

基于垂直植被指数的干旱区荒漠环境人工杨树林生物量模型*

姚远^{1,2} 丁建丽^{1,2**} 倪绍忠^{1,2} 王刚^{1,2}

(¹新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; ²绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘要 为了对中国干旱区荒漠环境下人工林生态系统生物量进行准确评估, 本文以新疆克拉玛依地区人工杨树林为例, 利用野外 48 个实测样地的人工林生物量数据和陆地卫星 TM 影像数据分析了遥感信息和实测人工林生物量的相关关系, 分别建立了基于垂直植被指数(PVI)的地上生物量的线性和指数回归模型, 并用归一化植被指数(NDVI)和比值植被指数(RVI)的地上生物量的线性和指数回归模型与 PVI 作比较。结果表明: 3 种植被指数 PVI、NDVI、RVI 与人工林生物量之间均具有极显著的相关关系; 基于 PVI 的地上生物量的指数模型 $y = 13.783e^{0.0257x}$ 为监测干旱区人工林地生物量的最优化关系模型(复相关系数为 0.761)。

关键词 垂直植被指数; 生物量; 人工杨树林; 克拉玛依

中图分类号 Q948.12 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2012)1-0222-05

Biomass models of poplar plantations in arid desert environment of China based on perpendicular vegetation index. YAO Yuan^{1,2}, DING Jian-li^{1,2**}, NI Shao-zhong^{1,2}, WANG Gang^{1,2} (¹College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; ²Key Laboratory of Oasis Ecosystem of Education Ministry, Xinjiang University, Urumqi 830046, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(1): 222-226.

Abstract: Taking the poplar plantations in Karamay City of Xinjiang as a case, and by using the actual poplar plantation biomass data of 48 sampling plots as well as the Landsat TM data, this paper analyzed the correlations between remote sensing information and actual poplar plantation biomass data, aimed to accurately estimate the biomass of poplar plantation ecosystem in arid desert environment of China. The linear and exponential models of poplar plantation aboveground biomass were established on the basis of perpendicular vegetation index (PVI), and applied to compare the normalize difference vegetation index (NDVI) and ratio vegetation index (RVI). There existed significant correlations between the three vegetation indices (PVI, NDVI, and RVI) and poplar plantation aboveground biomass, and the exponential model ($y = 13.783e^{0.0257x}$) based on PVI was the best one (with multiple correlation coefficient of 0.761) for estimating the poplar plantation biomass in arid desert environment.

Key words: perpendicular vegetation index; biomass; poplar plantation; Karamay City.

森林生物量是森林生态系统研究中最重要生物物理参数之一,它是监测多种植物冠层生理过程的重要参数,同时也是监测全球变化的常用参数之一(宋开山等 2005)。作为表征森林生态系统的重要参数(Chave *et al.*, 2001),生物量在估测森林植被碳储量(Haripriya, 2000)、大尺度温室效应

(Houghton *et al.*, 2000)、木材产量评估(Vanclay, 1995)等方面发挥着重要作用。传统的对于森林生物量的估算所采取的地面实测法完全依靠地面样方测定来估测林地生物量因而受到诸多客观条件限制,不适合大尺度下林地生物量估测(陈云浩等, 2002)。而基于遥感影像中不同光谱波段提取的植被指数由于综合了两个或更多光谱波段的信息,显著地增强了植被信号,因而对地面生物量的预测具

* 霍英东教育基金项目(121018)资助。

** 通讯作者 E-mail: Ding-jL@163.com

收稿日期: 2011-03-06 接受日期: 2011-10-17

有更高的敏感性(Carlson & Ripley, 1997)。为了减弱土壤背景对植被遥感的影响, Richardson 等(1977) 基于土壤线的概念提出了垂直植被指数(PVI), 对比归一化植被指数(NDVI)、比值植被指数(RVI)、调节土壤亮度植被指数(TSAVI)、缨帽变换中的绿度植被指数(GVI)等植被指数, PVI充分考虑了采样区域土壤背景的影响, 有效地避免了对遥感影像辐射校正精度的依赖和土壤调节系数难以确定等缺点。

目前在中国, 针对热带、亚热带森林地区利用植被指数进行生物量反演和建模的报道较多, 如杨建存等(2004) 对云南省西双版纳热带森林的生物量与其对应的 Landsat TM 数据及其派生数据、气象数据和地形数据进行了相关性分析, 结果表明, 中国热带地区森林生物量与从遥感影像中提取的植被指数呈显著相关; 李娜(2008) 基于遥感影像数据和实测生物量数据建立了针对四川西部亚高山针叶林和阔叶林的最佳生物量遥感估算模型; 张志东等(2009) 基于植被指数对海南岛霸王岭热带森林的生物量进行了空间分布模拟, 构建了拟合精度较高的生物量模型。但是, 在自然环境极为特殊、生态系统极为脆弱的干旱区荒漠环境下, 利用植被指数建立人工林生物量估算模型研究的鲜有报道。本文以新疆克拉玛依人工杨树林为研究对象, 利用 TM 影像提取垂直植被指数并结合实测数据, 通过运用统计学方法探讨该区林地乔木层、草本层和凋落物层的生物量和垂直植被指数的关系, 建立基于垂直植被指数的生物量回归模型, 以期揭示我国西部干旱地区人工林地植被变化、预测和维护人工林生态系统长期生产力、分析及评价区域生态环境提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

克拉玛依人工杨树林(84°58'E—85°4'E, 45°22'N—45°31'N) 位于准噶尔盆地西北边缘的湖积平原, 东北面仍为荒漠, 西面隔呼克高速, 距克拉玛依市区 20 km。属于典型的大陆性干旱荒漠气候, 年平均气温 8℃, 冬季严寒, 年极端最低温度可达 -35.9℃; 夏季高温炎热, 年极端最高气温可达 42.9℃; 年降水量多年平均为 105.3 mm。春季多风, 主风向为西北。全年蒸发潜力 3545 mm, 无霜期 180~220 d(晋瑜 2005)。

克拉玛依人工杨树林是在干旱荒漠环境下建立的, 造林活动集中在 2001 年和 2002 年, 平均树龄约为 10 年, 目前该林地面积约为 2997.77 hm², 造林树种比较单一, 俄罗斯杨约占 95%, 新疆杨约占 5%。林地集中在同一地块上, 地势十分平坦。土壤以棕漠土、灰棕漠土为主, 植物种类贫乏, 生长稀疏, 植被类型受环境影响, 以旱生、超旱生、耐盐碱的荒漠植被为主, 植被物种组成主要包括藜科的梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭(*Haloxylon persicum*)、蒺藜科的白刺(*Nitraria roborowskii*)、盐穗木(*Halostachys caspica*), 以及柽柳科的红砂(*Reaumuria soongorica*)、长穗柽柳(*Tamarix elongata*) 和多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*) 等。

1.2 研究方法

1.2.1 遥感资料 采用的 TM 影像, 成像时间为 2009-08-20, 数据格式 FASTB, 轨道号 145/28, 景移动 50 晴空, 空间分辨率为 30 m×30 m。数据预处理在 ENVI 和 ArcGIS 平台下完成。经过几何校正和配准后的遥感影像, 用地理边界图的叠加提取出只包含研究区的信息。

1.2.2 样地调查及生物量计算 于 2009 年 7—9 月, 从新疆克拉玛依人工林基地的八支渠和六支渠中选取 2 个固定样地, 规格为 100 m×100 m; 在 10 个支渠中选取了 48 个随机样地, 规格为 20 m×20 m, 分别记录样地的地理坐标、海拔高度及土壤状况等。对样地内所有胸径(DBH) ≥ 1 cm 的植株个体, 逐一地测定胸径、树高, 并作好记录, 每测一树、进行编号, 避免漏测, 同时调查林龄、层次、郁闭度、下木和草本、地被物的状况等。

对人工林外大约 300 m 处荒漠植物群落进行调查, 选出具有代表性的灌木群落, 设置固定样方 1 个, 规格为 100 m×100 m; 随机样地 4 个, 规格为 20 m×20 m。测定灌木样方内所有灌木(梭梭, 白刺, 柽柳) 的高度、冠幅和株数。所选固定样地和随机样地中选取 1 m×1 m 草本样方, 共 116 个, 记录植物名称、高度、盖度、株(丛)数等。

乔木层生物量计算采用维量分析法, 利用标准木各器官(干、枝、叶、皮、根)的干重建立各器官生物量与胸径 D 以及胸径平方与树高乘积 D^2H 回归方程($W = aD^b$, $W = a(D^2H)^b$) 根据样地每木调查的结果及相应的回归方程计算乔木层各器官的生物量, 并由此获得乔木层的总生物量(魏艳敏 2010)。荒漠灌木层的生物量由所调查各种植物各自的平均

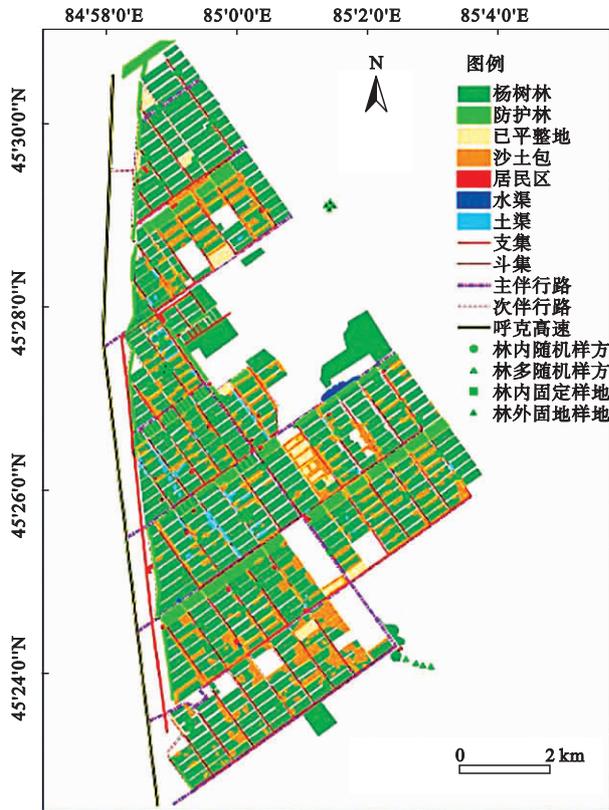


图1 克拉玛依人工林生物量调查样方示意图
Fig. 1 Distribution of plots for biomass investigation of poplar plantation in Karamay

干重与其植株数量相乘得来。草本层、地上枯落物生物量均根据单位面积上各自的生物量来推算整个样地内的生物量。经过计算得出试验区48个样地的生物量从 $10.02 \sim 111.52 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 不等。

1.2.3 土壤线和主要植被指数 1) 土壤线。是指由近红外波段和红色波段所构成的二维平面上,土壤背景的光谱数据基本上沿着与这2个轴呈 45° 的直线(即“土壤线”)分布(Richardson *et al.*, 1977)。然而,对同一种土壤,在相同的红光(R)和近红外(IR)波段组合的二维平面直角坐标中,该土壤不断变化的反射率,形成一特定的土壤线,其能较好地描述该土壤类型的光学特性。土壤线的数学表达式为(李开丽等 2005):

$$NIR = aR + b \quad (1)$$

式中 a 、 b 分别为斜率和截距,这2个常量确定了土壤类型的土壤线。土壤类型是影响土壤线变化的主要因素。不同土壤类型的土壤线有其各自相对应的 a 和 b 的数值。池宏康等(1999)认为在同一地区对同一种土壤,在相同的红光(R)和近红外(IR)波段组合下,该土壤的土壤线是固定的,其不随时间变

化而变化,也不随土壤湿度和太阳高度角等因素的变化而变动。实际上,这种固定的土壤线确定了 R 反射率和 IR 反射率之间的函数关系。

2) 垂直植被指数(perpendicular vegetation index, PVI)。是在红外波段和近红外波段二维坐标系内,土壤的光谱的响应表现为一条斜线,即土壤亮度线。且土壤在红外波段和近红外波段均显示较高的光谱响应。随着土壤特性的变化,其亮度值沿土壤线上下移动。而植被一般在红外波段光谱响应低,而在近红外波段光谱响应高。因此,在这二维坐标系内植被多位于土壤线的左上方(赵英时等 2003)。不同植被与土壤亮度线的距离不同。于是,Richardson (1977)把植物像元到土壤亮度线的垂直距离定义为垂直植被指数, PVI 的公式为:

$$PVI = \sqrt{(S_R - V_R)^2 + (S_{NIR} - V_{NIR})^2} \quad (2)$$

式中: S 为土壤反射率; V 为植物反射率; R 为红波段; NIR 为近红外波段。PVI 为在土壤背景上存在的植被的生物量,距离越大,生物量越大,也可将 PVI 定量表达(张仁华, 1996)。

$$PVI = (DN_{NIR} - b) \cos \theta - DB_R \sin \theta \quad (3)$$

式中: DN_{NIR} 、 DB_R 分别为 NIR 、 R 两波段的反射辐射亮度值; b 为土壤基线与 NIR 反射线纵轴的截距; θ 为土壤基线与 R 光反射率横轴的夹角。

PVI 的显著特点是较好地滤除了土壤背景的影响,且对大气效应的敏感程度也小于其他植被指数。正因为它减弱和消除了大气、土壤的干扰,所以被广泛应用于大面积作物估产。

3) 比值植被指数(ratio vegetation index, RVI)。是近红外波段于红色波段反射光谱的比值。比值植被指数又称为绿度,为二通道反射率之比。它与叶面积指数(LAI)、叶干生物量(DM)、叶绿素含量相关性较高,被广泛用于估算和监测绿色植物生物量。RVI 还能较好地反映植被覆盖度和生长状况的差异,特别适用于植被生长旺盛、具有高覆盖度的植被监测。RVI 的公式为:

$$RVI = NIR/R \quad (4)$$

4) 归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)。是近红外波段与可见光波段数值之差和这2个波段数值之和的比值。NDVI 为植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子。许多研究表明 NDVI 与叶面积指数(LAI)、绿色生物量、植被覆盖度、光合作用等植被参数有关。NDVI 的公式为:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (5)$$

2 结果与分析

2.1 土壤线的计算

根据研究区域的林地光谱反射率信息提取土壤线, 算出来的值代入(1)式, 可以得到研究区的土壤线公式:

$$Y = 1.251X - 0.0743 \quad (6)$$

2.2 PVI、NDVI、RVI 与地面实测生物量得相关性

如图3~图8所示, 从线性经验模型来看, 地上生物量和PVI的拟合效果($R^2 = 0.735$)比其他几种植被指数要好, 林地生物量与PVI存在相似的相关

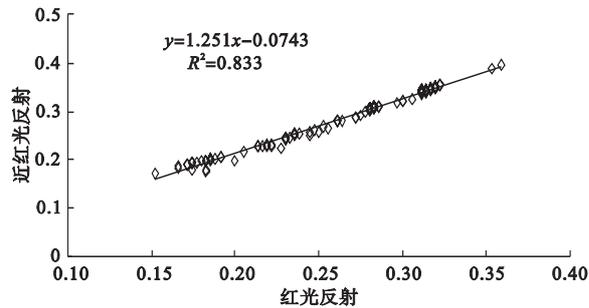


图2 2009年8月20日的TM影像中自动提取的土壤线
Fig.2 Automated soil line of image in August 20, 2009

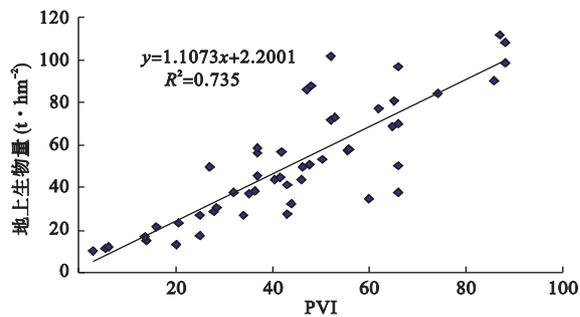


图3 林地生物量与PVI线性关系
Fig.3 Linear correlation of forest biomass and PVI

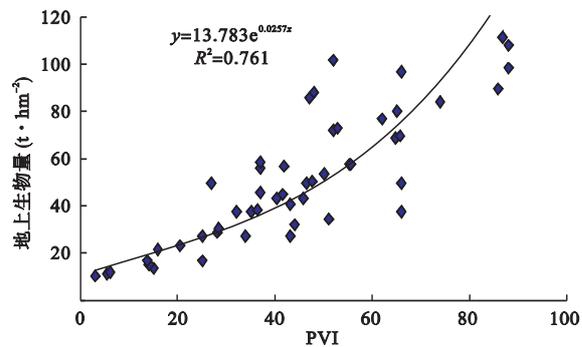


图4 林地生物量与PVI指数关系
Fig.4 Exponential correlation of forest biomass and PVI

性, 并呈显著相关 ($P \leq 0.01$) 其次为 RVI ($R^2 = 0.732$) 和 NDVI ($R^2 = 0.697$), 其显著相关性较弱

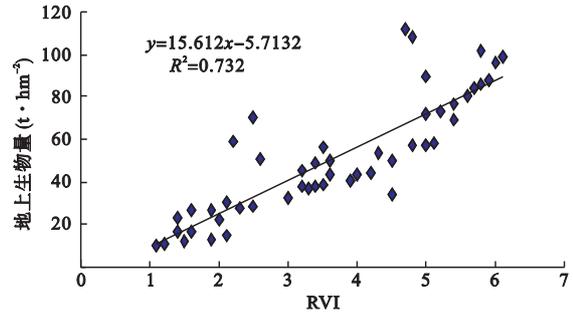


图5 林地生物量与RVI线性关系
Fig.5 Linear correlation of forest biomass and RVI

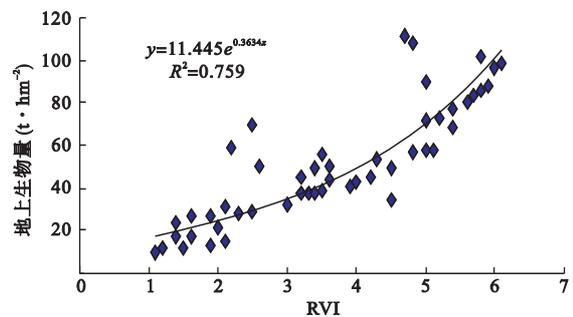


图6 林地生物量与RVI指数关系
Fig.6 Exponential correlation of forest biomass and RVI

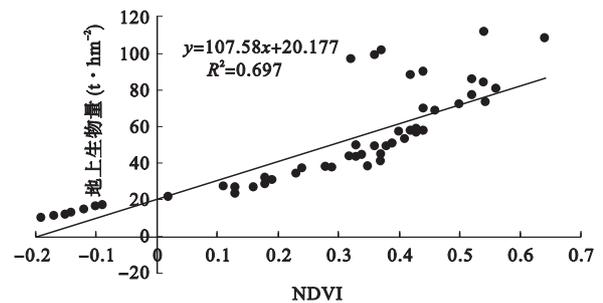


图7 林地生物量与NDVI线性关系
Fig.7 Linear correlation of forest biomass and NDVI

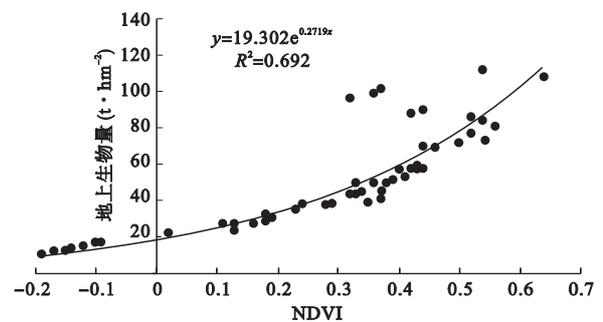


图8 林地生物量与NDVI指数关系
Fig.8 Exponential correlation of forest biomass and NDVI

($P \leq 0.05$)。对于指数模型,地上生物量和 PVI 的拟合效果($R^2 = 0.761$)略高于 RVI($R^2 = 0.759$)和 NDVI($R^2 = 0.692$)。3种植被指数中 NDVI 的相关性较弱($P \leq 0.05$),PVI 和 RVI 的均在 0.01 上显著。

总体看来,PVI 与地上生物量的模拟效果好于其余两种植被指数,NDVI 的拟合效果较差,PVI 和 RVI 拟合效果接近,原因则可能是由于克拉玛依地区人工林地植被覆盖度高,而 NDVI 指数对高覆盖度的植被较 PVI 和 RVI 来说敏感度更低。综上所述,使用 TM 影像提取的不同植被指数监测研究区人工林地生物量的结果差别较大。而本文所选 3 种植被指数中,垂直植被指数 PVI,更适宜用于监测干旱区林地生物量,其次为 RVI 和 NDVI。但是针对垂直植被指数而言,不同回归模型的拟合效果又各有优劣,因此还需要进一步建立适用于监测干旱区人工林地生物量的最优化模型。

3 结论

3种植被指数 PVI,NDVI,RVI 和地上生物量之间均具有极显著的相关关系,利用植被指数与地上生物量建立数学模型监测林地生物量是完全可行的。

基于植被指数和林地生物量模型所建立的线性和指数模型均表现出较好的模拟效果。其中 PVI 的指数回归模型和线性回归模型的拟合效果最优,其次为 RVI 和 NDVI。

基于 PVI 的地上生物量的指数模型 $y = 13.783e^{0.0257x}$ 为监测干旱区人工林地生物量的最优化关系模型,利用验证模型精度结果表明其复相关系数达到 0.761。

参考文献

池宏康,陈维英,张海蕾. 1999. 遥感数据的裸沙土壤线校正方法. *地理学报*, **54**(5): 454-161.
陈云浩,李晓兵,史培军. 2002. 基于遥感的植被覆盖变化景观分析: 以北京海淀区为例. *生态学报*, **22**(10): 1581-1586.

晋瑜. 2005. 克拉玛依农业综合开发区外围荒漠植物群落分布及其物种多样性土壤环境解释(硕士学位论文). 新疆: 新疆农业大学
李开丽,倪邵祥,扶卿华. 2005. 垂直植被指数及其解算方法. *农机化研究*, (2): 84-89.
李娜. 2008. 川西亚高山森林植被生物量及碳储量遥感估算研究(硕士学位论文). 四川: 四川农业大学.
魏艳韵. 2010. 荒漠环境规模化人工杨树林生物量和碳储量研究(硕士学位论文). 乌鲁木齐: 新疆大学.
宋开山,张柏,于磊,等. 2005. 玉米地上鲜生物量的高光谱遥感估算模型研究. *农业系统科学与综合研究*, **21**(1): 65-67.
杨存建,张增祥,党承林,等. 2004. 不同树种组的热带森林植被生物量与遥感地学数据之间的相关性分析. *遥感技术与应用*, **19**(4): 232-235.
张仁华. 1996. 实验遥感模型及地面基础. 北京: 测绘出版社.
赵英时,陈冬梅,杨立明,等. 2003. 遥感应用分析原理与方法. 北京: 科学出版社.
张志东,臧润国. 2009. 基于植被指数的海南岛霸王岭热带森林地上生物量空间分布模拟. *植物生态学报*, **33**(5): 833-841.
Carlson T, Ripley D. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, **62**: 241-252.
Chave J, Riéra B, Dubois MA. 2001. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana spatial and temporal variability. *Journal of Tropical Ecology*, **17**: 79-96.
Haripriya G. 2000. Estimates of biomass in Indian forests. *Biomass and Bioenergy*, **19**: 245-258.
Houghton RA, Skole DL, Nobre CA, et al. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, **403**: 301-304.
Richardson AJ, Wiegand CL. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **43**: 1541-1552.
Vanclay JK. 1995. Growth models for tropical forests: A synthesis of models and methods. *Forest Science*, **41**: 7-42.

作者简介 姚远男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向为资源遥感与GIS. E-mail: xinjiangyaoyuan@sina.com
责任编辑 王伟