

民勤绿洲荒漠交错带不同土地覆被下 土壤养分分布特征

孙朋, 巩杰, 王玉川, 谢余初

(兰州大学 西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 以西北干旱区民勤绿洲荒漠交错带为例, 选取民勤沙生植物园、东坝镇、苏武山等 8 个样带 221 个样点开展不同土地覆被类型下的土壤养分含量及土壤肥力综合评价研究。结果表明: (1) 土壤有机质含量表现为绿洲区 > 绿洲荒漠过渡带 > 荒漠区的梯度变化; 受人类活动影响和荒漠景观特征的影响, 不同样带内土壤养分含量离散程度较大, 变异系数为 16.67%~410.68%, 且土壤养分样带内变异程度基本呈现出沿荒漠—绿洲荒漠交错带—绿洲逐渐增加的趋势。(2) 荒草地、灌木林地、乔木林地和裸地的土壤 N, P, K 含量主要受土壤质地和植被类型的影响而呈现出差异。(3) 不同土地覆被下土壤肥力质量指数大小为草地(0.552) > 灌木地(0.057) > 乔木地(-0.642) > 裸地(-0.677), 草本和灌木具有良好的土壤培肥作用。

关键词: 干旱区; 民勤县; 绿洲荒漠交错带; 土壤养分; 土壤肥力质量指数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0053-05

中图分类号: S157.31

Soil Nutrient Characteristics Under Land Covers in Minqin Oasis—Desert Ecotone

SUN Peng, GONG Jie, WANG Yu-chuan, XIE Yu-chu

(Key Laboratory of Western China's Environmental Systems of
the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Minqin oasis—desert ecotone, located in the northwest arid area of China, was selected to conduct a comprehensive evaluation research on the differences of soil nutrients and soil fertility under different land cover types. 8 transects and 221 sampling points were made, including Minqin desert botanic garden, Dongba township and Suwu Mountains. Results showed that: (1) Soil organic content varied in the order of oasis area > oasis—desert ecotone > desert. Discrete degree of soil nutrient content for different transects was large as the C_V changes from 16.67% to 410.68%, as affected by human activities and desert landscape characteristics. The variation of soil nutrient with different land cover types tended to increase from desert to desert—oasis ecotone and then to oasis in the transects. (2) There were differences in the contents of soil N, P and K among grassland, shrub land, forestland and wasteland due to different human activities, soil types, soil textures and vegetation types. (3) Soil fertility quality index varied in the order of grassland(0.552) > shrub land(0.057) > forestland(-0.642) > bare land(-0.677), which shows that grass and shrub has a good improvement effect on soil fertility.

Keywords: arid area; Minqin County; oasis—desert ecotone; soil nutrient; soil fertility quality index

绿洲荒漠过渡带是绿洲生态系统与荒漠生态系统的链接地带,也是干旱半干旱区生态系统退化与恢复的关键地带,还是荒漠化发生或逆转的重点区域,

其动态变化关乎绿洲生态系统的稳定性^[1]。该区域不仅具有生态系统脆弱性、自然景观过渡性和人文因素作用复杂性等特点,而且具有高度的自然环境和土

收稿日期:2012-04-28

修回日期:2012-07-26

资助项目:国家自然科学基金项目“民勤绿洲荒漠过渡带土地覆被变化的土壤环境效应研究”(40801038); 国家科技支撑计划课题“气候变化对沙漠化影响与风险评估技术”(2012BAC19B09); 教育部新世纪人才计划项目“干旱区内陆河流域生态安全定量评价与时空格局分析:以石羊河流域为例”(NECT-09-0449)

作者简介:孙朋(1989—),男(汉族),安徽省亳州市人,在读硕士生,研究方向为土地变化科学。E-mail:sunp2011@lzu.edu.cn。

通信作者:巩杰(1975—),男(汉族),甘肃省宁县人,博士,副教授,研究方向为土地变化科学、景观生态学和土壤生态学。E-mail:jgong@lzu.edu.cn。

地覆被异质性^[2]。受人类活动和土地覆被的影响,其土壤性状分布差异明显。不同土地覆被的土壤性状研究已成为干旱区绿洲、地表覆被和土壤养分研究的热点^[3-5]。目前,尽管国内外学者从绿洲荒漠交错带的植被生态、景观生态、水量平衡、土壤性质特征等角度开展了一些研究^[6-9],但对石羊河尾间民勤绿洲荒漠过渡带的研究报道较为鲜见。开展绿洲荒漠交错带不同土地覆被的土壤理化性状分异研究,对绿洲荒漠过渡带土壤肥力保育、生态环境改善及可持续发展具有重要的指导意义。

民勤绿洲荒漠交错带位于民勤绿洲及其周边巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠之间,是阻挡巴丹吉林沙漠风沙入侵的天然屏障。由于不合理的人类活动和地下水过度开采利用,民勤地下水位下降,荒漠化程度加剧,绿洲荒漠过渡带土地覆被变化剧烈,导致土壤性质差异明显^[10]。本文以民勤绿洲荒漠交错带为研究对象,开展不同土地覆被土壤养分空间分布特征研究,旨在剖析绿洲荒漠交错带土壤养分变化及其规律,为干旱区荒漠化防治和生态恢复提供科学建议。

1 研究区概况

民勤绿洲位于河西走廊东北部石羊河流域下游(102°36′—104°12′E,38°25′—39°22′N)。东、西、北 3 面被巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠所包围,是典型的干旱荒漠绿洲区—沙漠及强沙漠化区,荒漠化严重^[11],该区属温带干旱荒漠气候,绿洲荒漠交错带呈条带状环绕民勤绿洲。研究区内年平均气温 7.8℃,年平均降水量 113.2 mm,年平均蒸发量高达 2 644 mm,无霜期平均 151 d,全年日照时数 3 028 h。区内地势西南高东北低,主要由山地、丘陵、平原和沙漠 4 种地貌类型构成,平均海拔 1 400 m。地表覆盖类型主要有自然植被、人工绿洲、人工植被、裸地、荒漠景观、固定沙丘和半固定沙丘等。近年来,随着过度放牧、不合理灌溉、植被破坏、流沙入侵等干扰活动的加剧,绿洲—绿洲荒漠交错带—荒漠耦合区生态系统稳定性受到严重威胁。

2 材料与方法

2.1 样品采集与处理

选取民勤绿洲荒漠过渡带的典型样带和不同土地覆被类型开展土壤养分性状分异研究。试验选取民勤沙生植物园、苏武山、北山乡、东湖镇、东坝镇、民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测站(以下简称荒漠台站)、板滩井、红沙梁—雅布赖 8 个样带。土壤样品采集共选取采样点 221 个,采样深度为 10 cm,

每点随机采集 5 个土壤样品并混合,采用四分法获得该样点的土样,去除土样中的石块、草根等杂物,然后风干并研磨粉碎。根据不同土壤性质指标的测定要求分别进行过筛,其中过 18 目(1.0 mm)筛的样品用于速效 N,P,K 的测定;过 60 目(0.28 mm)筛的样品用于有机质的测定;过 100 目(0.15 mm)筛的样品用于全 N,P,K 的测定。土壤性质的测定具体方法如下:(1) 土壤有机质(OM),重铬酸钾容量法—外加热法;(2) 全磷(TP),氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法;(3) 全氮(TN),凯氏法;(4) 速效磷(AP),0.5 M NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法;(5) 碱解氮(AN),扩散法;(6) 速效钾(AK),1 M NH₄OAc 浸提—火焰光度法。所得数据用 SPSS 17.0 软件和 Excel 2007 软件进行数据处理、变异系数计算和主成分分析等。

2.2 土壤肥力质量指数

根据土壤肥力质量指标选取原则^[12],选取有机质、全磷、全氮、速效磷、碱解氮、速效钾等 6 项土壤属性指标,通过主成分分析法,对民勤绿洲荒漠交错带不同样带和地表覆盖下土壤肥力水平进行综合评价,土壤肥力质量计算公式如下^[13]:

$$F = \sum_{i=1}^k \eta_i F_i \quad (1)$$

式中: F ——土壤肥力质量综合得分; η_i ——第 i 个主成分因子的方差贡献率; F_i ——各主成分因子得分。

2.3 变异系数

变异系数也称离散系数,是反映总体各数据的差异程度或离散的指标,其含义是总体各数据的标准差与其算数平均数百分比,其计算公式为:

$$C_v = \frac{\sigma}{X} \times 100\% \quad (2)$$

式中: C_v ——变异系数; σ ——标准差(SD); X ——算数平均数(MEAN)。

3 结果与分析

3.1 土壤养分分布分析

土壤为植物提供生存所需养分,土壤养分含量大小能直接表征土壤肥力状况^[14]。由表 1 可知,研究区各样带内土壤有机质含量依次为荒漠台站>沙生植物园>东湖镇>东坝镇>板滩井>北山乡>苏武山>红沙梁—雅布赖,土壤养分分布呈现出样带间差异性。各样带有机质含量变化范围为 0.016%~0.662%,变率为 313.8%。绿洲内土壤有机质含量为 0.485%,均高于绿洲荒漠交错带(0.2%)和荒漠区(0.032%)(表 2)。土壤有机质主要来源于土壤植物的残体,在绿洲向荒漠的转变过程中,植被盖度相

应地呈现出由大变小,这种植被覆盖过渡及变化导致植被残体数量的差异,加上不同植被类型的固土和抗

风蚀能力有很大差异,最终导致了土壤有机质含量呈现绿洲—绿洲荒漠交错带—荒漠区的大小梯度变化。

表 1 研究区各样带土壤养分分布特征

样带	所属区域	项目	有机质/ %	全氮/ %	全磷/ %	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
沙生植物园	绿洲区	MEAN	0.551	0.031	0.103	26.258	4.196	159.690
		SD	0.689	0.057	0.423	20.844	4.122	92.801
		C _v	125.050	183.870	410.680	79.380	98.240	58.110
苏武山	绿洲荒漠过渡带	MEAN	0.042	0.025	0.035	19.421	16.516	197.295
		SD	0.022	0.011	0.006	7.119	17.262	161.031
		C _v	52.38	44.000	17.140	36.660	104.520	81.620
荒漠台站	绿洲荒漠过渡带	MEAN	0.662	0.044	0.038	34.590	6.038	212.873
		SD	0.404	0.0110	0.006	16.432	3.602	121.261
		C _v	61.030	25.000	15.790	47.510	59.660	56.960
板滩井	荒漠区	MEAN	0.049	0.052	0.027	18.201	3.691	350.291
		SD	0.030	0.0190	0.017	8.201	7.923	288.611
		C _v	61.220	36.540	62.960	45.060	214.660	82.390
北山乡	绿洲荒漠过渡带	MEAN	0.038	0.024	0.0320	16.324	13.034	201.430
		SD	0.038	0.016	0.016	10.727	9.718	226.535
		C _v	100.000	66.670	50.000	65.710	74.560	112.460
东湖镇	绿洲区	MEAN	0.419	0.032	0.041	22.577	11.262	242.342
		SD	0.617	0.031	0.028	16.367	21.315	330.212
		C _v	147.260	96.880	68.290	72.490	189.260	136.260
东坝镇	绿洲荒漠过渡带	MEAN	0.059	0.036	0.061	22.544	11.857	224.433
		SD	0.026	0.013	0.026	6.530	10.560	181.485
		C _v	44.070	36.110	42.620	28.970	89.060	80.860
红沙梁—雅布赖	荒漠区	MEAN	0.016	0.012	0.027	13.891	7.135	148.211
		SD	0.004	0.002	0.008	2.780	3.087	45.507
		C _v	25.000	16.670	29.630	20.010	43.270	30.700

注:MEAN 指算术平均数;SD 指标准差;C_v 指变异系数。

表 2 不同土地覆被下土壤养分含量和 C_v 值(均值)

土地分区	土壤养分 类型	有机质/ %	全氮/ %	全磷/ %	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
绿洲区	养分含量	0.485	0.0315	0.072	24.418	7.729	201.016
	C _v /%	136.155	140.375	239.485	75.935	143.750	97.185
交错带	养分含量	0.200	0.039	0.042	23.220	11.861	209.010
	C _v /%	64.370	42.945	31.388	44.713	81.950	82.975
荒漠区	养分含量	0.032	0.0260	0.027	16.045	5.413	249.251
	C _v /%	43.110	26.605	46.295	32.535	128.965	56.545

各样带土壤养分含量呈现样带间差异,即土壤养分表现出很强的空间差异。由表 1 可知,土壤全氮和全磷含量的百分比变率分别为 333.3%和 281.4%。在土壤速效养分中,土壤碱解氮、速效磷和速效钾变动范围分别为 13.891~34.590,3.691~16.516 和 148.211~350.291 mg/kg,表现为不同地理生态小

单元的样带的土壤养分之间呈现出较大变动,且养分含量变率均大于 130%。

同时,表 2 还表明,土壤有机质、全磷、碱解氮含量呈现为绿洲区>绿洲荒漠交错带>荒漠区,土壤全氮和速效磷含量呈现为绿洲荒漠交错带>绿洲区>荒漠区,绿洲区和绿洲荒漠交错带土壤养分含量大于

荒漠区,而土壤速效钾含量表现为荒漠区>绿洲荒漠交错带>绿洲区的特点,这主要是因为土壤速效钾的含量大小与土壤质地相关^[15],受地表植被覆盖影响较小。

变异系数是对数据离散变化程度的表征。利用式(2)计算出各样带内土壤养分变异系数见表 1,在各样带内土壤养分含量表现出较大的离散性,且在绿洲区的沙生植物园和东湖镇样带内养分变化离散性尤为显著,这主要是由于绿洲内部多以灌溉农田和防护林为主,随着科技的进步和化肥用量的增加,不同作物种植类型下土壤养分呈现剧烈变化,即土壤养分含量与人类农业生产活动密切相关。而人为活动影响较少的荒漠区红沙梁—雅布赖样带中植被覆盖稀少,土壤养分含量变异系数均小于 45%(表 1),变异强度较低。

土壤养分样带内变异程度基本上呈现出沿荒漠—绿洲荒漠交错带—绿洲逐渐增加的趋势(表 2)。土壤有机质、全氮、碱解氮的变异系数表现为绿洲区>绿洲荒漠交错带>荒漠区,而土壤速效钾含量变异系数变为荒漠区>绿洲荒漠交错带>绿洲区,这是

由于干旱区土壤钾素的丰缺程度及其分布状况除与土壤本身含钾矿物类型及数量有关外,与样点所处的地理位置、土壤母质、土壤发育程度、土壤质地及利用方式、培肥程度等因素也密切相关^[16]。研究区内荒漠广布,空间跨度大,因而,土壤速效钾含量变异剧烈。

3.2 不同土地覆被下土壤养分特征分析

土壤养分直接影响土壤肥力质量与生态系统的生产力。不同土地覆被类型、覆被物的自身特性和人类活动的强弱等都会影响土壤环境变化的方向和幅度^[17]。

不同土地覆被下,土壤有机质均值变化显著。如图 1 所示,土壤有机质含量变幅为 0.252%~0.402%,变率为 59.5%,土壤有机质含量表现为草地(0.402%)>灌木地(0.384%)>乔木地(0.313%)>裸地(0.252%)。土壤有机质的主要来源于植被的枯枝落叶的腐解和植被防风抗蚀及阻拦作用,一般说来,植被覆盖的防风抗蚀及阻拦作用明显高于裸地。因此,以灌木地、草地和乔木地为土地覆被的土壤有机质含量高于裸地。可见,因地制宜,合理开展植被恢复建设,有助于提高干旱区土壤有机质含量。

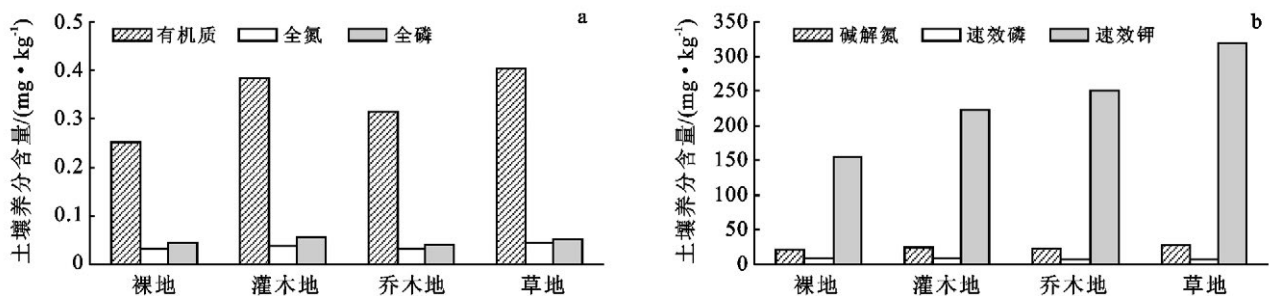


图 1 研究区不同土地覆被下土壤养分含量(均值)比较

土壤氮素是土壤养分中的重要元素之一。由图 1 可知,不同土地覆被类型下土壤全氮含量变化为:草地>灌木地>乔木地>裸地,全氮含量变幅为 0.031%~0.046%,变率为 48.4%。而不同土地覆被类型下土壤碱解氮含量的变化为草地(27.164 mg/kg)>灌木地(24.281 mg/kg)>乔木地(22.817 mg/kg)>裸地(21.27 mg/kg),变率为 27.7%。二者变化趋势一致,主要是由于土壤碱解氮含量与土壤全氮量成正相关^[17]。

土壤全磷量均值变化表现为灌木地(0.057%)和草地(0.051%)较高,裸地(0.045%)和乔木地(0.042%)较低,土壤速效磷均值大小与全磷不同,表现为裸地(8.554 mg/kg)和灌木地(8.551 mg/kg)含量高,草地(8.33 mg/kg)和乔木地(7.011 mg/kg)较低,但均表现为差异不明显。裸地中土壤速效磷含量

最高,这主要是由于速效磷在泥沙中富集明显^[16]。在 6 类土壤养分中,土壤磷素变率最小,不同土地覆被下土壤磷素含量变化不大。

不同土地覆被类型下速效钾含量表现出很大的差异,其大小为草地>乔木地>灌木地>裸地,变幅为 154.598~319.546 mg/kg,变化等级为草地>乔木地>灌木地>裸地,变率达 106.7%,高于土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷均值含量的变率。这主要是与壤质地和土壤类型(主要是风沙土和灰棕漠土)等有关^[18]。

3.3 土壤肥力综合评价

对不同土地覆被类型的土壤养分指标进行主成分分析,计算相关矩阵的特征值、方差贡献率和累积贡献率得表 3。采用方差极大法对因子载荷矩阵进行旋转,结果表明:特征值 $\lambda > 1$ 的主成分有 2 个,且

方差贡献率分别为 67.887% 和 26.183%, 前 2 个主成分累计贡献率为 94.070%, 满足主成分的提取要求。采用回归法估计因子得分系数, 经过重新计算, 结果无差异。

表 3 土壤肥力因子主成分的特征值、方差贡献率和累积方差贡献率

因子	初始特征值			旋转平方和载入		
	特征值	方差的贡献率/%	累计贡献/%	特征值	方差的贡献率/%	累计贡献/%
1	4.073	67.887	67.887	3.903	65.050	65.050
2	1.571	26.183	94.070	1.174	29.020	94.070

4 种土地覆被类型下土壤肥力质量大小为草地(0.552) > 灌木地(0.057) > 乔木地(-0.642) > 裸地(-0.677)(图 2), 草地和灌木地的土壤肥力质量高于乔木地和裸地, 主要是由于草地和灌木地对地表土壤养分的积累和培肥作用优于乔木地和裸地。对绿洲荒漠过渡带而言, 种植草本和乔、灌木可以增加土壤有机质、氮、磷、钾含量, 提高土壤肥力。对于干旱沙区退耕还林还草(还牧)和生态重建工程来说, 种植草、灌木和自然恢复等是提高土壤肥力和土地生产力的最佳选择。

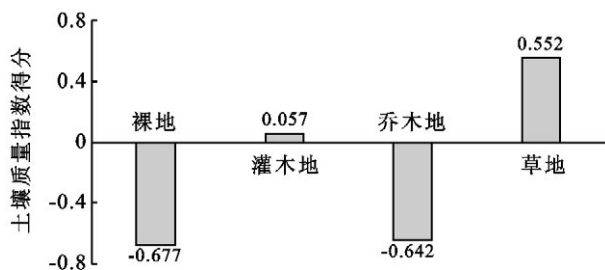


图 2 不同土地覆被下土壤肥力综合评价得分

4 结论

(1) 受干旱环境和高度异质性荒漠景观及人类生产活动的影响, 民勤绿洲荒漠过渡带土壤有机质含量呈现为绿洲区 > 绿洲荒漠交错带 > 荒漠区。各土壤养分均值含量变率在 136.3% ~ 347.5% 范围, 差异显著。

不同样带土壤养分变化主要受土地覆被类型和人类活动强弱的影响, 土壤养分样带内变异程度呈现出沿荒漠—绿洲荒漠交错带—绿洲逐渐增加的趋势。土地的覆被类型同样与人类活动强度息息相关, 因此, 开展有利的人类活动导向, 有利于维持绿洲稳定和改善干旱区绿洲整体环境, 促进绿洲的可持续发展。

(2) 不同土地覆被对土壤养分的保持和培肥效用不同。由于不同植物对不同元素的选择吸收以及吸收能力的不同, 造成土壤养分的“空间差异效应”。草本植物下的有机质含量最高, 为 0.402%, 受人类活动影响较小的裸地有机质含量最低; 不同土地覆被类型下土样氮素含量变化和有机质含量变化类似; 不同土地覆被下土壤磷素含量变化不大; 土壤速效钾含量呈现为草地 > 乔木地 > 灌木地 > 裸地。

(3) 不同土地覆被类型的土壤肥力质量大小为草地 > 灌木地 > 乔木地 > 裸地, 在干旱沙区, 草本和灌木植被具有较好的土壤培肥能力。这主要是由于研究区属于干旱荒漠草原带, 更适于耐旱耐瘠薄的草本和灌木的良性生长, 不利于高大耗水乔木的生长等。

(4) 民勤荒漠绿洲过渡带土地覆盖和土壤性状变化关系到绿洲荒漠过渡带生态系统的稳定性和生态恢复重建的成败。本研究表明, 沙生草本、灌木植被地表土壤养分含量的富集效应, 可以较好地维持和改善绿洲荒漠过渡带的土壤肥力。因此, 选择具有高干旱和极端环境适应性的灌木和草本物种开展“退耕还林还草(还牧)”和生态恢复重建, 是绿洲荒漠过渡带生态恢复、提高土地生产力和防治荒漠化的有效途径。

[参 考 文 献]

- [1] 王升堂, 邹学勇, 张春来, 等. 民勤绿洲边缘带灌丛沙丘防风作用研究[J]. 地理科学, 2007, 27(1): 104-109.
- [2] 陈鹏, 初雨, 顾峰雪, 等. 绿洲—荒漠过渡带景观的植被与土壤特征要素的空间异质性分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 904-908.
- [3] 孙涛, 王继和, 刘虎俊. 绿洲荒漠交错带活化沙丘的植物群落特征分析[J]. 水土保持学报, 2009, 16(6): 174-178.
- [4] 包耀贤, 吴发启, 谭红朝, 等. 坝地土壤养分分布特征研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 12-15.
- [5] Zhao Halin, Guo Yirui, Zhou Ruilian, et al. Biological soil crust and surface soil properties in different vegetation types of Horqin sand land, China [J]. Catena, 2010(82): 70-76.
- [6] 吕光辉, 杜昕, 杨建军, 等. 阜康绿洲—荒漠交错带荒漠植被群落稳定性[J]. 干旱区地理, 2007, 30(5): 660-665.
- [7] 吕晓东, 马忠明, 杨虎德. 民勤绿洲耕作土壤养分时空变异特征及其影响因素[J]. 干旱区研究, 2010, 27(4): 487-494.
- [8] 赵长明, 魏小平, 尉秋实. 民勤绿洲荒漠过渡带植物白刺和梭梭光合特性[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 1908-1913.

(下转第 164 页)

- [5] 张宁南,徐大平, Morris J. 雷州半岛尾叶桉人工林树液茎流特征的研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(6): 661-667.
- [6] 马玲,赵平,饶兴权,等. 乔木蒸腾作用的主要测定方法[J]. 生态学杂志, 2005, 24(1): 88-96.
- [7] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas fir stand by means of sap flow measurements[J]. Tree Physiology, 1987, 3(4): 309-320.
- [8] Steppe K, De Pauw D J W, Doody T M, et al. A comparison of sap flux density using thermal dissipation, heat pulse velocity and heat field deformation methods[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(7/8): 1046-1056.
- [9] Lu Ping, Urban L, Zhao Ping. Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice[J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(6): 631-646.
- [10] 徐军亮,马履一,阎海平. 油松树干液流进程与太阳辐射的关系[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 103-107.
- [11] 周翠鸣,赵平,倪广艳,等. 广州地区荷木夜间树干液流补水的影响因子及其对蒸腾的贡献[J]. 应用生态学报, 2012, 23(7): 1751-1757.
- [12] 王华,赵平,蔡锡安,等. 马占相思夜间树干液流的分配及其对整树蒸腾估算的影响[J]. 植物生态学报, 2007, 31(5): 777-786.
- [13] 王华田,赵文飞,马履一. 侧柏树干边材液流的空间变化规律及其相关因子[J]. 林业科学, 2006, 42(7): 21-27.
- [14] 张建国,闫美杰,时伟宇,等. 辽东栎不同方位边材液流季节动态及其对蒸腾耗水测算的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 193-197.
- [15] 潘瑞焯. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 17-22.
- [16] 王瑞辉,马履一,奚如春,等. 元宝枫生长旺季树干液流动态及影响因素[J]. 生态学杂志, 2006, 25(3): 231-237.
- [17] 陈立欣,李湛东,张志强,等. 北方 4 种城市树木蒸腾耗水的环境响应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2861-2870.
- [18] 奚如春,马履一,王瑞辉,等. 3 个树种枝干水容特征[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(4): 22-26.
- (上接第 57 页)
- [9] 崔晓勇,刘世荣,赵广东,等. 甘肃民勤绿洲—流沙过渡带植物群落光合和呼吸特征的比较研究[J]. 林业科学, 2003, 39(3): 6-13.
- [10] 魏怀东,徐先英,丁峰,等. 民勤绿洲土地荒漠化动态监测[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(20): 12-17.
- [11] 石玉林,任阵海,雷志栋,等. 西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究: 土地荒漠化卷[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 442-444.
- [12] 吴蔚东,张桃林. 红壤地区杉木人工林土壤肥力质量性状的演变[J]. 土壤学报, 2001, 3(38): 285-293.
- [13] 邓利. 杉木、马尾松人工林土壤肥力质量指标与评价[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [14] Lal R. Soil erosion and land degradation: the global risks[J]. Advance in Soil Science. 1990, 11: 169-172.
- [15] 张春霞,郝明德,王旭刚,等. 黄土高原沟壑区小流域土壤养分分布特征[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 78-80.
- [16] 张树清,孙小凤. 甘肃农田土壤氮磷钾养分变化特征[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 13-18.
- [17] 布雷迪. 土壤的本质与性状[M]. 南京农学院土化系译. 北京: 科学出版社, 1982.
- [18] 唐克丽,张仲子,孔晓玲,等. 黄土高原水土流失与土壤退化的研究[J]. 水土保持通报, 1987, 7(6): 12-17.