

基于荒漠化差值指数(DDI)的精河流域荒漠化研究

毋兆鹏^{1,2}, 王明霞¹, 赵晓¹

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;
2. 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要: 利用精河流域 1990 和 2011 年 TM-5 影像数据, 基于荒漠化差值指数(DDI)构建了精河流域反照率(Albedo)—植被指数(NDVI)特征空间下的荒漠化遥感监测模型。结果表明, 1990—2011 年精河流域土地荒漠化类型转化以恶化为主; 年蒸发量和年均温是导致研究区荒漠化面积增加的主要自然因素, 该区也存在潜在风蚀荒漠化风险; 由气候变化导致的荒漠化发展, 近些年来正被政府的积极措施部分抵消, 但人口压力大, 水资源低效利用等问题仍是未来荒漠化防治过程中需要解决的重点问题。

关键词: 反照率—植被指数空间; 荒漠化差值指数(DDI); 荒漠化; 精河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0188-05

中图分类号: X144/f323. 211

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.051

A Study on Desertification Based on Desertification Difference Index in Jinghe Watershed

WU Zhao-peng^{1,2}, WANG Ming-xia¹, ZHAO Xiao¹

(1. Institute of Geography and Tourism Science, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

Abstract: Using the TM-5 remote sensing data in 1990 and 2011 in Jinghe watershed, a model to remote monitor desertification under the Albedo—NDVI scatter plot of Jinghe watershed was built based on desertification difference index(DDI). The results showed that the desertification degree became severity from 1990 to 2011 and the predominant natural factors were the annual evaporation and temperature. Moreover, there are many potential risks of wind-erosion desertification in study area. Although the active steps taken by government were counterbalancing desertification caused by climate change in recent years, the reversion of desertification was slowed down by the population pressure, the inefficient utilization of water resources, and human dimensions which needed to be overcome in the prevention and control of desertification in Jinhe watershed in the future.

Keywords: Albedo—NDVI space; desertification difference index(DDI); desertification; Jinghe watershed

监测土地荒漠化发展趋势, 掌握其动态变化规律, 对土地荒漠化程度进行评估分级, 为荒漠化综合治理、全面规划、管理决策提供实时资料和动态信息, 是目前荒漠化研究的重要内容^[1]。自 20 世纪 90 年代开始, 新疆地区已成为西部大开发的重点区域, 而精河流域绿洲作为新亚欧大陆桥进出我国的西大门, 是新疆维吾尔自治区重点发展的天山北坡经济带重要组成部分, 但其支撑资源开发的生态环境同时也极为脆弱。因此, 对该区域开展土地荒漠化监测研究, 不仅可以为当地生态环境治理和保障欧亚大陆桥畅通等提供决策参考, 而且可为干旱区土地荒漠化监测研究提供范例。

荒漠化遥感监测目前主要采用监督分类、非监督分类、决策树分层分类及神经网络自动提取等方法^[2-7]。半自动方法不仅工作强度大, 效率低, 会较大

受到主观影响, 而且由于对遥感信息的利用程度不高, 从而难以让丰富的遥感信息在荒漠化监测中发挥作用。自动分类方法中, 尽管现有的荒漠化理论研究已为其提供了较完整的分类评价指标体系, 但多数指标为非物理参数, 制约了其从遥感数据中的直接提取, 使得分类精度的提高受到一定程度的限制, 因此, 发展荒漠化遥感定量评价方法是极具价值的方向^[8]。由遥感图像确定的归一化植被指数(NDVI)是反映地表植被状态的重要生物物理参数, 而地表反照率(Albedo)则是反映地表对太阳短波辐射反射特性的物理参量。随着荒漠化程度的加重, 地表植被遭受严重破坏, 地表植被盖度降低, 生物量减少, 地表粗糙度下降, 在遥感图像上表现为 NDVI 值相应减少, 地表反照率得到相应的增加。荒漠化研究表明, 如果不单

收稿日期: 2013-09-04

修回日期: 2013-09-10

资助项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金“艾比湖流域精河绿洲土地荒漠化时空动态演变研究”(2013211A022)

作者简介: 毋兆鹏(1976—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士, 教授, 主要从事 3S 技术与绿洲资源开发研究。E-mail: wuzhaopengxj@sina.com。

独依靠上述某一个参数,而是通过构造“反照率(Albedo)—植被指数(NDVI)特征空间”获取植被指数和地表反照率的组合信息,则可以更加有效和便捷地实现荒漠化时空分布与动态变化的定量监测与研究^[9]。本文以多时相遥感数字图像为资料源,参考各类专题图,结合实地野外验证,针对精河流域绿洲的特点,系统分析研究区地表在 Albedo—NDVI 空间的形态特征,并依据荒漠化差值指数(DDI)获取了研究区 1990—2011 年的荒漠化变化时空演变信息,以期为研究区今后荒漠化的控制、改造工作提供基础数据和技术方法支撑。

1 研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区西北部准噶尔盆地西南边缘,天山支脉婆罗科努山北麓,介于 81°07'52"—83°05'48"E,44°00'21"—45°00'56"N 之间,包含整个艾比湖区、精河县城和精河流域绿洲,面积 1.12 × 10⁴ km²。该区域属“丝绸之路”新北道重镇,是北疆交通要冲,经济战略位置突显,具有东联西出、西引东进、商贸发展的优势。由于地处亚欧大陆腹地,远离海洋,加之高大山脉的阻挡,导致该区夏季降水稀少,冬季干燥寒冷,大陆性气候特征显著。年均气温 7.3℃,平原区多年平均降水量 91 mm。该区还是北疆沿天山一带风沙天气最多的区域,大风多,持续时间较长,干燥的气候和强劲、活跃的风力决定了强烈的蒸发,多年平均蒸发量为 1 625 mm,达到年均降水量的 20 倍。

2 研究方法

2.1 数据来源与预处理

所用的图像数据源包括 1990 年 10 月 25 日

TM-5 影像 1 景、2011 年 9 月 13 日 TM-5 影像 1 景,影像的空间分辨率为 30 m。影像轨道号为 146-29,成像条件均为无云。影像处理主要在 ENVI 4.8 图像处理软件的支持下进行,具体包括遥感影像的辐射定标,大气校正,几何精校正,图像组合处理,图像裁剪等,误差小于一个像元。归一化植被指数 NDVI 的计算借助近红外和红光波段的反射值计算完成,地表反照率(Albedo)的反演采用 Liang^[10] 建立的反演模型。

$$NDVI = (TM_4 - TM_3) / (TM_4 + TM_3) \quad (1)$$

$$Albedo = 0.356 \times TM_1 + 0.130 \times TM_3 + 0.373 \times TM_4 + 0.085 \times TM_5 + 0.072 \times TM_7 - 0.0018 \quad (2)$$

为便于后期数据的对比和特征空间的构建,对归一化 NDVI 值(N)和归一化 Albedo 值(A)全部采用归一化公式进行了处理。

$$N = [(NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})] \times 100\% \quad (3)$$

$$A = [(Albedo - Albedo_{min}) / (Albedo_{max} - Albedo_{min})] \times 100\% \quad (4)$$

2.2 Albedo—NDVI 特征空间的构建

根据曾永年等^[9]的研究结论,遥感反演的 NDVI (横坐标)和 Albedo(纵坐标)构成的散点图特征空间应表现为梯形。为了研究精河流域绿洲荒漠化过程,选择地表覆盖类型比较全面的典型区,利用归一化处理后的 NDVI 和 Albedo 值构建了 Albedo—NDVI 特征空间散点图,散点图呈典型的梯形分布(图 1)。图中 A 点代表贫水低植被覆盖地表(戈壁、城镇及沙漠);B 点代表富水低植被覆盖地表(小部分农田及裸地);C 点代表贫水高植被覆盖地表(部分农田);D 点代表富水高植被覆盖地表(大部分农田)。

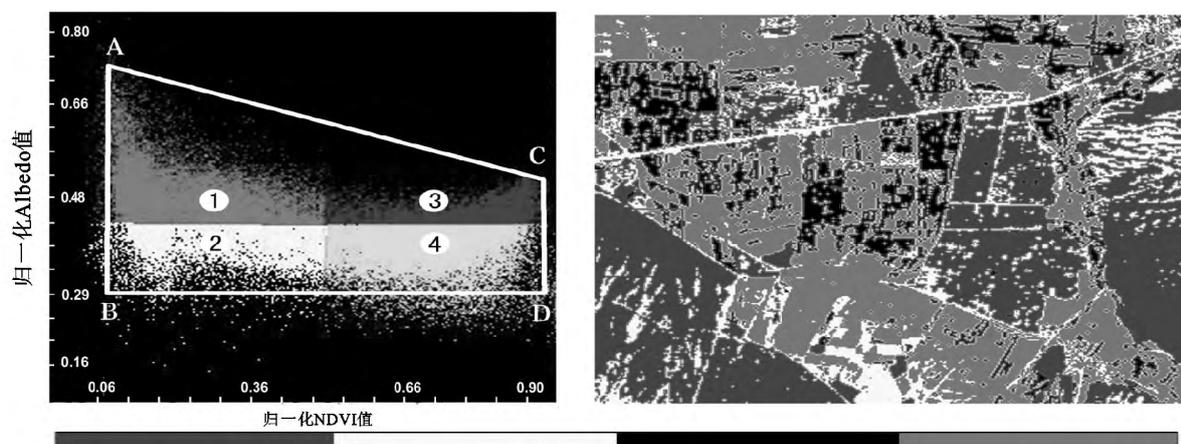


图 1 不同土地覆盖遥感图像与 Albedo—NDVI 特征空间对比

注:① 贫水低植区(戈壁、城镇、沙漠);② 富水低植区(小部分农田及裸地);③ 贫水高植区(部分农田);④ 富水高植区(大部分农田)。

散点图上界边 A—C 为反照率上界线,表示在区域范围内给定植被盖度条件下,由于地表土壤水分缺失而导致的反照率最高上限。散点图下界边 B—D 为反照率下界线,标出了在给定植被盖度条件下,由于地表土壤水分状况相对较好而导致的反照率下限。利用 ENVI 软件的 2D Scatter Plots 功能,将实际不同地表覆盖类型与其在 Albedo—NDVI 特征空间中的分布进行对照,结果表明不同地表覆盖类型在 Albedo—NDVI 特征空间中能很好地加以区分。

3 结果分析

3.1 Albedo—NDVI 空间下的荒漠化特征确定

研究表明,不同荒漠化土地对应的植被指数(NDVI)和地表反照率(Albedo)具有非常强的线性负相关性^[9]。如果以此相关系数构建一个简单的二元线性多项式,并用其在代表荒漠化变化趋势的垂直方向上划分 Albedo—NDVI 特征空间,便可以将不同的荒漠化土地有效地区分开来。

$$DDI = K \cdot NDVI - Albedo \quad (5)$$

式中: DDI——荒漠化分级指数 (desertification difference index), K 值由特征空间中拟合的曲线斜率确定。

为确定公式(5)中的 K 值,在研究区随机选取 1 848 个样点,对归一化后的 Albedo 和 NDVI 栅格数据进行统计回归分析,其 R^2 达到 0.84,这也表明在 Albedo—NDVI 空间中,研究区不同荒漠化土地类型对应的两种指数同样具有非常强的线性负相关。

$$Albedo = 0.5884 - 0.555 \times NDVI \quad (6)$$

将公式(6)中的斜率 a ,按 $a = -1/k$ 求解,由此,确定 DDI 的最终表达式为

$$DDI = 1.8018 \times NDVI - Albedo \quad (7)$$

基于统计学 Jenk 原理的自然断裂法能够使各级的内部方差之和最小,因此利用该方法将 DDI 值分为 5 个值域区间,同时结合实地调查,最终确定了研究区的 5 级荒漠化指标(表 1)。在 ArcGIS 9.3 软件中利用上述方法和指标,提取荒漠化信息,最终得到研究区 1990 和 2011 年两期荒漠化土地等级图(图 2)。

表 1 精河流域土地荒漠化遥感监测指标

荒漠化程度	未荒漠化	轻度	中度	重度	极重度
归一化 NDVI	≥ 0.746	$\geq 0.512, < 0.746$	$\geq 0.320, < 0.512$	$\geq 0.168, < 0.320$	< 0.168
归一化 Albedo	≥ 0.676	$\geq 0.480, < 0.676$	$\geq 0.348, < 0.480$	$\geq 0.203, < 0.348$	< 0.203

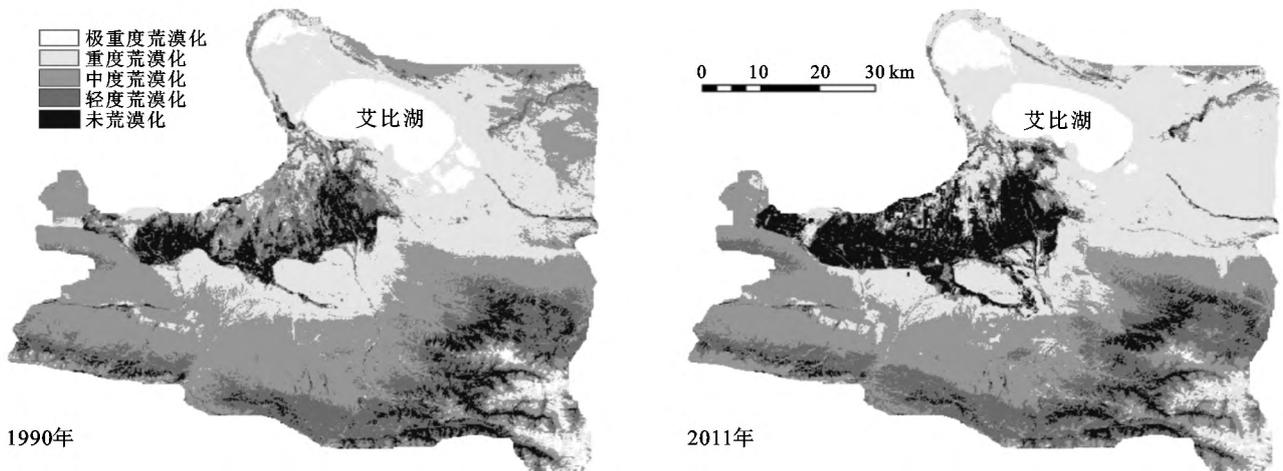


图 2 1990 和 2011 年精河流域土地荒漠化分布

3.2 研究区荒漠化过程

利用 ArcGIS 软件对获得的研究区荒漠化影像进行变化矩阵求解,结果详见表 2。从荒漠化面积数据可以看出,1990 年研究区荒漠化总面积为 $9.16 \times 10^5 \text{ hm}^2$,2011 年总面积减至 $8.80 \times 10^5 \text{ hm}^2$,20 a 间减少了 $3.54 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

为进一步反映土地荒漠化面积的年变化率,采用

动态度 K 来描述荒漠化的变化速度:

$$K = \frac{S_t}{W_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (8)$$

式中: K ——研究时段内研究区土地荒漠化的动态度; S_t ——研究时段内研究区荒漠化土地面积的变化; W_a ——研究时段初期荒漠化土地面积; T ——研究时段(年)。

表 2 精河流域 1990 和 2011 年土地荒漠化等级转化矩阵

10⁴ hm²

项目	2011 年					
	极重度	重度	中度	轻度	未荒漠化	总计
1990 年 极重度	1.230 0	1.510 0	0.037 0	0.002 1	0.001 5	2.780 6
重度	1.930 0	26.320 0	3.720 0	0.930 0	0.970 0	33.870 0
中度	0.049 0	8.480 0	24.780 0	4.010 0	1.820 0	39.139 0
轻度	0.001 6	0.240 0	3.590 0	9.060 0	2.890 0	15.781 6
未荒漠化	0.001 1	0.037 0	0.290 0	1.810 0	3.690 0	5.828 1
总计	3.211 7	36.587 0	32.417 0	15.812 1	9.371 5	97.399 3

从研究区荒漠化面积的年变化率来看,1990—2011 年极重度、重度、中度及轻度荒漠化面积的动态度分别为 0.74%,0.38%,−0.82%和 0.01%,表明 21 a 间除了中度荒漠化面积以每年 0.82%的速度减少外,极重度、重度和轻度则分别以每年 0.74%,0.38%和 0.01%的速度在增加,也就是说从 1990—2011 年,研究区虽然未荒漠化土地面积以每年 2.89%的速度在增加,但其它荒漠化类型也同样具有增加趋势,尤其是极重度荒漠化的增长速度极为突出。

通过将转化矩阵结果分别按强烈逆转、逆转、稳定、恶化、强烈恶化这 5 个级别进行统计计算(表 3),对研究区荒漠化的空间动态变化进行了分析。由表 4 可以看出,研究区 1990—2011 年在荒漠化面积变化方面,除 65.08%的未变化部分外,恶化级别类型所占比例最大,达 1.58×10^5 hm²,占总面积的 16.23%;其次是逆转、强烈逆转等好转趋势类型,共计 1.31×10^5 hm²,占总面积的 13.49%;强烈恶化面积虽不占主体,也达到 900 hm²,占总面积的 0.09%。

表 3 精河流域荒漠化土地类型转化分级

分级类型	强烈恶化	恶化	稳定	逆转	强烈逆转
类型转换	极重度→未荒漠化	未荒漠化→极重度	重度→极重度	极重度→极重度	极重度→重度
	极重度→轻度	轻度→极重度	中度→重度	重度→重度	重度→中度
	中度→极重度	轻度→中度	中度→中度	中度→轻度	极重度→中度
	重度→未荒漠化	未荒漠化→重度	未荒漠化→轻度	轻度→轻度	轻度→未荒漠化
		未荒漠化	→	未荒漠化	

表 4 精河流域 1990—2011 年土地荒漠化类型转化面积

转化类型	强烈恶化	恶化	稳定	逆转	强烈逆转
面积/10 ⁵ hm ²	0.09	15.81	65.08	12.13	1.01

4 结果讨论

客观分析导致荒漠化区域分布格局的内外在物理和社会人文因素,对于研究区域荒漠化的未来发展趋势至关重要。综合分析精河流域绿洲荒漠化演变原因,主要表现在气候环境变化和人类开发利用两个方面。

4.1 自然因素

气候变化是影响荒漠化发展和逆转的主要因素之一^[11]。气候统计数据表明,研究区自 1972 年以来,降水量虽然总体呈上升趋势,但在经历了 2002 年的高点之后,开始逐年减少,加之年蒸发量、年均温波动上升的叠加效应,使得区域气候逐渐干燥,加剧土壤水分蒸发,带动土壤盐分向上移动,给地表植被生长带来极大影响,不利于自然修复,导致出现或加重了土壤盐渍化。风速是风蚀荒漠化程度的主要决定

因素。1972 年以来,研究区大于 3 m/s 的日数逐渐减少,有助于风蚀荒漠化土地面积的减少和风蚀程度的降低。但自 1990 年开始,变化幅度开始减小,大于 3 m/s 的日数呈现阶段性上升趋势,仍存在潜在风蚀荒漠化风险。因此,总体来看,研究区 1990 年以来增加的荒漠化面积,属于在自然因素综合作用下的复合荒漠化的结果,并且具有进一步发展的潜在风险。

4.2 人文因素

精河县人口数量自 20 世纪 70 年代以来呈快速增长趋势,从 5.5 万人增长至 14.4 万人,增长近 3 倍,研究区耕地面积近 40 a 增长了近 3 倍共 2.93×10^4 hm²,占到近 21 a 来研究区减少的荒漠化总面积的 83%,表明宏观数据显示的荒漠化面积减少并不代表内部荒漠化趋势的真正好转。从 2011 年耕地面积的转入量来看,耕地主要由低、中植被覆盖区转换而来,说明由于该区人口增长带来的耕地面积扩大,主要是借助毁林开荒方式。与此同时,精河县牲畜数量近 40 a 来也呈现较明显增长,由 1970 年 16 万头增长至 2011 年的近 40 万头,由于有限草场的过度放牧

带来的草地退化,加之人口增长导致的土地需求,可最终部分解释研究区内部实际的土地荒漠化情形,即仍然以恶化为第 1 位,达 $1.58 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。

实际上,管理与政策也是引起生态环境变化的原因之一。当地政府也采取了多种措施,积极应对荒漠化现状,如在林业建设工作中,对于生态脆弱的地方,专门设立保护区(甘家湖梭梭林保护区、艾比湖保护区)、禁牧区、禁伐区,2000 年以来共封育林地 $3\ 250 \text{ hm}^2$,造林(乔灌) $3\ 709 \text{ hm}^2$,退耕还林 $8\ 633 \text{ hm}^2$,"三北"防护林建设 $1\ 727 \text{ hm}^2$,这对于研究区 $1.21 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 荒漠化面积的逆转起到举足轻重的作用。

5 结论

(1) 在遥感数据支撑下利用地表在 Albedo—NDVI 空间的形态特征,提取荒漠化差值指数(DDI),并以此为依据获取干旱区荒漠化的时空动态变化具有一定的可行性,可用于土地覆盖分类变化以及荒漠化监测分析研究。

(2) 1990—2011 年,精河流域土地荒漠化类型转化以恶化为主。2011 年研究区居第一位的是重度荒漠化,面积达 $3.66 \times 10^5 \text{ hm}^2$,其次为中度荒漠化,面积达 $3.24 \times 10^5 \text{ hm}^2$,表明精河流域的荒漠化治理工作任重而道远。

(3) 近 40 a 来,年蒸发量和年均温的波动上升,是导致研究区荒漠化面积增加的主要显在自然因素,而大于 3 m/s 有风日数的阶段性上升,则存在潜在风蚀荒漠化风险。

(4) 尽管气候变化因素导致呈现出荒漠化发展的态势,但其所产生的负作用,近些年来正被政府的各类生态保护政策机制及荒漠化防治等有利于荒漠化逆转的人为因素所部分抵消。而人口压力、不合理放牧、土地利用开发管理不到位和水资源低效利用等社会人文因素,在一定程度上仍在阻碍着精河流域的

荒漠化防治进程,将成为未来荒漠化防治过程中需要克服的重点。

[参 考 文 献]

- [1] 张洪玲. 用 MODIS 数据监测辽西北地区的荒漠化状况[D]. 辽宁 沈阳:沈阳农业大学,2006.
- [2] Li Fang, He Yanfen, Liu Zhiming, et al. Dynamics of sandy desertification and its driving forces in Western Jilin Province[J]. Chinese Geographical Science, 2004, 14(1): 57-62.
- [3] 毛晓利,赵鹏祥,王得祥,等. 非监督数字化分类与 GIS 在土地沙漠化动态监测中的应用[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 6-9.
- [4] Li Sen, Zheng Yinhua, Luo Ping, et al. Desertification in Western Hainan Island, China (1959 to 2003) [J]. Land Degradation & Development, 2007, 18(2): 473-485.
- [5] 王建,董光荣,李文君,等. 利用遥感信息决策树方法分层提取荒漠化土地类型的研究探讨[J]. 中国沙漠, 2000, 20(3): 243-247.
- [6] 杜明义. 决策树方法在土地荒漠化分类中的应用研究[J]. 测绘科学, 2006, 31(2): 81-82.
- [7] 乔平林,张继贤,林宗坚. 基于神经网络的土地荒漠化信息提取方法研究[J]. 测绘学报, 2004, 33(1): 58-62.
- [8] 王大鹏,王周龙,李德一,等. 荒漠化程度遥感定量化评价中的尺度问题[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(6): 140-144.
- [9] 曾永年,向南平,冯兆东,等. Albedo—NDVI 特征空间及沙漠化遥感监测指数研究[J]. 地理科学, 2006, 26(1): 75-81.
- [10] Liang Shunlin. Narrowband to broadband conversions of land surface Albedo I algorithm[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 76(2): 213-238.
- [11] 王占军,邱新华,唐志海,等. 宁夏 1999—2009 年土地荒漠化演变影响因素分析[J]. 中国沙漠, 2013, 33(2): 325-333.