中国寧夏回族自治区の砂漠化土地に15年前に造成された防風林の生育経過

吉川 賢¹⁾・坂本圭児¹⁾・堀 幸代¹⁾・三木直子¹⁾・黄勝澤²⁾

1) 岡山大学大学院環境学研究科 Grad. Sch. Env. Sci., Okayama Univ.
kenchan@cc.okayama-u.ac.jp

2) 海外林業コンサルタンツ協会 Japan Oversea Forestry Consultants
Association

摘要: 中国寧夏回族自治区銀川市の毛烏素沙地に造成され、その後15年間放置されてきた約50 haの防風防砂林を対象として、樹木の生育状態を毎木調査と伐倒調査によって調べた。新疆楊は、植栽当初から激しい個体間競争によって間引きが起こり、生存個体数は植栽時の6割程度まで減少した。しかし、残存個体は多くの資源を獲得することができ、現在も旺盛な成長を継続し、樹高は現在の12 mよりさらに高くなる傾向を示した。一方、合作楊、河北楊は15年間枯死がほとんど起こらず、共倒れ型の林分を形成し、どの個体の成長も悪く、多くの枯れ枝を持って、樹高は上限(7~10 m)に達していた。新疆楊が優占するプロットの土壌含水率は、合作楊、河北楊が優占するプロットよりも低かった。これは新疆楊は葉量が多く、水消費量が多いためと考えられた。

キーワード: 防風防砂林、毛烏素沙地、半乾燥地、新疆楊、先枯れ

YOSHIKAWA, Ken, SAKAMOTO, Keiji, HORI, Sachiyo, MIKI, Naoko and HUANG, Sheng-ze :
Growth of trees in a windbreak established in desertification area 15 years ago in China (Yinchuan, Ningxia-Huizu Autonomous Region)

Abstract: Forest structure and growth of individual trees were investigated by enumeration survey and stem analysis in the windbreaks established and left free for 15 years in Mu-U's desert in Yinchuan City, Ningxia-Huizu Autonomous Region, China. 40 % of planted *Populus alba* var. *pyramidalis* reduced because of self-thinning promoted by severe intra-specific competition for natural resources. Survived trees showed the vigorous growth reaching higher than 12 meters. On the other hand, self-thinning was seldom occurred in both windbreaks of *P. Opera* and *P. hopeiensis*. They had a lot of dead branches on their crowns and their annual height growth showed an asymptotic curve to the 7 to 10 meters maximum height. Soil moisture content was lower in *P. alba* var. *pyramidalis* forest than in *P. Opera* and *P. hopeiensis* forests, because of more water consumption of *P. alba* var. *pyramidalis* by great volume of leaf biomass.

Key words: tree shelter belt, Mu-U's desert, semi arid land, *Populus alba* var. *pyramidalis*, dieback

1. はじめに

農地を砂から守り、砂漠化を食い止めるために、防風防砂林の造成が中国ではいま盛んに行われている。その最も顕著な例が6大林業プロジェクトと呼ばれるものである⁹⁾。こうした樹林の造成によって裸地の厳しい環境条件は緩和されるが、拡大した緑地による水の消費が下流での水不足など負の影響を引き起こす可能性も見逃せない。

ほとんど裸地に近い土地に苗木を植栽し、防風防砂林として成林させるためには、様々な育林・保育作業を長年月にわたって継続していかなければならない。特に交配により品種改良が進んでいるポプラなど⁷⁾を植栽した場合は、慎重な比較調査が必要である。従って、樹林造成には長い目で樹林の

生育経過を見守る体制が整備されていなければならない。しかし、中国では植林作業が終了して3~5年目の残存率で施業の適否が判断され、その後の経過は軽視され、資料も散逸してしまっている場合が多い。

本研究では、樹林帯造成には長期のフォローアップの体制整備が必要であることをデータで示すことを目的に、15年前に造成され、その後ほとんど放置されていた防風防砂林の現状と植栽後の経過について解析を行った。

2. 調査地と方法

2.1 調査地

1989年から1993年までの4年間に寧夏回族自治区塩池県の

毛烏素沙地に造成した約50 haのモデル林分が対象である¹⁾。

モデル林建設地域の海拔は1475~1483 mで、平均高度約8 mのバルハンが並んでいる。年平均降雨量が270 mmで、年次変動が大きく、1980年には145.3 mmしか降雨はなかった。可能蒸発散量は2139 mmである。

2.2 植林方法

植栽地はすべて柵で囲って家畜が侵入しないようにし（封山育林）、草方格で砂の移動が防止された²⁾。植林地内を9 区画に分けて、18 種類の植物が植栽された（図-1）。主たる植栽樹種とその植栽密度を表-1に示す。

1 年半後の活着率は砂丘低地では87.4 %、風上側斜面で36.4 %であった。湿潤型と半湿潤型の砂丘の低地では87.4 %で、

図-1 調査地と植栽区画

Fig. 1 Study site and model plantation lots

表-1 植栽樹種とその植栽密度¹⁾

Table 1 Study site and plant density

Lot	Area (ha)			Species name		Age (yr)	Height (cm)	Planned density (/ha)
	Total	Dune	Flatland	Chinese name	Latine name			
1	3.07	2.10	0.97	刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i>	2	1.5	1665
				新疆楊	<i>Populus alba</i> var. <i>pyramidalis</i>	3	350-400	1665
				沙柳	<i>Salix psammophila</i>	2	130(挿種)	2505
				紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i>	1	30-40	2505
2	3.26	2.10	1.16	臭椿	<i>Ailanthus altissima</i>	2-3	250-300	1665
				旱柳	<i>Salix matsudana</i>	5	350(挿種)	1665
				沙柳	<i>Salix psammophila</i>	2	130(挿種)	2505
				檉条	<i>Caragana korshinskii</i>	2	70-100	2505
3	3.07	2.10	0.97	榆	<i>Ulmus pumila</i>	2	150-200	1665
				花棒	<i>Hedysarum scoparium</i>	1	50-60	2505
4	2.93	1.93	1.00	新疆楊	<i>Populus alba</i> var. <i>pyramidalis</i>	3	350-400	1665
				臭柏	<i>Sabina vulgaris</i>	3	80-100	2505
5	8.67	5.20	3.47	沙柳	<i>Salix psammophila</i>	2	130	1665
				合作楊	<i>Populus Opera</i>	3	350-400	1665
				旱柳	<i>Salix matsudana</i>	5	350(挿種)	1665
				沙木蓼	<i>Atraphaxis bracteata</i>	1	70	2505
6	3.33	2.00	1.33	沙柳	<i>Salix psammophila</i>	2	130(挿種)	10020(每穴4株)
				河北楊	<i>Populus hopeiensis</i>	2	150	1665
				砂棘	<i>Hippophae rhamnoides</i>	2	40-60	3330(每穴2株)
				旱柳	<i>Salix matsudana</i>	5	350(挿種)	1665
7	4.00	2.40	1.60	紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i>	1-2	50-70	5010(每穴2株)
				沙柳	<i>Salix psammophila</i>	2	130(挿種)	10020(每穴4株)
				合作楊	<i>Populus Opera</i>	3	350-400	1665
				花棒	<i>Hedysarum scoparium</i>	1	50-60	2505
8	3.67	2.20	1.47	沙柳	<i>Salix psammophila</i>	2	130(挿種)	10020(每穴4株)
				合作楊	<i>Populus Opera</i>	3	350-400	1665
				沙棘	<i>Hippophae rhamnoides</i>	1-2	50-70	3330(每穴2株)
				臭椿	<i>Ailanthus altissima</i>	2-3	250-300	1665
9	18.00	7.50	10.50	花棒	<i>Hedysarum scoparium</i>	1	50-60	2505
				沙柳	<i>Salix psammophila</i>	2	130(挿種)	10020(每穴4株)
				火炬樹	<i>Rhus typhina</i>	1-2	40-80	1253
				檉条	<i>Caragana korshinskii</i>	1-2	30-70	2505

乾燥型砂丘で78 %であった。この時点で植栽樹種間で成長に差があり、今後の調査が必要であることが指摘されていた¹⁾。植被率の向上によって流動砂丘の移動速度が年間3.2 mから0.5 mに減速し、輸砂量も1 m当たり1.77 m³から0.25 m³に減少した¹⁾。

2.3 方法

2.3.1 生育調査

2005年5月29日に9 区画のうちで地形条件がほぼ同じ第1、3、4、5、6 区と地盤の高い第9 区の6 区画を選び、それぞれに幅15~20 m、長さ35~50 mの調査プロットを1 つずつ設置し（図-1）、植栽木のサイズを測定した。その結果、プロット1と4は新疆楊（*Populus alba* var. *pyramidalis* Bunge）、プロット3は榆（*Ulmus pumila* L.）、プロット5は合作楊（*Populus Opera*）、プロット6は河北楊（*Populus hopeiensis* Hu. et Chow）、プロット9は榆、花棒（*Hedysarum scoparium* Fisch. et Mey.）、檉条（*Caragana korshinskii* Kom.）が優占していた。

2.3.2 伐倒調査

6月に4、5、9 区からサイズの異なる個体を新疆楊4 個体、合作楊7 個体選んで伐倒し、現存量の測定と樹幹解析を行った。

2.2.3 土壌含水率

6月18日に各プロット内の斜面と低地の3~4 箇所て表層と深さ20 cmの2 層から土壌を採取し、含水率を求めた。

3. 結果と考察

3.1 土壌含水率

各プロットの斜面と低地の土壌含水率を図-2に示す。どのプロットも下層の方が含水率は高い傾向を示した。また、斜面の方が低地より含水率は低かった。プロット間で比較すると、新疆楊が優占しているプロット1とプロット4が他のプロットよりも乾燥気味であった。

黄土高原に河北楊、刺槐（*Robinia pseudoacacia* L.）を植林した場合、地表部分から深層まで含水率が6~7 %に低下し、水不足による生育不良になるが⁴⁾、沙棘（*Hippophae*

図-2 土壌含水率。U: 表層、L: 20 cm 深

Fig. 2 Soil moisture content. U: surface layer, L: 20cm depth

表-2 植栽した年と2005年の生残率

Table 2 Survival rate in 1990 and 2005

Plot	Species name	Tree number in 2005		Survival ratio (%)		Basal area m ² /ha
		Alive	Dead	1990	2005	
1	新疆楊	508	430	88.8	54.2	0.28
4		1000	563	88.8	64.0	1.19
5	合作楊	943	110	97.9	89.6	0.50
6		507	278	93.3	64.6	0.18
3	榆	514	557	78.0	48.0	0.12
9		308	344	88.4	47.2	0.07
5	沙枣	570	482	68.9	54.2	0.02
6		196	539	87.8	26.7	
3	花棒	318		88.5		
9		362	290	70.9	55.5	
1	刺槐	137	801	91.8	14.6	0.01

表-3 先枯れ個体数と発生率

Table 3 Dieback rate of each species

Species	plot	Tree density/plot		Dieback rate (%)	Dune		Flatland		p
		Sound	Dieback		Sound	Dieback	Sound	Dieback	
新疆楊	1	16	7	30.4	11	2	5	5	N.S.
	4	28	24	46.2	16	4	12	20	p<0.05
合作楊	5	47	2	4.1	15	0	32	2	N.S.
	6	32	3	8.6	3	1	29	2	N.S.
榆	3	31	16	34.0	1	4	30	12	N.S.
	9	20	1	4.8	10	0	10	1	N.S.
沙枣	5	27	0	0.0	8	0	19	0	N.S.
	6	20	6	23.1	3	1	17	5	N.S.

rhamnoides L.) などの灌木の場合は地表近くの含水率の低下は少なくなることが報告されている^{3,8,10)}。プロット3、5、6で高い含水率を示したのは灌木の植栽が主体となっていたことを反映したものと考えられた

3.2 生残率

植栽1年後と15年目の生残率を表-2に示す。植栽1年後の生残率は最も低いのが沙棘の68.9%で、最も高いものは合作楊の97.9%であって、ほとんどが中国政府が設定した植栽後の基準生残率を超えていた。しかし、15年後には、榆の生残率は22.7%、沙棘は26.7%と低くなった。一方、合作楊は15年経っても89.6%と高い生残率を示した。表-2に示した胸高断面積合計と生存率の間には明瞭な関係は認められなかった。

3.3 先枯れ

生残個体の中に先枯れ個体が多数認められた。樹種毎の先枯れ個体の出現率を表-3に示す。新疆楊は30.4%と46.2%、榆で34.0%と高い割合で先枯れが起こっていたが、合作楊は4.1%、河北楊は8.6%、沙枣は0%であった。明らかに樹種によって先枯れの出現割合に違いが認められた。すなわち、ポプラ3種のうちでは、新疆楊は先枯れが起こりやすく、合作楊、河北楊はほとんど先枯れを起こさなかった。榆は、プロットによって先枯れ率に極端な違いが認められた。

プロット内の低地と砂丘斜面での先枯れ個体の出現割合を種ごとに検定したところ(表-3の右端に検定結果を示す)、新疆楊ではプロット4で斜面よりも低地で有意に高い割合で先枯れ個体が出現した。

3.4 現存量

新疆楊4本、合作楊7本の D^2H と葉量の関係を図-3に示す。いずれも高い相関係数で直線的な関係を示した。この回帰直線を元に、林分の葉量を推定したところ、林分平均樹高との関係は図-4のようになった。新疆楊では樹高7mで1ha当たりの葉量が1704kg、合作楊では4mで1221kgであった。湿潤な地域¹²⁾と比べるとときわめて少ない葉量ではあったが、降雨量が300mm前後の地域の草原の現存量¹³⁾と比べるとほぼ似た値を示した。

図-3 D^2H と葉量の関係(凡例は図-4と同じ)Fig. 3 Relationship between D^2H and leaf biomass (Legends as Fig. 4)

図-4 樹高と葉量の関係

Fig. 4 Relationship between height and leaf biomass

幹、枝、葉の重量割合は、新疆楊では72.3、22.2、5.5%、合作楊では56.9、32.9、10.2%であった。24年生の河北楊で測定した結果⁹⁾は、69、21、10%で、新疆楊は幹に比べて葉が少なく、合作楊は枝が多くなっていた。

生枝と枯れ枝の割合を図-5に示す。新疆楊の場合、枯れ枝の割合が最も高いものでも3%に過ぎなかった。一方、合作楊の場合、枝全体の4割近くが枯れ枝で占められている個体もあった。表-3に示したように、合作楊は先枯れが起こる割合は新疆楊より低い、枯れ枝は新疆楊より多かった。つまり、合作楊は枯れ枝を多く発生させるが、樹冠上部は枯れにくい。一方、新疆楊は、枯れ枝が発生するようなストレスを受けると、先枯れが起こって樹高を低下させ、極端な場合には枯死することが示唆された。

図-5 枯れ枝と生枝の割合
Fig. 5 The percentage of dead and live branch.

3.5 胸高直径階および樹高階分布

図-6に新疆楊、合作楊、河北楊の胸高直径(D)と樹高(H)の頻度分布を示す。新疆楊の場合、先枯れが起こっている個体のHは健全なものより低く、Dが14 cm以下の個体で先枯れ個体が多数認められた。つまり、樹高成長が旺盛で、Dも太い個体では先枯れの割合が低く、より旺盛な成長が期待できる状態であり、一方で成長の遅れた個体が淘汰されてきたことがうかがわれた。

図-6 新疆楊、合作楊、河北楊の樹高、胸高直径の頻度分布
Fig. 6 Frequency distribution of height and DBH of three poplar species.

合作楊も河北楊もほとんど先枯れ個体が出現していなかったが、樹高成長、肥大成長とも新疆楊よりも劣っており、多数の小型の個体が生育していた。合作楊のほとんどの個体で

樹幹下部からの萌芽が認められ、主幹の伸長成長が萌芽枝の成長に振り替わっていることが明らかとなった。河北楊は先枯れも新疆楊ほど起こらず、萌芽も合作楊ほど起こっていなかったが、合作楊よりもさらに成長が遅れていた。それでも本調査地の結果は、黄土高原に生育する24年生の河北楊の林分(2200本/ha)のDが5.5 cm、Hが4.6 mと比べて¹⁰⁾、遜色のないものであった。

3.6 限界樹高¹²⁾

河北楊のDとHの間には拡張相対成長式($1/H=1/aD^b + 1/H_{max}$)で予想されるような飽和型の関係¹²⁾が認められなかった(図-7)。生育過程で様々なストレスを受けることでDに比べてHが抑制されてきたためと考えられる。そこで、Dの成長に対してHの成長が比較的影響を受けていない最も上部の点だけを選んで(図中●印)、拡張相対成長式を当てはめ、樹高の上限値を推定した(表-4)。

図-7 河北楊の胸高直径と樹高の関係
Fig. 7 Relationship between D and H of *P. hopeiensis*

表-4 限界樹高

Table 4 Maximum height

Species	Plot	Location	Hmax	Species	Plot	Location	Hmax
新疆楊	1		16.6	榆	3		6.3
	4		-		9		6.2
	1	Slope	10.0		3	Slope	8.3
	4	Slope	50.1		9	Slope	6.4
	1	Lowland	12.9		3	Lowland	5.7
合作楊	4	Lowland	36.9	砂棗	9	Lowland	5.2
			10.2				6.3
	5	Slope	10.6		5	Slope	11.1
		Lowland	9.7			Lowland	4.8
河北楊			6.7	花棒	1		3.1
	6	Slope	7.3		9		2.1
		Lowland	6.5		3		3.5
			1.7				1.7
砂棘	6	Slope	1.8				
		Lowland	1.7				
			1.7				

新疆楊の場合、まだHに頭打ちの傾向が認められない場合が多く、妥当な限界樹高を推定することはできなかった。本種を初めとする中国のポプラ類は14~15年が平均的には輪伐期といわれている⁶⁾。しかし、新疆楊はこの立地では植栽後15年を経過しても樹高成長は旺盛で、現在の最高樹高12 mを越えてさらに成長すると予想された。

合作楊と河北楊はそれぞれ10 mと7 mほどに樹高の上限が

認められ、新疆楊と著しい違いを示した。合作楊、河北楊とも、斜面、低地といった生育立地は限界樹高に影響しなかった。沙棘も立地による違いは認められなかった。しかし、榆、沙棗 (*Elaeagnus angustifolia* L.) は立地により限界樹高に違いが認められた。すなわち、斜面の場合、榆では6~8 m、沙棗は11 mであったのに対して、低地では、榆は5~6 m、沙棗は5 mと明らかに低くなり、低地より斜面の方が樹高成長は旺盛になる傾向を示した。こうした傾向は合作楊、河北楊でも若干認められた。

3.7 生育経過

樹幹解析の結果、新疆楊では (図-6(1))、HもDも初めからよく成長し終始優勢である個体と、終始劣勢の個体が認められた。一方、植栽後5~6年して急速に樹高成長がよくなるものもあった。この場合、Dも樹齢10年目頃から劣勢な個体と明らかに異なる成長を始めた。これは、個体間競争による隣接個体の枯死によって、利用できる資源量 (水、空間など) が急速に多くなった結果ではないかと思われた。

合作楊の場合は、途中から成長がよくなる個体は出現せず (図-6(2))、15年目で優勢な個体は、植栽直後から旺盛な成長を示した。一方、劣勢の個体間では徐々に個体差が大きくなる傾向は認められたが、新疆楊で見られたような優勢木と同じサイズになるような急速な成長は認められなかった。

図-8 (1) 新疆楊と (2) 合作楊の (a) 樹高と (b) 地際半径の経年変化

Fig. 8 Changes in (a) height and (b) basal radius of (1) *Populus alba* var. *pyramidalis* and (2) *P. Opera*

以上のように、合作楊はそれぞれの個体の成長が、植栽時の生育条件で規定されたまま15年間続いていた。一方、新疆楊では、途中で生育条件が急に好転したことをうかがわせるような成長速度の変化が認められた。新疆楊は個体間競争による高い死亡率によって、残存個体の受け取る資源量が個体の成長に合わせて徐々に増えていることによるものと考え

られた。その結果、植栽後15年が経過してもまだ樹高成長が継続しているものと考えられた。しかし、合作楊はどの個体も枯死することなく生残するため、個体間での資源をめぐる競争が年々激しくなって、生育条件が劣化し、多数の枯れ枝を発生させながら、樹高も限界に近づいたものと考えられた。

新疆楊はそれぞれの個体の成長が旺盛で、個体間競争による自然間引きが順調に起こることで、種内競争に勝ち残った個体の成長がさらに好転すると思われた。一方、合作楊は個体間競争の結果生じるはずの自然間引きが起こらなかったため、高い生残率を示し、どの個体も生育不良に陥っていた。肥大成長はまだ続いているので、適当な間引きによって林分としての成長が再び好転する可能性はあると思われた。

4. 結論

(1) 15年間無間伐、無管理で放置されてきた林分の林木密度や生育経過について調査した。その結果、樹種によって個体の成長や林分の構造、機能などが大きく異なっていた。

(2) 合作楊、河北楊は15年間枯死がほとんど起こらず、植栽された個体の多くが残存していた。残存個体の多くが枯れ枝を持っており、水分条件から見て、林分密度は過大であると考えられた。その結果、どの個体も成長が悪く、林分としては健全な状態にあるとは言えなかった。

(3) 新疆楊の場合、植栽当初から空間や水などの資源をめぐる個体間競争が激しく、早い段階で林分内に優勢木、劣勢木が生じ、自然枯死による間引きが起こっていた。そのため、生存個体数は植栽時の6割程度まで減少していた。しかし、この自然間引きによって、残存個体は多くの資源を獲得することができ、現在も旺盛な成長を持続していた。樹高はすでに12mを越えていたが、さらに高くなる傾向を示していた。

(4) 新疆楊が優占するプロットの土壌含水率は、合作楊、河北楊が優占するプロットよりも低かった。

(5) 新疆楊は、樹高成長に伴って葉量も増加しており、図-2で示したように植栽地の土壌が乾燥する傾向を見せており、現地の水資源量と防風防砂林の水消費量の関係を定量的に評価する必要がある段階に来ていると考えられた。葉の水分特性を油松、沙棘などと比べた場合、本種は華山落葉松 (*Larix principis*) に次いで耐乾性が高いことが示されている⁸⁾。すでに根系もよく発達しているため、地下深くからの吸水も起こっていると考えられた。樹幹解析の結果、本種はさらに高くなると予想された。その結果、他の植物がこの土地から完全に排除されてしまうばかりでなく、地下水の枯渇などの環境へ過大な負荷を与える危険性も高いと考えられた。

(6) 合作楊や河北楊の林分で林床に灌木や草本植物が生育できるのは、植栽木がほとんど枯死せず、どの個体も生育不良

でありながら、なんとか生きながらえている共倒れ型の林分であるためと考えられた。すなわち、主として種内競争によって個体の成長が抑制されているために、吸水力も弱く、合作楊、河北楊以外の灌木や草本植物が利用できる水資源が残されていることによると考えられた。防風林としてはこうした高木に低木が混じる方が効果が高い¹⁴⁾。

(7)したがって、防風防砂効果の面からは、合作楊、河北楊のような林分の成立が望ましい。しかし、現在の合作楊、河北楊は個体の成長が極端に抑制されているため、どの個体もストレス耐性が弱く、大きなストレスによって林分が全滅する可能性も高いと考えられた。

(8)砂丘斜面と低地での成長経過を比較した結果、どの樹種についても斜面の方が低地よりも成長がよいことが明らかとなった。新疆楊の場合には先枯れ率にもそうした立地による違いが認められた。したがって、防風防砂林を造成する際に、予定敷地内の低地への植栽樹種の選定や管理は、砂丘斜面よりも慎重に検討する必要があることが示唆された。

(9)1991年に促成緑化を実施し、ほぼ3年で安定した植生が導入できた。しかし、その後放置されていたため、造成された林分は当初の結果とは異なる成長経過を取っていることが明らかとなった。したがって、造成後適当な年数が経過した後で、再度林分の状態を調査することが、森林の機能を十分に発揮できる健全な防風防砂林を造成するためには、重要であることが明らかとなった。

なお本研究の現地調査において種々の便宜を図って頂いた中国寧夏林業局項目弁公室何全發主任、寧夏林業局高沙窩林場劉鈞場長に謝意を表する。また、本調査は財団法人国際緑化推進センターの黄砂対策植生回復実証調査事業平成16年度調査の一環として実施するとともに、平成16年地球環境研究総合推進費(G-2)と文部科学省科学研究費補助金(17405001)の助成を受けた。

引用文献

- 1) 海外林業コンサルタント協会(1993) 砂漠化地域森林復旧技術指針策定調査事業、中国寧夏回族自治区塩池県(毛烏素砂漠) 総括報告書 147pp.
- 2) 海外林業コンサルタント協会(1993) 砂漠化地域森林復旧技術指針策定調査事業、中国寧夏回族自治区靈武県(毛烏素砂漠) 総括報告書 111pp.
- 3) Li, D. Q., Zong, X. H. and Liang, Y. M. (1990) Study on biomass and water consumption of *Hippophae rhamnoides* plantation in semiarid area of Loess Plateau. Bulletin of Soil and Water Conservation 10(6) : 91-97.
- 4) Li, K. R. and Zhao, X. G. (2002) The soil moisture condition of the different topographic positions in Loess Plateau and construction of plantations. 12th ISCO Conference : 444-447.
- 5) Ministry of Science and Technology of the Peoples Republic of China (2000) Six Major Forestry Projects. China science and technology Newsletter 220, http://www.most.gov.cn/eng/newsletters/2000/t20041129_17607.htm.
- 6) 小川 章(2002) 世界のポプラと中国におけるポプラ植林、<http://www.iopp.or.jp/ss/ogawa.html>
- 7) Redei, K. (2000) Early performance of promising white poplar (*Populus alba*) clones in dandy ridges between the rivers Danube and Tisza in Hungary, Forestry 73(4) : 407-413.
- 8) 鈴木和夫(2000) 中国黄土高原に生育する樹種の水分特性と森林再生、日本農芸化学学会関東支部 2000 年度第1回例会
- 9) Wang, M. B. and Li, H. J. (1992) Water ecological condition and productivity of plantations in Zhuan Yao Gou watershed. Integrate management and development of small watersheds in Loess Plateau. Sci-Tech Press, 579-586.
- 10) 王孟本(1994) 晋西北黄土区不同人工林生物生産力的研究、植物学報 36 : 237-240.
- 11) Yang, W. Z. and Han, S. F. (1985) Soil water ecological environment on the plantations and grassland in Loess Hilly region. Memoir of NISWC, Academia Sinica 2 : 18-28.
- 12) 依田恭二(1971) 森林の生態学、築地書館 331 頁.
- 13) 吉川 賢・李樹青・小橋澄治・増田拓朗(1988) 中国毛烏素砂漠の植物群落の現存量について、緑化研究 10: 66-102.
- 14) 吉崎真司・村井 宏・河合英二(1994) 砂漠地域における防風・防砂林造成のための風洞模型実験、森林立地学会誌 36(2) : 41-54.

(2006.7.4 受理)