物相互作用的特殊生态环境，根际微生物数量和种类是表征土壤肥力的主要生物学指标，对植物根系生长和养分吸收具有重要作用[10]。由表 1 可以看出，不同配比的试验基质对细菌，放线菌，真菌和微生物总量产生了不同的影响。各处理间细菌的数量差异达显著水平，育苗基质中添加蚯蚓粪可不同程度的提高细菌数量。处理 4 显著

高于其他试验处理，分别其他处理提高了 63.50%，34.94%，17.28%和 21.08%。随着育苗基质中蚯蚓粪比例的增加，细菌数量呈现逐渐增加的趋势，在添加比例为 15%时达到最高值，而蚯蚓粪的比例再增加，细菌数量反而有所降低。由此可见，在育苗基质中添加一定比例的蚯蚓粪，可不同程度地提高细菌数量，但并非添加比例越高，土壤中的细菌数量就越高。各处理中放线菌的数量差异并未达显著水平，添加蚯蚓粪并未对育苗基质中放线菌数量产生大的影响。就真菌而言，添加一定比例的蚯蚓粪，可一定程度上降低真菌的数量，同处理 1 相比，添加蚯蚓粪的 4 个处理中真菌数量分别降低了 24.79%，29.20%，46.00%和 38.29%，真菌数量变化规律同蚯蚓粪添加比例之间的规律不明显。由于微生物总量以细菌为主，不同育苗基质间微生物总量变化规律同细菌规律基本一致。结果表明，育苗基质中添加蚯蚓粪对土壤中微生物数量，尤其是细菌和真菌具有明显的影响，其作用效果取决于蚯蚓粪的添加比例。

表 1　蚯蚓粪对鹅掌楸根际环境中微生物数量的影响　cfu/g

处理	细菌/10^6	放线菌/10^5	真菌/10^4	微生物总量/10^6
1	1.37(0.14)^c	0.49(0.05)^a	3.63(0.26)^a	1.46(0.11)^c
2	1.66(0.19)^b	0.53(0.06)^a	2.73(0.26)^b	1.74(0.18)^{bc}
3	1.91(0.16)^b	0.46(0.05)^a	2.57(0.31)^b	1.9 (0.17)^b
4	2.24(0.19)^a	0.51(0.05)^a	1.96(0.20)^c	2.31(0.19)^a
5	1.85(0.13)^b	0.48(0.04)^a	2.24(0.27)^{bc}	1.92(0.14)^b

注：括号内数据为标准差；同列不同小写字母表示在 LSD 0.05 水平差异显著，下同。

2.2　根系构建

植物根系的建造水平对养分及水分的吸收有着不可忽略作用。从图 1 可以看出，容器育苗基质中加入不同比例的蚯蚓粪对鹅掌楸根系的总鲜重及建造水平产生了很大的影响。从根系绝对重量来看，处理 4 中＜2 mm 的根系明显大于其他 4 个处理，而 2～5 mm 和＞5 mm 的根系，5 个处理之间未见明显差异。此外，5 个处理中＜2 mm 根系所占比例分别为 34.46%，40.17%，41.37%，45.88%和 44.77%。由此可见，随着容器育苗基质中蚯蚓粪添加比例的增加，鹅掌楸根系建造中，细根的比例有逐渐增加的趋势。当添加比例为 15%时，细根所占比例基本达到最大值。从根系总鲜重来看，蚯蚓粪的加入同样对根系生长产生了显著影响，同处理 1 相比，4 个处理的根系总鲜重分别增加 1.94%，10.35%，18.97%和 8.07%。由此可见，育苗基质中添加一定比例的蚯蚓粪，有利于鹅掌楸根系的生长，尤其是促进了毛细根数量的增加，这明显有利于鹅掌楸对基质中养分和水分的吸收。

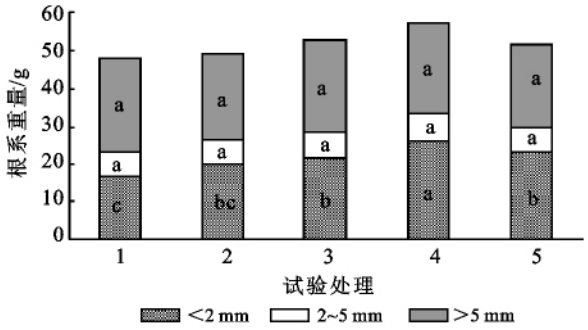


图 1　不同试验处理对鹅掌楸根系构建水平的影响

2.3　根系活力

根系活力是反映根系对养分吸收能力的综合体现。根系活力与根系干物质重量并没有必然的联系，因此，在根系重量的基础上研究其活力是必须的。由图 2 可以看出，不同试验处理根系活力差异显著。处理 1 的根系活力为 135.43 μg/(g·h)，分别比其他蚯蚓粪添加处理降低 7.46%，11.03%，19.53%和 12.33%。而在添加蚯蚓粪的几个处理中差异同样达显著水平，处理 4 显著高于其他试验处理，说明在育苗基质中加入 15%蚯蚓粪对鹅掌楸根系活力的提高效果最为明显。由此可见，蚯蚓粪不仅可以促进育苗植物毛细根的生长，还可不同程度的提高鹅掌楸的根系活力，这也反映了蚯蚓粪的加入对育苗植物吸收养分是有利的。

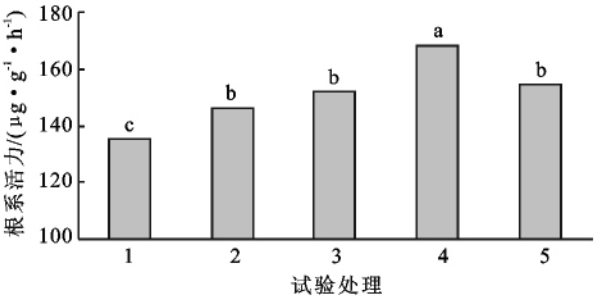


图 2　不同试验处理对鹅掌楸根系活力的影响

2.4　生长及养分吸收量

由表 2 可以看出，同处理 1 相比，育苗基质中添加不同比例的蚯蚓粪可不同程度的提高鹅掌楸根、茎和叶的干物质量。综合来看，处理 4 效果最为明显，其根、茎和叶的干物质量分别比处理 1 增加了 23.81%，22.79%和 13.83%。由此可见，蚯蚓粪的加入对于育苗植物干物质积累有一定的积极作用。从干物质中的养分含量可以看出，处理 3 和处理 4 的全钾含量显著高于其他试验处理，而全氮和全磷含量，各试验处理差异不显著。添加蚯蚓粪不同程度的

提高了鹅掌楸总的养分吸收量。同处理 1 相比，处理 4 对氮、磷和钾的总养分吸收量分别增加 22.23%，15.58%和 26.66%，差异达显著水平。而在添加不同比例蚯蚓粪的处理中，随着蚯蚓粪添加比例的增加，鹅掌楸的总养分吸收量有不断增加的趋势，而在添加比例达到 10%时，氮的总养分吸收量达到最大值，而在添加比例为 15%时，磷和钾的总吸收量达到最大值，蚯蚓粪的比例再增加，鹅掌楸对养分的吸收量不再增加，甚至有不同程度的降低。综上分析认为，在育苗基质中添加一定比例的蚯蚓粪，虽然对干物质中的养分含量影响不大，但增加了鹅掌楸的干物质积累量，增加了植物对养分的总吸收量。

表 2 不同处理对鹅掌楸干物质量、养分含量和养分吸收量影响

处理	干物质量/(g·plant^{-1})			养分含量/(g·kg^{-1})			养分吸收量/(mg·plant^{-1})		
	根	茎	叶	N	P	K	N	P	K
1	4.83^{c}	2.37^{c}	1.88^{b}	1.61^{a}	0.56^{a}	0.78^{b}	146.19^{b}	50.85^{c}	70.82^{c}
2	5.41^{b}	2.58^{bc}	1.93^{b}	1.57^{a}	0.56^{a}	0.81^{b}	155.74^{b}	55.55^{bc}	80.35^{b}
3	5.52^{b}	2.62^{bc}	2.17^{a}	1.69^{a}	0.57^{a}	0.87^{ab}	174.24^{a}	58.77^{b}	89.70^{b}
4	5.98^{a}	2.91^{a}	2.14^{a}	1.62^{a}	0.60^{a}	0.89^{a}	178.69^{a}	66.18^{a}	98.17^{a}
5	5.47^{b}	2.72^{b}	2.14^{a}	1.62^{a}	0.58^{a}	0.79^{b}	167.35^{ab}	59.91^{b}	81.61^{b}

3 讨 论

根际环境中的微生物数量远大于根外环境中数量[11]。因此，本研究测定了鹅掌楸根际环境中的微生物数量。植物根际并不仅仅是细菌之间的相互关系，实际上是受到根系活力影响的一定体积的土壤。同时根际又是一个由植物根系、细菌、真菌、放线菌及土壤动物组成的多因素相关联的复杂系统[12-13]。大量研究结果表明[7]，施用有机肥或有机—无机肥可提高土壤细菌、真菌和放线菌数量。这一结论在本试验中进一步得到证实。虽然本研究的育苗试验是在以草炭为主的育苗基质中进行，有机质含量比较高，但草炭中的有机质比较稳定，并不容易被一些微生物降解，因此，在育苗基质中加入一定比例的蚯蚓粪同样提高了根际区域的细菌和微生物总量。这也从侧面说明大部分微生物实际上处于一种低营养状态[14]，当蚯蚓粪加入土壤后，不仅将本身的一些微生物菌群间接“接种”到鹅掌楸根际环境中，同时为一些固有微生物群落提供了新的能源，使微生物在种群数量和结构比例上发生较大的改变。此外，蚯蚓粪的加入可一定程度上降低根际环境中真菌的数量，真菌多为一些致病真菌，这在一些易产生病害植物的育苗中具有重要意义。而鹅掌楸育苗时病害发生较少，效果并不明显。

在育苗基质中加入一定比例的蚯蚓粪，不仅可以提高鹅掌楸毛细根的绝对重量，增加细根在整个根系体系中的比例，同时还提高了根系活力。这对育苗植物养分和水分的吸收具有积极作用。植物根系有很强的合成功能，能够合成氨基酸、植物碱和维生素等；而且在植物的整个生长期间，进行着很活跃的代谢作用，向根外分泌无机和有机物质，这些分泌物是根际微生物的重要营养来源和能量来源[15]。此外，这些分泌物对于溶解一些有机形态的及难以直接利用养分的吸收同样具有积极的作用[14]。可以认为，蚯蚓粪的加入可在鹅掌楸根际环境中形成“根系活性增加—微生物数量增加—促进养分吸收”的良性循环。

大量研究表明[16]，有机肥与化肥配施可提高肥料利用率。孟琳等人[17]研究认为，有机肥料氮与化肥氮配施能获得比单施化学氮肥处理更高或持平的稻谷产量并有效地提高水稻的氮肥利用率，朱菜红等人[18]也得出相似的试验结论。本研究结果认为，育苗基质中加入蚯蚓粪不仅增强了育苗植物对养分的吸收，而且促进了育苗植物的生长，促进了鹅掌楸根、茎和叶的干物质积累。同一般的农业或园艺育苗相比，林木容器育苗最主要的特征就是育苗周期长，育苗植物对养分的需求周期随之延长，这就要求育苗基质中的养分释放具有一定的持续性。蚯蚓粪中的养分多为一些有机的、具有一定缓释特征的、可供植物长期吸收利用的形态。因此，蚯蚓粪的加入促进了育苗植物对养分的吸收利用，尤其是满足了植物生长后期对养分的需求。添加不同比例的蚯蚓粪同样对育苗效果产生了很大影响，在试验的 4 个不同添加比例中，以添加 15%的蚯蚓粪效果最为明显。这说明蚯蚓粪比例添加量过大，会导致育苗植物生长前期养分匮乏，而添加量过小，则对植物生长后期的养分吸收产生不利响应。因此，只有在育苗基质中添加适当比例的蚯蚓粪，才能更有效地提高养分利用效率，促进育苗植物的生长。

[参 考 文 献]

[1] 马海林，刘方春，马丙尧，等. 不同容器基质苦楝的育苗效果及其评价[J]. 中国农学通报，2011，27(16)：27-31.

[2] Juntunen M L, Hammar T, Rikala R. Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers[J]. J. Environ. Qual.,2002, 31(6): 1868-1874.

[3] Zheng Shengxian, Nie Jun, Dai Pinan, et al. Nitrogen recovery and nitrate leaching of controlled release nitrogen fertilizer in irrigated paddy soil[J]. Agr. Ecosyst Environ, 2004, 5(3): 1-10.

[4] 刘方春,邢尚军,段春华,等. 腐殖酸缓效肥料的 NO_3^-—N 田间淋溶及土壤残留[J]. 环境科学,2010,31(7):1619-1624.

[5] 王小治,王爱礼,王守红,等. 蚯蚓粪作为坪床基质对草坪草生长的影响[J]. 生态与农村环境学报,2011,27(3):64-68.

[6] Atiyeh R M, Lee S, Edwards C A, et al. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth[J]. Bioresource Technology, 2002, 84(1):7-14.

[7] Arancon N Q, Edwards C A, Bierman P, et al. Influence of vermicomposts on field strawberries: Effects on growth and yields[J]. Bioresource Technology, 2004, 93(2): 145-153.

[8] 吕振宇,马永良. 蚯蚓粪有机肥对土壤肥力与甘蓝生长、品质的影响[J]. 中国农学通报, 2005,21(12):236-240.

[9] 赵海涛,吴海波,单玉华,等. 蚓粪复合基质对辣椒幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2010,26(12):147-153.

[10] 李潮海,王小星,王群,等. 不同质地土壤玉米根际生物活性研究[J]. 中国农业科学,2007,40(2):412-418.

[11] 靳正忠,雷加强,李生宇,等. 流动沙漠腹地灌木根际土壤微生物[J]. 应用与环境生物学报. 2010, 16(6): 759-764.

[12] Weyens V, Lelie D, Taghavi S, et al. Exploiting plant-microbe partnerships to improve biomass production and remediation[J]. Trends in Biotechnology 2009, 27(10):591-598.

[13] Campbell R, Greaves M P. Anatomy and Community Structure of the Rhizosphere[M]// Lynch J M. The Rhizosphere. Chichester: John Wiley and Sons, 1990: 11-34.

[14] Carvalhais L C, Dennis P G, Fedoseyenko D, et al. Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorus, potassium, and iron deficiency[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2011,174(1): 3-11.

[15] Bertin C, Yang Xiaohan, Weston L A. The role of root exudates and allelochemics the inrhizosphere[J]. Plant Soil, 2003, 256(1): 67-83.

[16] Krey T, Caus M, Baum C, et al. Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and organic fertilization on P nutrition of *Zea mays* L. and *Brassica napus* L.[J]. J. Plant Nutr. Soil Sci., 2011, 174(4): 602-613.

[17] 孟琳,张小莉,蒋小芳,等. 有机肥料氮替代部分化肥氮对稻谷产量的影响及替代率[J]. 中国农业科学,2009, 42(2): 532-542.

[18] 朱菜红,董彩霞,沈其荣,等. 配施有机肥提高化肥氮利用效率的微生物作用机制研究[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2): 282-288.

(上接第 250 页)

[17] 魏义慧. 改革开放以来石河子垦区城镇化发展:问题与对策[J]. 区域经济,2011(7):62-63.

[18] 赵晓燕. 基于 GIS 的西安市城市景观格局分析及其优化对策[D]. 陕西 西安:西北大学,2007.

[19] 刘盛和,吴传钧,沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报,2000,55(4):407-416.

[20] 王厚军,李小玉,张祖陆,等. 1979—2006 年沈阳市城市空间扩展过程分析[J]. 应用生态学报,2008,19(12): 2673-2679.

[21] 赵昕,胡召玲. 遥感技术在城市扩展中的应用研究:以江苏省徐州市为例[J]. 徐州师范大学学报:自然科学版,2006,24(2):67-73.

[22] 康红刚,孙希华. 基于 RS/GIS 的城市扩展及驱动机制研究:以济南市为例[J]. 地域研究与开发,2009,28(3):135-139.