

岷江上游林农边界效应对植被生物量的影响^{*}

问青春^{1,2}, 李秀珍¹, 贺红士^{1,3}, 李丽光⁴, 常禹¹, 何兴元¹, 杨兆平^{1,2}
(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3 美国密苏里大学, 哥伦比亚 65211; 4. 中国气象局大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要: 边界效应是当前生态学领域的研究热点之一, 但对于生物量的边界效应关注很少。生态系统尺度上的边界效应研究, 多采用野外样线法获取数据。以岷江上游林农边界为例, 对生物量的边界效应进行了分析。通过在野外布设样线获取边界上的生物量数据, 同时应用地理信息系统从遥感影像中提取边界上的植被 NDVI 运用地面调查数据对 NDVI 值进行验证的结果表明, 用 NDVI 来反映植被生物量具有可信性。对两种数据进行初步统计分析, 并应用移动窗口法对生物量的边界效应进行了定量判定, 研究结果表明: 1) 在林农边界上, 林地边缘的生物量低于林地内部的生物量, 边界效应范围为 60 m 到 65 m, 农田边缘的生物量高于农田内部, 边界效应范围为 60 m 到 90 m; 2) 基于野外数据和基于 NDVI 的边界效应判定结果基本一致, 用 NDVI 作为生物量的指标进行边界效应分析是可行的; 3) 在分析生物量的边界效应时, 研究范围取 200 ~ 300 m 较为合适, 研究粒度取 30 m 较 10 m 效果更佳。

关键词: 林农边界; 生物量; NDVI 边界效应

中图分类号: X24 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529 6579 (2007) 02 0087-05

边界的存在使生态系统边缘的生物因子和非生物因子不同于生态系统内部, 这即是边界效应。目前国内外关于边界效应的研究很多, 涉及生物因子和环境因子诸多方面^[1-5], 但对生物量边界效应的关注却极少。生物量是生态系统内生物因子和环境因子共同作用的结果, 其边界效应是边界效应的最终结果和最直观体现, 可以作为评价边界态势 (边界优势或边界劣势) 的重要方面^[6]。

边界效应的研究就其数据来源有两种方法: 野外样线法和遥感地理信息系统方法。野外样线法所获数据精准, 但不适合大尺度研究; 遥感地理信息系统方法不受野外条件限制, 适用于大尺度研究, 但数据可信性必须经过验证。本文分别对林农边界上的生物量和 NDVI 进行分析, 研究边界效应对两侧林地生态系统和农田生态系统生物量的影响, 同时验证 NDVI 作为生物量指标用于边界效应分析的可行性, 为大尺度上的研究提供参考。同时为岷江上游高山峡谷区实施退耕还林和天然林保护工程提供理论依据。

1 研究区概况

岷江上游位于东经 102°00′ - 104°00′, 北纬

30°45′ - 33°10′ 之间, 地处中纬度亚热带北缘与暖温带交接地带。在地貌上属于青藏高原东缘向四川盆地过渡地带, 以中高山为主。地势上为一个由西北向东南倾斜的大斜面, 海拔由 730 m 左右直至 5 000 m 以上, 具有海拔高、起伏大、坡度陡的特点。行政上隶属四川省阿坝羌族藏族自治州, 面积 23 000 km²。大致以松潘南部的镇江关向西至黑水一线以北为高原地貌, 以南为高山峡谷。区内人口密度小, 垦殖率低, 农业主要是河谷农业, 集中分布于岷江干流及其主要支流黑水河、杂谷脑河等河谷地带。

2 研究方法

2.1 数据获取及预处理

获取研究区 2000 年 7 月 TM 遥感影像, 在 ERDAS Image8.7 中对其进行几何校正等预处理, 并提取研究区的 NDVI 图层。在 2000 年的影像上选取 3 个农林边界样地, 记为样地 1、样地 2、样地 3。对每条边界向两侧依次各作 10 条 30 m 宽的缓冲带, 在 ArcMap 下的空间分析模块中应用 Zonal Statistics 命令得到每条缓冲带的平均 NDVI 作为林农边界上的 NDVI 数据。其中样地 3 林边界一侧的

^{*} 收稿日期: 2006 - 06 - 01
基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2002CB111506)
作者简介: 问青春 (1979 年生), 女, 博士生; E-mail: falling1979@163.com.
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

林地面积较小，所以只取 150 m 的样，农田一侧仍取 300 m。

将样地 1 作为实测样地，该样地为典型上林下农的坡面，林地为油松华山松林，农田是花椒地。2005 年 7 月在样地设置样线，估测边界上的生物量，样线布设如下：从林缘分别向林地内部和农田内部拉 300 m 长的样线，每 10 m 做一个 2 m×2 m 样方，估测其地上生物量，将生物量范围定性标准化为 0~10 级，裸地为 0 生长旺盛的成熟林地生物量为 10 在同一坡面上做了 3 条互相平行的重复样线，间隔 10 m。将野外记录的样线数据在 Excel 中整理，将 3 条样线对应位置上的样方数据平均，作为林农边界上的生物量数据。

2.2 研究方法

边界效应的判定采用移动窗口法 (Moving Splitwindow Analysis)。该方法通过计算相邻样点间数据的相异性来判断边界的位置和范围。在计算的过程中，窗口宽度表示窗口移动一次参加计算的样点数，所计算的相异性就是前半个窗口中所有样点的数据与后半窗口中所有样点的数据的差异，相异性计算的指标采用普遍使用的欧氏距离平方，

窗口越来越大也就是观察尺度越来越大，用移动窗口软件计算出不同窗口宽度条件下样线上不同位置的欧氏距离平方 (SED) 后，以 SED 为纵坐标，样线位置为横坐标作图，依据图像斜率的变化来判断景观边界的状态。峰值的出现表明此处植被发生了明显的变化，半峰的宽度及位置表示边界效应的影响范围，据此可以判定边界效应的影响域，关于移动窗口法的详细介绍可以参考常禹、李丽光等的研究^[7-9]。

3 分析与结果

3.1 边界效应的初步分析

3.1.1 野外数据的初步分析及对遥感数据的验证

图 1A 为野外实测的林农边界上的生物量。从图中可以看出林地的生物量明显高于农田的生物量，但两者内部又各有波动。为了更明显的看出生物量的变化趋势，将观察粒度放大到 30 m，即将每 30 m 内的 9 个样方数据平均为一个，如图 1B 所示，从边界往农田内部深入生物量一直降低，至 60 m 处，然后出现平稳波动，农田内部生物量低于边界处农田生物量；从边界处往林地内部深入，林地

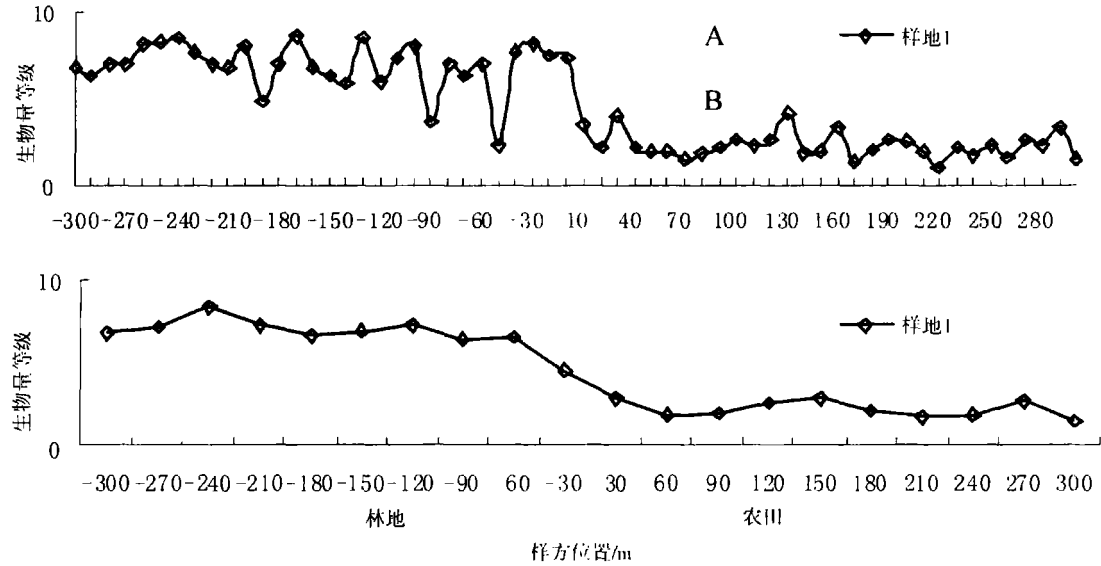


图 1 林农边界上的生物量变化

Fig. 1 Edge effect on biomass between forest and farm land

A: 观察粒度为 10 m, B: 观察粒度为 30 m

120 m 以内的生物量全部高于 120 m 以外，说明林地生物量在边界附近是减小的。

为了验证 NDVI 在本研究中反映生物量的可信性，将 60 个样方根据其野外 GPS 定位点在 ArcView 中生成点图层，在 ArcMap 中应用 Zonal Statistics 命令得到每个样方所在像元的 NDVI 将分布在同一像

元里的样方数据平均后作为该像元所对应的实测生物量数据。共得到 20 个像元的生物量数据和 NDVI 对其进行二元定距皮尔森系数相关分析，分析的结果显示 NDVI 和生物量等级的相关系数为 0.836 ($P < 0.01$)，达到高度相关，因此在本研究中用 NDVI 来反映生物量的变化特征具有可信性。

3.1.2 遥感数据的初步分析 对在影像上取样的 3 条农林边界 NDV I 的分析结果如图 2 所示。从农田过渡到林地 NDV I 变化明显，农田和林地内部的 NDV I 起伏较小，林地边缘的 NDV I 明显低于林地内部，从边界向林地内部深入时，NDV I 逐渐增加，直至林地内部 90 m，其中样地 1 从林地内部 90 m 继续往林地内部深入时，NDV I 仍是增加的，一直持续到林地内

部 180 m，只是增加的幅度变小。从边界向农田内部深入时，NDV I 逐渐降低，其中样地 1 微幅降低至农田内部 150 m，样地 2 降低幅度较大，持续到农田内部 60 m，样地 3 降低趋势最明显，除了在农田 150 m 和 210 m 两处 NDV I 出现轻微回升外，农田从边界直到 300 m 之间 NDV I 基本呈下降趋势。

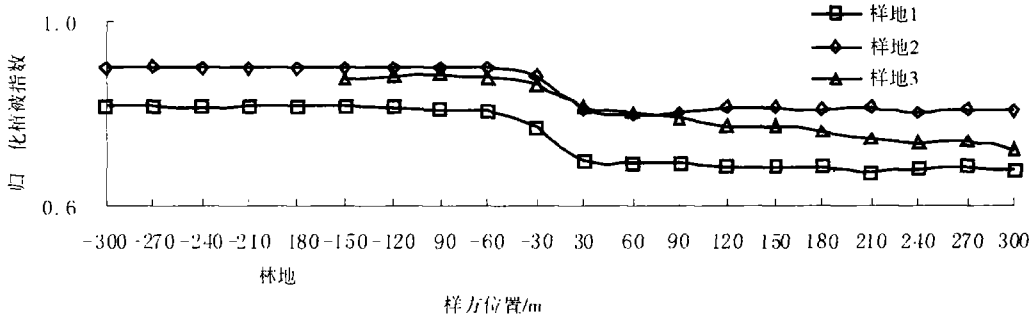


图 2 林农边界上 NDV I 值的变化（2000 年）
Fig.2 Edge effect on NDVI between forest and farm land

农田边缘的生物量高于农田内部而林地边缘的生物量低于林地内部，可能是由于靠近林缘的农田因林地的蓄水能力获得了更适宜的土壤湿度，从而有更高的生物量。另一个原因可能是农田为花椒地，人工管理措施很少，靠近林地的农田边缘有很多边缘种，包括一些小乔木，这无疑会增加农田边缘的生物量。而森林边缘生物量低于森林内部则可能是由于林地边缘比林地内部受到更多的人为干扰和自然干扰，比如践踏、采摘等人为干扰会直接减少森林生物量，而林缘较大的风速则会降低土壤水分，间接影响林缘生物量。

3.2 移动窗口法分析结果

3.2.1 基于野外数据的分析结果 首先让窗口宽度为 2，即两个样方的长度，然后将窗口依次设为 4 - 36，步长为 2，分别计算各窗口宽度上两个半窗口间的相异性。

当窗口宽度为 2 - 10 时，波形变化较大，没有稳定的波峰出现，窗口宽度为 12 - 24 时，波形仍有变动，但逐渐出现一位置固定在 10 m 处的波峰，窗口宽度等于 26 到 30 时，波形稳定，惟一的波峰位置固定在 10 m 处，为边界效应影响域判定的最佳窗口宽度（图 3A，B，C）。波峰出现在 10 m 处说明当移动窗口将样线在 -10 m（林地边缘）和 10 m（农田边缘）之间平时时，欧氏距离平方出现最大值，这和野外数据是吻合的。根据半峰宽法判断，边界效应对生物量的影响范围从林地内部的 65 m 到农田内部的 70 m，共为 135 m。

3.2.2 基于 NDV I 的分析结果 将影像上的 3 条农林边

界上的 NDV I 值进行移动窗口分析，结果如图 4 所示。

样地 1：将窗口宽度依次设为 2，4，6，8，10，12，14，当窗口宽度为 2 时欧氏距离平方曲线出现少量噪声并在林农边界处出现一明显波峰，随窗口宽度增大，噪声很快消失，波峰的幅度变宽，在窗口宽度为 8 - 10 即 240 m ~ 300 m 时稳定（图 4A，B）。根据半峰宽法判断，边界效应影响域约从林地 60 m 到农田 75 m，共为 135 m。

样地 2：窗口宽度从 2 变化到 14，唯一波峰位置稳定在边界上，波幅渐宽，在窗口宽度为 6 - 8 即 180 ~ 240 m 时稳定，根据半峰宽法判断，边界效应影响域从林地 60 m 到农田 60 m，共为 120 m。

样地 3：令窗口宽度依次为 2，4，6，8，10，当窗口宽度为 6 - 8 即 180 ~ 240 m 时波形趋于稳定，由于林地一侧样线较短，从移动的结果中看不出边界效应对林地的影响域，根据半峰宽法，农田的边界效应影响域为 90 m。

比较以上分析结果可知，不同林农边界上，边界效应对生物量的影响范围是不一样的，根据 Fraver 等人的研究，边界效应的强度和深度受边界所处的方位、地势甚至时间等多种因素的影响^[10-11]。3 条边界上生物量边界效应范围不同可能和每条边界所处的坡度、坡向、小气候甚至边界一侧林地面积的大小有关。

对同一条边界样地 1，基于 2000 年 NDV I 的判定结果显示，生物量的边界效应范围从林地 60 m 到农田 75 m，基于 2005 年野外数据边界效应判定结果显示生物量的边界效应范围约从林地 65 m 到农田

70 m。说明 5a 间生物量的边界效应范围发生了轻微的变化，应与两侧生态系统的正常波动有关，基于遥感数据的判定和基于野外数据的判定结果基本一致。

根据以上判定结果，边界效应对农田和林地生物量影响均未超出 100 m 的范围，说明本文的取样范围已经足够，结合实际情况，认为对两侧生态系统各取 200~300 m 的研究范围较为合适。

虽然研究粒度较大分辨率会降低，但在本研究

中应用移动窗口法分析的结果表明，基于 NDVI 所得的欧氏距离平方曲线较基于野外实测数据所得的欧氏距离平方曲线在窗口较小时有较少的噪音，而且前者较后者更快达到波峰位置的固定和波形的稳定，这说明在所选样地中林农边界对两侧生物量的影响粒度更接近 30 m。因此，在本研究中，TM 影像就其分辨率来说，也是适用于生物量的边界效应研究。

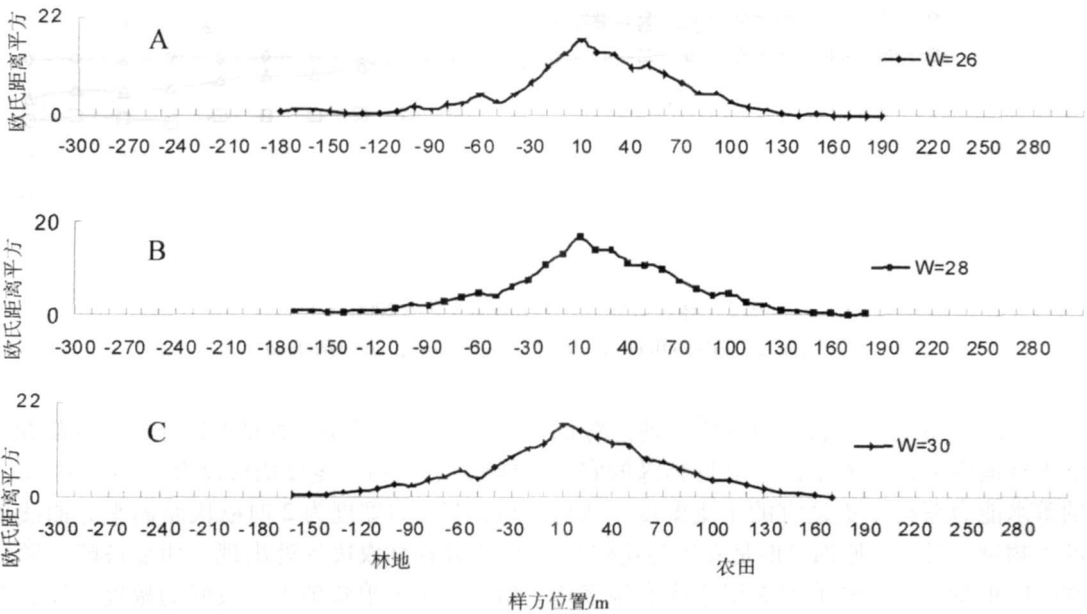


图 3 基于野外数据的生物量边界效应判定 (样地 1)

Fig. 3 Depth of edge effect on biomass determination by moving split window method with field data (sample 1)

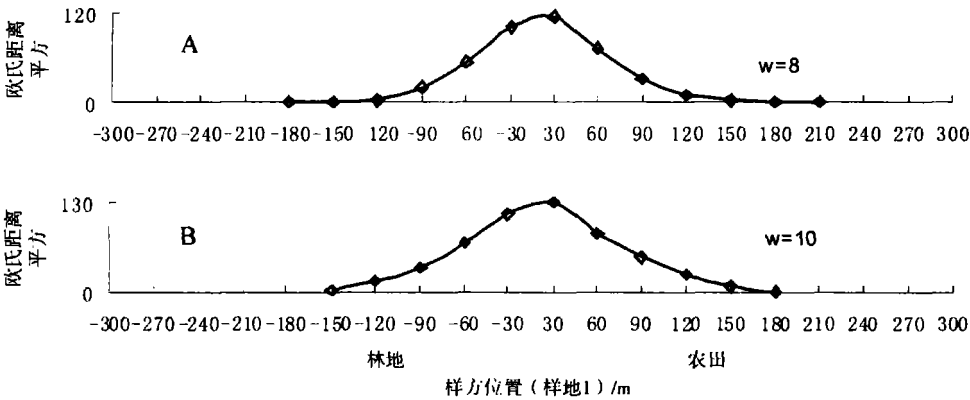


图 4 基于 NDVI 的生物量边界效应判定

Fig. 4 Depth of edge effect on biomass determination by moving split window method with NDVI

4 小 结

通过野外实测和从遥感影像中提取 NDVI 两种途径来获取林农边界上的生物量数据，对边界上生物量变化进行研究，并应用移动窗口法对生物量的边界效应范围进行定量判定，研究结果如下：

- ①在林农边界上边界效应使农田边缘生物量高于农田内部生物量，而使林地边缘生物量低于林地内部生物量；
- ②对野外实测生物量的分析结果显示，边界效应对林地生物量的影响域为 65 m，对农田生物量的影响域为 70 m。对同一条样线的 NDVI 数据进行分析，边界效应的影响域为从林地 60 m 到农田

75 m。野外数据和遥感数据分析结果基本一致, 研究区把 NDVI 作为生物量指标进行边界效应研究可行; ③对多条样线上边界效应的分析结果显示, 边界效应对林地生物量的影响范围为 60 m ~ 65 m; 边界效应对农田生物量的影响范围为 60 m 到 90 m; ④在研究区对林农边界上生物量的边界效应进行定量判定时, 对于两侧生态系统研究范围各取 200 ~ 300 m 很合适, 研究粒度取 10 m 稍小, 30 m 较合适。

参考文献:

[1] SKLENICKA R, LHOTA T, CECETKA J. Soil porosity along a gradient from forest edge to field [J]. *Die Bodenkultur*, 2002, 53(4): 191 – 197.

[2] 郭庆华, 喻红, 曹艳丽, 等. 北方森林草原生态过渡带的遥感研究 [J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 1999, 35(4): 550 – 557.

[3] 胡进耀, 苏智先, 何晓英. 利用红外光谱分析珙桐幼树氮素状况的边缘效应 [J]. *植物生态学报*, 2003, 27(5): 650 – 654

[4] PIESSENS K, HONNAY O, DEVLAEENCK R, et al. Biotic and abiotic edge effects in highly fragmented heath lands adjacent to crop land and forest [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 114: 335 – 342.

[5] STORCH J, WOHLKE E, KRIEGER S. Landscape scale edge effect in predation risk in forest landscape mosaics of central Europe [J]. *Landscape Ecology*, 2005, 20: 927 – 940.

[6] 卫丽, 高亮, 杜心田, 等. 生物系统边缘效应定律及其在农业生产中的应用 [J]. *中国农学通报*, 2003, 19(5): 99 – 102.

[7] 常禹, 布仁仓, 胡远满, 等. 长白山北坡苔原—岳桦景观边界的定量检测 [J]. *地理科学*, 2003, 23(4): 477 – 483.

[8] LILi-guang, HEXing-yuan, LIXiu-zhen, et al. Comparison of two approaches for detecting the depth of edge influence on vegetation diversity in the arid valley of southwest em China [J]. *Journal of forestry research*, 2005, 16(2): 105 – 108.

[9] 李丽光, 何兴元, 李秀珍, 等. 岷江上游干旱河谷农林边界影响域的研究 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1804 – 1808.

[10] CHEN J, FRANKLIN E, SPIES T A. Vegetation responses to edge environments in old growth Douglas fir forests [J]. *Ecological Applications*, 1992, 2: 387–396.

[11] FRAVER S. Vegetation Responses along Edge to Interior Gradients in the Mixed Hardwood Forests of the Roanoke River Basin, North Carolina [J]. *Conservation Biology*, 1994, 8(3): 822–832.

The Influence of Edge Effect on Vegetation Biomass of Forest landscape Boundary in the Upper Min River

WEN Qing-dun^{1, 2}, LIXiu-zhen¹, HE Hong-shi^{1, 3}, LILi-guang⁴,
CHANG Yu¹, HE Xing-yuan¹, YANG Zhao-ping^{1, 2}

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of sciences, Beijing 100039, China;
3. University of Missouri Columbia, Columbia 65211, USA;
4. Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang 110016, China)

Abstract Edge effect is one of the hotspots in ecological research, while the edge effect of biomass is rarely analyzed. Most studies at ecosystem scale get data from field transect inventory. This paper analyzed the edge effect of biomass at the forest landscape boundary in the upper Min River. The information of vegetation on landscape boundaries was derived from field investigation and Landsat TM satellite images. The correlativity between biomass and NDVI showed the latter can be used as biomass. Then the NDVI was analyzed as well as biomass was done, and Moving Split window Analysis was used to quantitatively determine the range of edge effect. The results were as following: 1) On forest landscape boundary, biomass of forest edge was lower than that of forest interior, with edge effect depth ranged from 60 m to 65 m, while biomass of farmland was higher than that of farmland interior, with edge effect depth ranged from 60 m to 90 m. 2) Edge effect depth of biomass detected from field data had comparable result with that based on NDVI. Therefore, NDVI is reliable in analyzing edge effect on biomass. 3) As for study scale, a range of 200 m to 300 m is enough and applicable, and a grid of 30 m is better than 10 m.

Key words forest landscape boundary; biomass; NDVI; edge effect