

北京山地不同林分乔木层生物量和生产力研究

鲁绍伟¹, 陈波², 潘青华¹, 张玉平¹, 李少宁¹

(1. 北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093; 2. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

摘要:以北京山地 7 种人工纯林为研究对象, 利用相对生长法对其乔木层(干、枝、叶、根和整株)生物量和生产力进行了定量研究, 并分析了生物量回归关系。结果表明: 树干、树枝和整株生物量与树高、胸径呈幂函数关系, 树根和树叶生物量与树高、胸径呈二次多项式关系, 且 $R > 0.81$; 不同树种各器官的生物量有所差异; 乔木层平均生物量在 $29.56 \sim 135.09 \text{ t/hm}^2$ 之间, 排序为白杆 > 油松 > 核桃楸 > 华山松 > 白皮松 > 山杨 > 侧柏; 净生产力范围为 $2.06 \sim 9.44 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 从大到小依次为核桃楸 > 油松 > 白杆 > 白皮松 > 华山松 > 山杨 > 侧柏。不同林分各器官生物量的积累以树根和树干为主, 生产力的积累以树干和树枝为主。

关键词:北京山地; 生物量; 生产力

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)04-0155-05

Studies on Biomass and Productivity in the Different Forest Stands of Mountains in Beijing

LU Shao-wei¹, CHEN Bo², PAN Qing-hua¹, ZHANG Yu-ping¹, LI Shao-ning¹

(1. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences,

Beijing 100093, China; 2. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: 7 artificial pure forest stands were taken as the research object in the Beijing Mountain. The method of the relative growth was used to quantitatively study the tree layer (stem, branch, leaf, root and the whole plant) biomass and productivity, and analyze biomass regression relationship. The results show that: the trunks, branches and whole plant biomass and tree height, diameter at breast height was power function, and the relationship between biomass of roots and leaves, and tree height, DBH was described with two polynomial relation ($R > 0.81$); different species biomass of each organ are different; the tree layer biomass varies from 29.56 to 35.09 t/hm^2 , order is *Picea meyeri* > *Pinus tabulaeformis* > *Juglans mandshurica* Maxim > *Pinus armandii* Franch. > *Pinus bungeana* Zucc. et Endi > *Populus davidiana* Dode > *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco; net productivity is in the range of $2.06 \sim 9.44 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, order from big to small amount is *Juglans Mandshurica* Maxim. > *Pinus tabuliiformis* > *Picea meyeri* > *Pinus bungeana* Zucc. et Endi > *Pinus Armandii* Franch > *Populus davidiana* Dode > *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco. Stand biomass mainly accumulates in roots and stems, productive accumulation mainly occurs in the trunks and branches in terms of material accumulation in each organ of tree.

Key words: Mountain of Beijing; biomass; net productivity

生物量是生态系统运行的基础, 是构成生态系统生产力的重要组成部分; 生产力是评价森林生态系统结构和功能的重要指标^[1]。生物量的测定是研究林业和生态问题的基础, 其主要的方法为相对生长法。我国从 1970 年开始进行有关生物量和生产力的研

究, 但主要集中在对单一物种的研究和林下植被层生物量方面^[2-4]。对同一地区不同类型植物群落的生物量和生产力的研究较少^[5], 但在一个区域会同时有好多种植物类群存在。因此, 本研究对北京山地 7 种不同林分类型乔木层的生物量和生产力进行研究, 构建

收稿日期: 2012-12-14

修回日期: 2013-01-10

资助项目: 林业公益性科研专项“中国森林净生产力多尺度长期观测与评价研究”(200804006/rhh-09); 北京市科技专项“石佛寺引种试验林评价及适生树种筛选”(Z111105055311043)

作者简介: 鲁绍伟(1969—), 男, 河北秦皇岛人, 博士, 研究员, 主要从事水土保持与森林服务功能研究。E-mail: hblsw8@163.com

通信作者: 陈波(1987—), 男, 甘肃张掖人, 在读硕士, 主要从事水土保持研究。E-mail: zhyechb2010@163.com

植物生物量的相对方程,分析各器官生物量与植株大小的相对关系,为准确定量北京山地森林乔木层生物量 and 生产力,评价其生态功能提供科学依据和基础数据,对北京市和华北地区的生态环境保护和森林资源开发有现实意义。

1 研究区概况

研究区八达岭石佛寺位于北京市西北郊延庆县水关长城脚下,东经 116°02′,北纬 40°20′,属燕山山脉,为火成岩、花岗岩山地,海拔 475~1 100 m,试验基地总面积 667 hm²。该地区属于北京北部山地气候温凉的 9 度线以北地区,年平均气温为 9.3℃,极端最高气温 39℃,极端最低气温-25℃,无霜期 160 d,年均降水量 477.6 mm,年均蒸发量为 1 828 mm,主要集中在 7—8 月。该地区属于暖温带阔叶林区,地带性植被以栎林为代表的落叶阔叶林,以及侧柏林为代表的针叶林为主。由于原始林的砍伐和破坏,现有植被多为天然次杂木林及中、干生灌丛地带。土壤为北部山区褐色土壤带,受森林的破坏及多年砍伐后萌生的次生林的影响,腐殖质层较厚。乔木树种主要有侧柏(*Platycladus*)、油松(*Pinus*)、核桃楸(*Juglans*)、华山松(*Armandii*)、白皮松(*Bungeana*)、白杆(*Picea*)、山杨(*Populus*)和蒙古栎(*Quercus*)等。

2 研究方法

于 2012 年 8 月在八达岭石佛寺水关长城脚下选取 7 种纯林(油松、侧柏、华山松、白杆、白皮松、核桃楸、山杨)进行采样分析。在林木径级分布序列表的基础上,每种林分选择 5 棵伐倒样木,伐倒后将样木分成干、枝、叶、根 4 个组分;将样木的这 4 部分器官在烘箱中烘至恒重,计算出干物质重量;应用相对生长法计算单位面积乔木层生物量^[6-7]。

相对生长法计算公式为:
$$W=aD^b \text{ 或 } W=a(D^2H)^b$$

式中: W ——各器官生物量(干重); D ——林木胸径; H ——树高; a, b ——系数。
净生产力: $NPP=W/a$
式中: NPP ——年平均净生产量; W ——生物量; a ——林分年龄。

3 结果与分析

3.1 不同林分乔木层生物量回归关系

用树高(H)和胸径(D)数据,建立北京山地主要树种的森林乔木层各器官干重回归方程,其中干、枝、全株根据公式 $W=a(D^2H)^b$ 建立,叶和根采用公式

$W=a(D^2H)^2+b(D^2H)+c$ 建立(表 1)。结果表明,所建立的干、枝、叶、根及全株的回归方程相关系数 $R>0.81$,说明树高和胸径能很好地预测乔木层生物量。

表 1 不同林分生物量回归关系

树种	回归方程式	R
油松	$W_{\text{干}}=1.7063(D^2H)^{0.4324}$	0.9350
	$W_{\text{枝}}=0.3592(D^2H)^{0.5807}$	0.9199
	$W_{\text{叶}}=3E-05(D^2H)^2-0.0712D^2H+45.918$	0.8940
	$W_{\text{根}}=3E-05(D^2H)^2-0.0625D^2H+86.676$	0.9637
	$W_{\text{总}}=9.8244(D^2H)^{0.3576}$	0.8756
侧柏	$W_{\text{干}}=0.0178(D^2H)^{1.0889}$	0.9800
	$W_{\text{枝}}=1.0705(D^2H)^{0.4644}$	0.9719
	$W_{\text{叶}}=0.0003(D^2H)^2-0.0662D^2H+10.899$	0.9704
	$W_{\text{根}}=0.0004(D^2H)^2-0.0713D^2H+8.9926$	0.9847
	$W_{\text{总}}=1.5089(D^2H)^{0.6018}$	0.9666
华山松	$W_{\text{干}}=3.618(D^2H)^{0.2612}$	0.8437
	$W_{\text{枝}}=3.3723(D^2H)^{0.2859}$	0.8597
	$W_{\text{叶}}=-0.0001(D^2H)^2+0.1101D^2H-9.5552$	0.8169
	$W_{\text{根}}=-7E-05(D^2H)^2+0.0611D^2H+33.688$	0.8283
	$W_{\text{总}}=25.846(D^2H)^{0.2166}$	0.8301
白杆	$W_{\text{干}}=36.612(D^2H)^{0.0362}$	0.9251
	$W_{\text{枝}}=24.426(D^2H)^{0.0579}$	0.9649
	$W_{\text{叶}}=-0.0546(D^2H)^2+0.8783D^2H+16.249$	0.9948
	$W_{\text{根}}=0.0498(D^2H)^2+0.0385D^2H+56.228$	0.9970
	$W_{\text{总}}=134.2(D^2H)^{0.0368}$	0.9576
白皮松	$W_{\text{干}}=4.2879(D^2H)^{0.2648}$	0.9289
	$W_{\text{枝}}=0.1375(D^2H)^{0.6095}$	0.9423
	$W_{\text{叶}}=1E-05(D^2H)^2+0.004D^2H+1.1388$	0.9582
	$W_{\text{根}}=-2E-05(D^2H)^2+0.0227D^2H+3.8842$	0.9605
	$W_{\text{总}}=3.0575(D^2H)^{0.435}$	0.9347
核桃楸	$W_{\text{干}}=2.9471(D^2H)^{0.1778}$	0.9918
	$W_{\text{枝}}=53.25(D^2H)^{0.049}$	0.9779
	$W_{\text{叶}}=-3E-06(D^2H)^2+0.0069D^2H+7.4486$	0.9872
	$W_{\text{根}}=-1E-05(D^2H)^2+0.017D^2H+22.839$	0.9786
	$W_{\text{总}}=74.315(D^2H)^{0.0755}$	0.9864
山杨	$W_{\text{干}}=3.8356(D^2H)^{0.1854}$	0.9545
	$W_{\text{枝}}=2.896(D^2H)^{0.1807}$	0.9443
	$W_{\text{叶}}=-2E-07(D^2H)^2+0.0005D^2H-0.0936$	0.8874
	$W_{\text{根}}=-5E-06(D^2H)^2+0.008D^2H+8.1014$	0.9203
	$W_{\text{总}}=11.2(D^2H)^{0.1689}$	0.9427

3.2 不同林分乔木层生物量 and 生产力

3.2.1 油松纯林生物量 and 生产力 油松林的乔木层生物量 and 生产力分配见表 2,由表 2 可知,各器官总平均生物量为 122.96 t/hm²,从大到小依次为根>干>枝>叶。根的平均生物量最大为 55.55 t/hm²,所占比例为 45.17%;叶的平均生物量最低,为 9.23 t/hm²,占油松总平均生物量的 7.51%;根部生物量

是叶生物量的 6.02 倍。油松林各器官的总净初级生产力平均为 7.61 t/(hm² · a)。干的净初级生产力最大为 3.03 t/(hm² · a),所占比例为 39.76%;叶的

最小为 0.71 t/(hm² · a), 占总平均初级生产力的 9.33%。各器官的平均净初级生产力从大到小依次为干>根>枝>叶。

表 2 油松纯林生物量和净生产力

指标	干	枝	叶	根	总
生物量/(t · hm ⁻²)	36.32	21.86	9.23	55.55	122.96
所占比例/%	29.54	17.78	7.51	45.17	100.00
初级净生产力/(t · hm ⁻² · a ⁻¹)	3.03	1.56	0.71	2.31	7.61
所占比例/%	39.76	20.51	9.33	30.40	100.00

3.2.2 侧柏纯林生物量和生产力 由相对生长法求得的不同年龄侧柏纯林乔木层生物量及其分配见表 3。表 3 表明,侧柏各器官总平均生物量平均为 29.56 t/hm²。从大到小依次为枝>叶>根>干,其中枝的平均生物量最大为 10.75 t/hm²,所占比例为 36.38%;干的平均生物量最低,为 3.91 t/hm²,占侧柏总平均生物量的 13.24%。侧柏林各器官的净初

级生产力平均为2.06 t/(hm² · a)。枝的净初级生产力最大为 0.83 t/(hm² · a),所占比例为 40.23%;根的平均生物量最小为 0.27 t/(hm² · a),仅占总平均初级生产力的 12.99%。各器官的平均净初级生产力从大到小依次为枝>叶>干>根。可见,侧柏林各器官的生物量和初级净生产力的排序是相同的,均是枝、叶最大。

表 3 侧柏纯林生物量和净生产力

指标	干	枝	叶	根	总
生物量/(t · hm ⁻²)	3.91	10.75	8.48	6.41	29.56
所占比例/%	13.24	36.38	28.70	21.68	100.00
初级净生产力/(t · hm ⁻² · a ⁻¹)	0.36	0.83	0.61	0.27	2.06
所占比例/%	17.31	40.23	29.47	12.99	100.00

3.2.3 华山松纯林生物量和生产力 华山松纯林的乔木层生物量和生产力分配见表 4。

由表 4 可以看出,华山松各器官总平均生物量为 89.61 t/hm²,从大到小依次为根>枝>干>叶。其中根的平均生物量最大为 45.51 t/hm²,所占比例达到 50.78%;叶的平均生物量最低,仅为 10.69 t/hm²,占华山松总平均生物量的11.93%;可见该地区

华山松林还未达到成熟林,出材率不高,生物量的积累和分配以根和枝为主。华山松林各器官的净初级生产力平均为 4.84 t/(hm² · a)。根的净初级生产力最大为 1.75 t/(hm² · a),所占比例为 36.33%;叶的最小为 0.76 t/(hm² · a),占华山松总平均初级生产力的 15.85%;各器官的平均净初级生产力从大到小依次为根>干>枝>叶。

表 4 华山松纯林生物量和净生产力

指标	干	枝	叶	根	总
生物量/(t · hm ⁻²)	16.11	17.30	10.69	45.51	89.61
所占比例/%	17.98	19.31	11.93	50.78	100.00
初级净生产力/(t · hm ⁻² · a ⁻¹)	1.34	0.96	0.76	1.75	4.82
所占比例/%	27.87	19.95	15.85	36.33	100.00

3.2.4 白杆纯林生物量和生产力 白杆纯林的乔木层生物量和生产力分配见表 5。由表 5 可知,各器官总平均生物量为 135.09 t/hm²,从大到小依次为根>干>枝>叶。其中根的平均生物量最大为 56.38 t/hm²,所占比例为 41.74%;叶的平均生物量最小,为 17.13 t/hm²,占白杆总平均生物量的 12.68%。白杆

林各器官的总净初级生产力平均为 7.29 t/(hm² · a)。干的净初级生产力最大为 2.49 t/(hm² · a),所占比例为 34.09%;叶的净初级生产力最小为 1.22 t/(hm² · a),占总平均初级生产力的 16.79%;各器官的平均净初级生产力从大到小依次为干>根>枝>叶。可见,白杆纯林的净初级生产力以树枝为主。

表 5 白杆纯林生物量和净生产力

指标	干	枝	叶	根	总
生物量/(t · hm ⁻²)	36.93	24.64	17.13	56.38	135.09
所占比例/%	27.34	18.24	12.68	41.74	100.00
初级净生产力/(t · hm ⁻² · a ⁻¹)	2.49	1.23	1.22	2.35	7.29
所占比例/%	34.09	16.90	16.79	32.23	100.00

3.2.5 白皮松纯林生物量和生产力 白皮松纯林生物量和净初级生产力的分配见表 6。由表 6 可知,白皮松各器官总平均生物量为 43.01 t/hm²。从大到小依次为干>根>枝>叶,其中干的平均生物量最大,为 21.55 t/hm²,所占比例为 50.12%;叶的生物量最低,为 5.18 t/hm²,占白桦总平均生物量的 12.05%。表明该地区白桦林以近熟林为主,出材率较高,生物

表 6 白皮松纯林生物量和净生产力

指标	干	枝	叶	根	总
生物量/(t·hm ⁻²)	21.55	5.52	5.18	10.75	43.01
所占比例/%	50.12	12.83	12.05	25.00	100.00
初级净生产力/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	3.58	0.71	0.32	0.41	5.03
所占比例/%	71.17	14.17	6.44	8.22	100.00

3.2.6 核桃楸纯林生物量和生产力 核桃楸纯林的乔木层生物量和生产力分配见表 7。表 7 表明,核桃楸林的乔木层各器官总平均生物量为 117.20 t/hm²。从大到小依次为枝>根>叶>干,其中枝的平均生物量最大,为 71.64 t/hm²,所占比例达 61.12%;干的平均生物量最低,为 8.40 t/hm²,占核桃楸总平均生物量的 7.17%;表明该地区核桃楸林还不成熟林,出

表 7 核桃楸纯林生物量和净生产力

指标	干	枝	叶	根	总
生物量/(t·hm ⁻²)	8.40	71.64	9.76	27.40	117.20
所占比例/%	7.17	61.12	8.33	23.38	100.00
初级净生产力/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	0.70	5.97	0.81	1.96	9.44
所占比例/%	7.41	63.24	8.62	20.73	100.00

3.2.7 山杨纯林生物量和生产力 山杨林的乔木层生物量和生产力分配见表 8。由表 8 看出,各器官总平均生物量为 31.03 t/hm²,从大到小依次为干>根>枝>叶,其中干的平均生物量最大,为 11.67 t/hm²,所占比例达到 37.61%;叶的平均生物量最低,仅为 0.06 t/hm²,占山杨总平均生物量的 0.18%。表明该地区山杨林生物量的积累以树干为主。山杨林

表 8 山杨纯林生物量和净生产力

指标	干	枝	叶	根	总
生物量/(t·hm ⁻²)	11.67	8.62	0.06	10.68	31.03
所占比例/%	37.61	27.77	0.18	34.43	100.00
初级净生产力/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	1.06	0.62	0.004	0.51	2.19
所占比例/%	48.45	28.11	0.20	23.24	100.00

4 结论

北京山地 7 种不同林分各器官生物量与树高、胸径(*D*²*H*)存在着紧密关系,其 *R* 值均达 0.81 以上,介于 0.812 9~0.994 8 之间;经 *F* 检验,回归关系均达到显著水平,拟合精度高,在推算人工林生物量时具有应

量的积累以树根、干为主。白皮松林各器官的净初级生产力平均为 5.03 t/(hm²·a),干的净初级生产力最大为 3.58 t/(hm²·a),所占比例为 71.17%;叶的最小为 0.32 t/(hm²·a),仅占白皮松总平均初级生产力的 6.44%。各器官的平均净初级生产力从大到小依次为干>枝>根>叶,表明白皮松初级净生产力的积累还是以树干为主。

材率不高,生物量的积累主要以树枝为主。核桃楸林各器官的总净初级生产力平均为 9.44 t/(hm²·a),枝的净初级生产力最大为 5.97 t/(hm²·a),所占比例为 63.24%;干的最小仅为 0.70 t/(hm²·a),仅占核桃楸总平均初级生产力的 7.41%。各器官的平均净初级生产力从大到小依次为枝>根>叶>干,表明核桃楸生产力还是以树枝积累为主。

各器官的总净初级生产力平均为 2.19 t/(hm²·a),干的净初级生产力最大为 1.06 t/(hm²·a),所占比例为 48.45%;叶的最小,仅为 0.004 t/(hm²·a),仅占山杨总平均初级生产力的 0.20%。各器官的平均净初级生产力从大到小依次为干>枝>根>叶。表明山杨林的生产力以树干积累为主,且正处于生产力增长的高峰期。

用价值,可为其它地区林分生物量测算提供参考。
乔木层平均生物量排序为白杆(135.09 t/hm²)>油松(122.96 t/hm²)>核桃楸(117.20 t/hm²)>华山松(89.61 t/hm²)>白皮松(43.01 t/hm²)>山杨(31.03 t/hm²)>侧柏(29.56 t/hm²);净生产力从大到小依次为核桃楸[9.44 t/(hm²·a)]>油松

[7.61 t/(hm² · a)]>白杆[7.29 t/(hm² · a)]>白皮松[5.03 t/(hm² · a)]>华山松[4.82 t/(hm² · a)]>山杨[2.19 t/(hm² · a)]>侧柏[2.06 t/(hm² · a)]。与冯宗炜^[8]等的研究相比,白杆、油松、华山松的生物量和生产力以及侧柏的生产力较高,而山杨的生物量和生产力以及侧柏的生物量较低。这是由研究区立地条件、林木密度不同等多方面因素造成的。树叶的生物量和净生产力均是最小的。

参考文献:

[1] Lv X T, Yin J X, Jepsen M R, et al. Ecosystem carbon storage and partitioning in a tropical seasonal forest in Southwestern China[J]. Forest Ecology and Management, 2010, 260(10): 1798-1803.

[2] 刘玉萃, 吴明作, 郭宗民, 等. 内乡宝天曼自然保护区锐齿栎林生物量和净生产力研究[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1450-1456.

[3] 曾慧卿, 刘琪璟, 冯宗炜, 等. 红壤丘陵区林下灌木生物量估算模型的建立及其应用[J]. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2185-2190.

[4] 李晓娜, 国庆喜, 王兴昌, 等. 东北天然次生林下木树种生物量的相对生长[J]. 林业科学, 2010, 46(8): 22-32.

[5] 冯志立, 郑征, 张建侯, 等. 西双版纳热带湿性季节雨林生物量及其分配规律研究[J]. 植物生态学报, 1998, 22(6): 481-488.

[6] 温远光, 梁乐荣, 黎洁娟, 等. 广西不同生态地理区域杉木人工林的生物生产力[J]. 广西农学院学报, 1988, 7(2): 55-66.

[7] 叶绍明, 郑小贤, 杨梅, 等. 尾叶桉与马占相思人工复层林生物量及生产力研究[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(3): 37-44.

[8] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

.....

(上接第 154 页)

[3] 邓艳, 蒋忠诚, 蓝芙宁, 等. 拉典型峰丛洼地生态系统中青冈林群落的小气候特征比较[J]. 广西科学, 2004, 11(3): 236-242.

[4] 方文松, 朱自玺, 刘荣花, 等. 秸秆覆盖农田的小气候特征和增产机理研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 123-128.

[5] 张颖, 郑西来, 伍成成, 等. 辽河口芦苇湿地蒸散试验研究[J]. 水科学进展, 2011, 22(3): 351-358.

[6] 杨恒山, 刘江, 张宏宇, 等. 不同播种方式下苜蓿与无芒雀麦人工草地的小气候特征分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 175-179.

[7] 王岩, 魏忠平, 潘文利, 等. 辽河三角洲泥质海岸防护林小气候效益研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 65-73.

[8] 吴力立. 城市森林小气候对中气候波动的响应[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(2): 43-46.

[9] 张明如, 陈建新, 俞蘸武, 等. 浙西山地森林小气候变化特征及其对休闲旅游活动的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 28(1): 13-18.

[10] 司建华, 冯起, 张小由, 等. 荒漠河岸林胡杨和怪柳群落小气候特征研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 668-674.

[11] 魏丰良, 刘廷玺, 张圣微, 等. 科尔沁沙地植被覆盖变化

及其与气候因子的关系研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 254-258.

[12] 左洪超, 胡隐樵. 黑河地区绿洲和戈壁小气候特征的季节变化及其对比分析[J]. 高原气象, 1994, 13(3): 246-254.

[13] 张强, 周毅. 敦煌绿洲夏季典型晴天地表辐射和能量平衡及小气候特征[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 717-723.

[14] 徐丽萍, 杨改河, 冯永忠, 等. 黄土高原人工植被对局地小气候影响的效应研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 170-179.

[15] 谢余初, 巩杰, 赵彩霞, 等. 干旱区绿洲土地利用变化的生态系统服务价值响应: 以甘肃省金塔县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 165-170.

[16] 丁建丽, 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 新疆于田绿洲-荒漠脆弱带时空演变及其调控方法研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 70-73.

[17] 冯起, 司建华, 张艳武, 等. 极端干旱地区绿洲小气候特征及其生态意义[J]. 地理学报, 2006, 61(1): 99-108.

[18] 熊黑钢, 韩茜. 新疆绿洲可持续发展研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 120-122.