

중국 사막지역의 방풍책 높이와 공극률에 따른 방풍효과 및 설치비용 비교분석*

박기형^{1),2)} · 丁國棟²⁾ · 方广玲³⁾ · 김찬범¹⁾ · 吳 斌²⁾ · 包岩峰²⁾ · 高广磊²⁾ · 정성철¹⁾ · 문강민⁴⁾

¹⁾ 국립산림과학원 산림방재연구과 · ²⁾ 中國北京林業大學水土保持學院

³⁾ 中國環境科學研究院 生態環境研究所 · ⁴⁾ 호주 멜버른대학교 산림환경과학대학

Comparative Analysis of Windbreak Effect and Installation Cost of Sand Barrier with Different Height and Porosity on Sand Land in China*

Park, Ki-Hyung^{1),2)} · Ding, Guo-Dong²⁾ · Fang, Guang-Ling³⁾ · Kim, Chan-Beom¹⁾
Wu, Bin²⁾ · Bao, Yan-Feng²⁾ · Gao, Guang-Lei²⁾ · Jung, Sungcheol¹⁾ and Moon, Kangmin⁴⁾

¹⁾ Division of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea,

²⁾ College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China,

³⁾ Institute of Ecological Environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences,
Beijing 100012, China,

⁴⁾ Department of Forest and Ecosystem Science, University of Melbourne, Victoria VIC 3363, Australia.

ABSTRACT

This study was conducted in Ningxia Hui autonomous region, located at southern part of Mu Us sand land in China. To investigate relationships between windbreak effect and installation cost of sand barriers, plastic net is utilized by using four kind of heights (0.2, 0.3, 0.4 and 0.5m) and four kind of porosities (20, 30, 50 and 70%). These heights and porosities are measured for estimating distances

* 본 연구는 ‘十二五科技支撐計劃課題 “荒漠化地區退化土地治理与植被保育技術集成与示范(2012BAD16B02)”’ 지원에 의해 수행되었음.

First author : Park, Ki-Hyung, Division of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea,

Tel : +82-2-961-2689, E-mail : bear1127@daum.net

Corresponding author : Ding, Guo-Dong, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China,

Tel : +86-10-62337777, E-mail : dch1999@263.net

Received : 16 August, 2012. **Revised** : 24 October, 2012. **Accepted** : 24 October, 2012.

for effective windbreak. It is shown that porosity and the distance have a positive relationship at same heights and porosity on ground indicates a constant figure when height reaches a certain level, regardless of the porosity. This implies that there is a difference of level of windbreak with different porosities; however, distance of windbreak effect is same at the same height of sand barrier. As a result of comparison between porosity of sand barrier on the ground and installation cost in each sand barrier with various heights and porosities (16 combinations), 0.4m and 0.5m height sand barriers describe highest economical efficiency. Within two variables, we concluded that height has a higher impact on windbreak effect than porosity.

Key Words : *Desertification, Sand barrier, Windbreak effect, Installation cost, China.*

I. 서 론

사막화는 인류의 불합리적인 경제활동, 취약한 생태 환경, 기후 변화에 의해 토지 생산력과 토지 자원이 감소하고 퇴화하는 현상이다. UNEP의 통계에 의하면 전 세계적으로 약 100여개 국가, 약 10억 명의 인구, 육지 총면적의 1/3이 직·간접적으로 사막화 피해를 받고 있다(UNEP, 1993). 사막화로 인한 경제적 손실은 관개농업 손실액 107.85억 달러, 건조지대 농업 손실액 81.89억 달러, 초원 조성 손실액 232.34억 달러로, 총 422.08억 달러에 이른다(Dregne et al, 1991). 중국은 사막화 면적이 넓고, 그 위험도 또한 매우 큰 국가 중 하나이다. 중국 사막의 주요 분포지역은 북위 35°~50° 지역과 동경 100° 서쪽에 이르는 지역의 내륙분지 및 고원으로, 서쪽의 타림분지(Tarim Basin)부터 동쪽의 송년(Songnen, 松嫩) 평원까지 사막화 지역이 길게 이어져 있다. 동서 길이 약 4,500km, 남북 길이 약 600km에 이르는 거대한 사막대를 이루고 있으며, 그 대부분이 유동 사구로 되어있다. 중국의 사막화 토지 면적은 262.2만km², 전 국토 면적의 27.3%를 차지하고 있다. 중국의 연평균 사막화 진행 속도는 1950년부터 1975년까지 1,560km², 1975년부터 1987년까지 2,100km², 1988년부터 2000년까지 3,600km²으로 산업화가 진행됨에 따라 사막화 면적도 급속히 증가하고 있다. 중국의

황사에 의한 경제적 손실은 사막화 면적이 확산됨에 따라 1990년대 이후 매년 급속히 증가하고 있다. 1993년 4월 중순 이후 중국 북서지역에는 연속으로 수차례 황사가 발생하였으며 이로 인한 직·간접적인 경제적 손실은 542.5억Yuan에 이른다(Wang et al., 2004). 2005년 현재, 사막이나 사지(沙地)를 포함하고 있는 중국 서북지역 10개 자치구 및 성(省) (內蒙古, 青海, 甘肅, 新疆, 宁夏, 黑龍江, 陝西, 山西, 吉林, 河北)의 사막화에 의한 경제적 손실은 487.92억Yuan이며, 그 중 내몽고 자치구의 경제적 손실이 10개 자치구 및 성(省) 사막화 손실액의 53.7%로 가장 심각하다. 이에 따른 내몽고 자치구 1인 평균 경제적 손실액은 연평균 812Yuan이었으며, 이는 농촌 인구 평균 순수입의 27.2%를 차지하는 액수이다(Peng, 2004; Ma et al., 2008).

사막화 방지와 황사의 피해 저감을 위해 중국에서는 사막 및 사지에 퇴목환림/환초(退牧還林/還草) 사업과 함께 방풍책(沙障) 설치, 사구(沙丘) 간 조립, 비행 파종, 점토 바르기, 압사(壓沙) 등의 방법을 실시하고 있다. 여러 가지 사막화 방지 방법 중에서도 방풍책은 조립 전 사구에 설치하는 기초 설비이며, 모래바람을 막기 위한 효과적인 방법 중 하나로 황사 피해를 감소시키는 방어선 역할을 한다. 또한 현지에서 자생하는 식물이나 토양을 주재료로 사용하기 때문에 모래 고정 효과 외에 토양개량 및 생태계 회복을 촉진시키

는 역할도 한다(Zhang et al., 2000; Chang and Liu, 2001; Li and Lei, 2003; Feng et al., 2004). Dong(2005)의 연구결과, 모래사막에서는 모래 바람 중 90%가 지면 0.31m 이하에서 발생하며, 자갈사막에서는 지면 0.87m 이하에서 발생한다. 방풍책은 지표면조도를 증가시키고, 바람을 막아 모래를 고정시키는 것을 목적으로 한다. 방풍책의 방풍효과는 재료의 공극률, 높이, 설치방향, 배치간격 그리고 배치형식과 직접적인 관련이 있으므로 지역의 풍향, 풍속, 지형 등 자연환경을 반드시 고려한 후, 현지에 가장 적합한 형태로 설치해야 한다(Zhang et al., 2000; Huang and Gao, 2001). 방풍책의 공극률이 25%일 때, 방풍책 앞부분(바람이 불어오는 부분)의 모래 퇴적범위는 방풍책 높이의 2배이며, 방풍책 뒷부분(바람이 불어나가는 부분)의 모래 퇴적범위는 방풍책 높이의 7~8배에 이른다. 방풍책의 공극률이 50%일 때, 방풍책 앞부분에 쌓이는 모래는 거의 없으며 방풍책 뒷부분의 모래 퇴적범위는 방풍책 높이의 12~13배 범위에 이른다. 방풍책의 배치간격은 재료의 높이, 지면의 경사도, 바람의 세기에 따라 다르다. 지면의 경사도가 클수록 방풍책 간격은 좁아진다. 보통 경사도가 4° 이하인 평탄한 지역의 모래막이 간격은 방풍책 높이의 15배 정도가 적당하다.

방풍책의 배치형식은 크게 행렬식 배치와 격자식 배치로 구분한다. 행렬식 배치는 풍향이 일정하고 바람이 강한 곳에 사용되고, 격자식 배치는 풍향이 일정하지 않고 바람이 약한 곳에 사용되며, 바람의 세기에 따라 다시 정방(正方) 격자식과 장방(長方) 격자식으로 나눈다. 현재 중국 사막 및 사지에서 사용하고 있는 방풍책은 고립식 방풍책, 저립식 방풍책, 점토 방풍책, 평포식 방풍책이 있다. 고립식 방풍책은 2~3년생 묘목 조림 또는 사류(*Salix psammophila*, 沙柳), 황류(*Salix gordejvii*, 黃柳) 등 버드나무류를 주재료로 하여 0.7~1.3m 높이로 설치한다. 저립식 방풍책은 갈대, 줄기가 부드러운 잡초, 보리 줄기

등을 이용하여 0.5m 이하의 높이로 설치하며 유도사구 조립 전에 사구 고정을 주목적으로 한다(Gao et al., 2004; Yang, 2004; Ma et al., 2005). 점토 방풍책은 점토가 있는 지역에서 사용하며, 모래 고정을 위한 조립지에서 이미 널리 사용되고 있다. 재료비나 노동비가 적게 투입되는 경제적인 방법이며, 장기간 모래고정 효과를 지속할 수 있다. 뿐만 아니라 행렬식이나 격자식으로 설치가 가능하고 현지 지형의 특징을 고려하여 설치할 수 있으며, 짚을 이용한 방풍책과 비교해도 뒤지지 않는 효과를 보인다. 지면의 수분함량이 증가하면 지표면의 풍속을 감소시키고, 특히 방풍책 설치 후, 모래고정 식물을 식재하면 바람과 비를 통해 주변 모래와 천천히 결합하면서 토질을 변화시키고 토양의 비옥도를 증가시키는 장점이 있다. 하지만 일정량의 수분과 점토가 있는 곳에서만 설치할 수 있다는 지역적 제한성이 단점이다(Chang et al., 2000). 평포식 방풍책은 모래 고정을 주목적으로 하며 마른 나무, 풀, 자갈, 점토 등을 이용하여 직접 표토를 덮어 바람과 모래의 접촉을 차단시킴으로써 바람에 의한 모래의 이동을 최소화시키는 방법이다. 매우 경제적이고 빠른 시간 안에 넓은 면적의 표면을 덮을 수 있지만, 모래 고정 효과는 매우 낮은 편이다(Dong, 2005; Dong and Zheng, 2005; Jin et al., 2005). 방풍책 재료의 높이와 공극률은 설치단가에 직접적이고, 가장 큰 영향을 미친다.

지금까지 중국 내에서 방풍책의 종류와 배치 형태에 대한 방풍효과 연구는 많았지만, 공극률과 방풍책 배치에 따른 설치단가 연구는 체계적으로 진행되지 않았다. 방풍책 높이와 공극률에 따른 방풍거리를 알 수 있다면 방풍책을 경제적이고 효과적으로 배치할 수 있을 것이다. 본 연구를 진행한 중국 닝샤 회족자치구 엔츠현은 3~5월 모래 바람이 강하게 불어오는 곳으로 방풍책의 방풍효과 연구를 진행하기 적합한 곳이었다.

본 연구에서는 높이와 공극률을 조정하기 용이한 플라스틱 네트를 이용하여 방풍책의 높이와

공극률을 달리하였을 때 지표면조도를 분석하여, 방풍효과와 설치비용을 함께 분석·비교하였으며, 경제적이면서 방풍효과가 좋은 방풍책 높이와 공극률의 조합을 찾기 위해 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지 개황

본 연구는 2008년 4월부터 2009년 11월까지 중국 Ningxia回族自治区 엔츠현 샤첸완의 엔츠 사막화 생태연구 기지(宁夏鹽池荒漠生態系統定位研究站 / Yanchi Research Station)에서 실시하였다. 엔츠현은 북위 37° 04' ~ 38° 10', 동경 106° 30' ~ 107° 41'이고, 자치구 동쪽에 자리 잡고 있으며 마우수 사지(Mu Us Sand land)의 남쪽에 위치하고 있다. 엔츠현의 남북길이는 110km, 동서 길이는 66km로 지리적으로 샤안시성(陝西省), 간수성(甘肅省), 네이멍구 자치구와 인접해 있으며 총면적은 8,661.3km²이다(Figure 1).

조사지역은 온대대륙성 건조기후대에 속하며 온도차이가 매우 크다. 연평균기온은 7.7°C이며, 역대최고온도 38.1°C, 최저온도 -29.6°C 이다. 1년 중 1월이 평균기온 -8.7°C로 가장 춥고, 7월이 평균기온 22.4°C로 가장 덥다. 연평균 강수량은

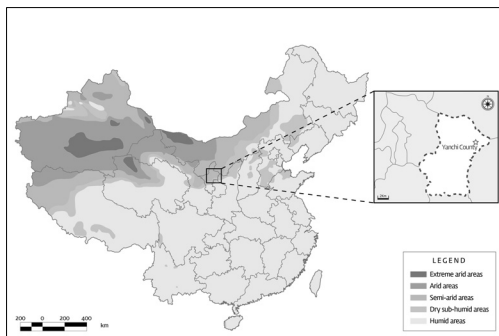


Figure 1. Study location and level of humidity in China. Data source form China National Committee for the implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification.

292mm이며, 그 중 약 80%가 6~9월 중순에 집중되고 있다. 또한 연간 강수량 변화가 매우 크다. 작물 성장시기인 4~6월의 강수량은 36.5%로 봄철 가뭄이 빈번하게 발생하며, 7~8월에는 국부지역에서 폭우가 내려 홍수피해를 입기도 한다. 연평균 증발량은 2,045.25mm로, 연평균 강수량의 약 7배에 달한다. 매년 5~7월의 증발량이 가장 크며, 연평균 증발량의 약 40%가 이 시기에 집중하고 있다. 겨울부터 봄철까지 모래 바람의 피해가 집중되며, 주풍향은 북서풍과 서풍이다. 연평균 대풍(大風: 지표면 2m 높이의 풍속 17.2m/s 이상인 바람)일수는 45일이며, 11월부터 이듬해 4월까지 집중된다. 최대풍속은 15~18m/s에 달하며, 연평균 황사발생일수는 20일이다.

2. 연구 재료

본 연구의 방풍책은 허베이성 안평현 항다 플라스틱 네트 공장(河北省安平縣恒達塑料網廠)에서 생산한 지름 1cm의 플라스틱 네트를 사용하였다. 방풍책을 고정시키는 지지대는 조사지 주변의 사류(*S. psammophila*) 줄기를 선택하였다. 사류는 연구지 주변의 사구와 사구 중간의 습지에서 쉽게 구할 수 있으며, 줄기가 곧아 지지대로 적합했다. 지지대로 쓰인 사류 줄기의 평균 직경은 1.2±0.2cm였다. 지지대는 각 방풍책 높이의 2배 길이로 잘랐으며, 방풍책에 1m 간격으로 철사를 이용하여 고정시켰다.

3. 연구 방법

1) 현장 실험 설계

방풍효과 실험은 28m 높이 사구에서 실시하였다. 방풍책의 높이는 0.2m, 0.3m, 0.4m, 0.5m로 하였으며, 각 높이별로 공극률을 20%, 30%, 50%, 70%로 조절하여 총 16개 조합의 방풍책에 대한 풍속을 측정하였다. 플라스틱 네트는 12m 길이로 잘랐으며, 방풍책과 지면의 접촉부에서 바람에 의한 침식이 발생하여 방풍책이 넘어지지 않도록 하기 위하여 실험하려는 방풍책 높이보다

0.1m 길게 잘라 지하부에 묻히도록 하였다. 플라스틱 네트 1장의 평균공극률은 $70\pm 0.4\%$ 였으며, 2장을 겹쳐 평균공극률 $50\pm 1.8\%$, 3장을 겹쳐 평균공극률 $30\pm 1.6\%$, 4장을 겹쳐 평균공극률 $20\pm 1.1\%$ 의 방풍책을 제작하였다. 제작한 방풍책은 지지대와 철사를 이용하여 풍향의 수직방향이 되도록 한 줄씩 배치하였으며, 와류(Vortex) 등에 의한 풍향과 풍속의 오차를 최소화하기 위해 실험지 주변 20m 내에 있는 식물은 모두 제거하였다. 풍향 및 풍속 측정은 미국 MicroDAQ.com사의 HOBO Weather Station 풍속계를 이용하였다. 방풍책 중앙부의 전방 2m 지점과 후방 1m 부터 12m 지점까지 1m 간격으로, 지면으로부터 0.2m, 1m 높이에 풍속계를 설치하였으며, 풍향과 풍속

을 5초 간격으로 30분간 측정하였다(Figure 2).

2) 지표면조도 계산

야의 실험에서는 동일한 풍속 조건에서의 실험이 매우 어렵기 때문에, 각 지점별 풍속을 이용하여 지표면조도를 계산하였으며, 지점별 방풍효과를 상대 비교하였다. 지면과 가까운 곳의 기류가 커질수록 지표면의 기류에 대한 마찰력이 고도가 낮아짐에 따라 감소하게 된다. 지표면에 가까운 어느 지점에 이르면 풍력과 마찰력이 동일하게 되며, 이 때 풍속은 '0m/s'가 되는데, 바로 이 지점을 '지표면조도'라고 한다(Ding, 1993). 지표면조도는 풍속의 높이 분포에 영향을 주는 지면의 거칠기에 대한 지표로, 지표면의 마찰 유

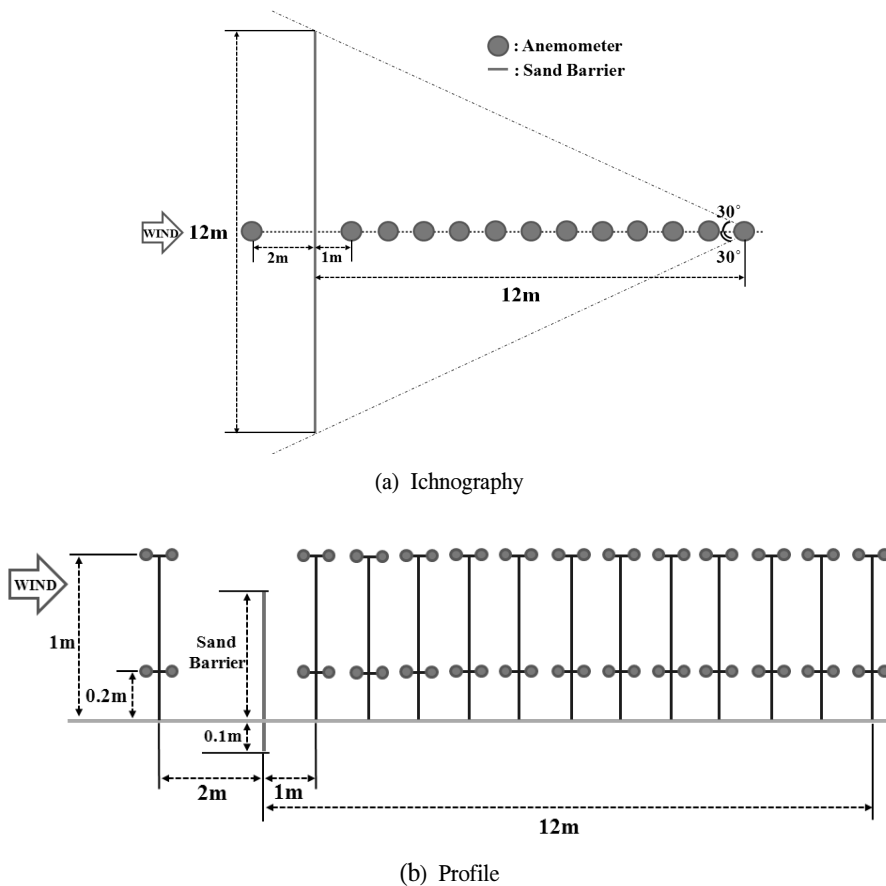


Figure 2. Design of the experimental set-up of anemometers and sand barrier. Height of sand barriers are 0.2m, 0.3m, 0.4m and 0.5m.

속과 교란 정도에도 영향을 주기 때문에 사막화 방지효과를 알 수 있는 중요한 지표 중 하나이다. 지표면조도와 마찰력이 커질수록 그에 상응하는 풍속의 '0m/s' 고도는 점점 높아진다. 지표면조도가 높다는 것은 지표면이 바람의 영향을 받는 높이가 높아지므로 바람에 의한 침식이 약해지고, 모래고정 효과가 점점 좋아지는 것을 의미한다. 지표면조도는 지표면의 조성 물질 및 피복상황에 따라 결정되며 풍속, 비사량, 지형과 밀접한 관계가 있다(Fullen and Mitchell, 1994; Yang, 1996). 방풍책과 수직 방향(0°)을 기준으로 ±30° 범위 안의 풍속만을 추출하였으며, 각 지점별 0.2m, 1m 높이의 풍속을 아래 공식에 대입하여 지표면조도를 계산하였다.

$$\log Z_0 = \frac{\log Z_2 - A \cdot \log Z_1}{1 - A} \quad (1)$$

공식 (1) 에서, Z_0 = 지표면조도 (m), Z_1 = 0.2m 높이 풍속 (m/s), Z_2 = 1m 높이 풍속 (m/s),

$$A = \frac{V_2}{V_1}, V_1 = 0.2, V_2 = 1 \text{이다.}$$

3) 방풍책 설치비용 계산

방풍책 설치비용은 “水土保持工程概預算”의 공식에 따라 계산하였다(Wang et al., 2009). 인건비는 2010년 중국 현지 단가를 적용하였으며, 재료비에는 사류 줄기, 플라스틱 네트, 철사를 포함하였다. 재료의 원가 역시 2010년의 현지 단가를 적용하였으며, 재료별 원가는 Table 1과 같으며 사류 줄기는 2Yuan/kg, 플라스틱 네트는 11Yuan/kg, 철사는 1Yuan/m였다. 본 연구에서는 운송비와 작업 이윤을 제외한 순수 투입된 설치비용만 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 방풍책 높이와 공극률에 따른 방풍효과 비교

높이 0.2m 방풍책에서 공극률 20%, 30%, 50%인 방풍책의 지표면조도는 1m 지점에서 각각 0.0457m, 0.0398m, 0.0217m로 나타났다. 이들 방풍책의 지표면조도는 1m 지점을 지나면서 낮아지다가 4m 지점부터 0.0100m 이하로 떨어졌다. 1m 지점에서는 공극률 20% 방풍책의 지표면조도가 최대값을 보였으나, 1m 지점부터 12m 지점

Table 1. Details of installation cost of sand barrier in Yanchi county, China.

No.	Contents	Calculation
1	Direct Construction Cost (DCC)	= DC + ODC + FE
(1)	Direct Cost (DC)	= LC + MC
1)	Labour Cost (LC)	= Man-hour ^{1*} × 5Yuan ^{2*}
2)	Material Cost ^{3*} (MC)	= Original Cost (OC) + Freight and Miscellaneous Charges (OC × 10%) + Carrying Charge (OC × 10% × 2%)
	Other Material Cost (OMC)	= MC × 2%
(2)	Other Direct Cost (ODC)	= DC × 2.5%
(3)	Field Expense (FE)	= DC × 4%
2	Indirect Cost (IC)	= DCC × 3%
	Total Cost (TC)	= DCC + IC

^{1*} Man-hour include time of cutting *S. monogolica* and plastic net, coil galvanized iron wire around plastic net.

^{2*} 5Yuan is unit price of average labour cost per a person a hour in Yanchi county.

^{3*} Material Cost include stem of *S. monogolica*, plastic net and galvanized iron wire.

까지 지표면조도 평균값은 공극률 30% 방풍책이 공극률 20% 방풍책보다 0.0020m 높게 나타났다. 공극률 70% 방풍책은 방풍효과가 매우 낮게 나타났다.

높이 0.3m 방풍책도 0.2m 방풍책과 같이 1m 지점에서 가장 높은 지표면조도를 나타냈다. 공극률이 낮을수록 지표면조도 값이 커지는 경향이 나타났으나, 7m 지점을 기준으로 모든 방풍책에 대한 지표면조도가 0.0100m 이하로 떨어졌다. 공극률 70%인 방풍책은 ‘높이 0.2m, 공극률 70%’ 조합의 방풍책과 같이 방풍효과를 발휘하지 못했다. 높이 0.4m 방풍책의 지표면조도는 0.2m 높이와 높이 0.3m 방풍책과는 다른 경향을 보였다. 방풍책을 지난 1m 지점에서 지표면조도가 크게 증가한 뒤 2m 지점에서 최대값을 보였고, 3m 지점에서 1m 지점과 비슷하게 나타났으며 그 뒤로는 점차 낮아지다가 9m 지점에서 0.0100m 이하로 떨어졌다. 공극률 20%와 30%의 지표면조도

는 비슷한 경향으로 변화하였으며, 공극률 50%의 지표면조도는 4m 지점까지 공극률 20%의 절반 수준을 유지하다가 8m 지점부터 비슷한 값을 보였다. 공극률 70%의 지표면조도는 다른 공극률의 지표면조도보다 크게 낮았으며, 9m 지점부터 다른 공극률과 동일한 값을 보였다. 높이 0.5m 방풍책의 지표면조도는 3m 지점까지 증가하여 최대값을 보인 뒤, 천천히 감소하여 11m 지점부터 일정한 값을 유지하였다. 공극률 70%의 지표면조도는 다른 공극률과 비교하여 적은 값을 보였으나 다른 높이의 방풍책과 비교한 결과, ‘높이 0.2m, 공극률 20%’ 조합의 방풍책과 ‘높이 0.3m, 공극률 20%’ 조합의 방풍책보다 지표면조도가 각각 4.5배, 1.9배 높은 것으로 나타났으며, ‘높이 0.4m, 공극률 50%’ 조합의 방풍책과 비슷하게 나타났다(Figure 3).

방풍책의 공극률이 동일한 조건에서, 방풍책의 높이가 높아질수록 지표면조도가 크게 증가하였

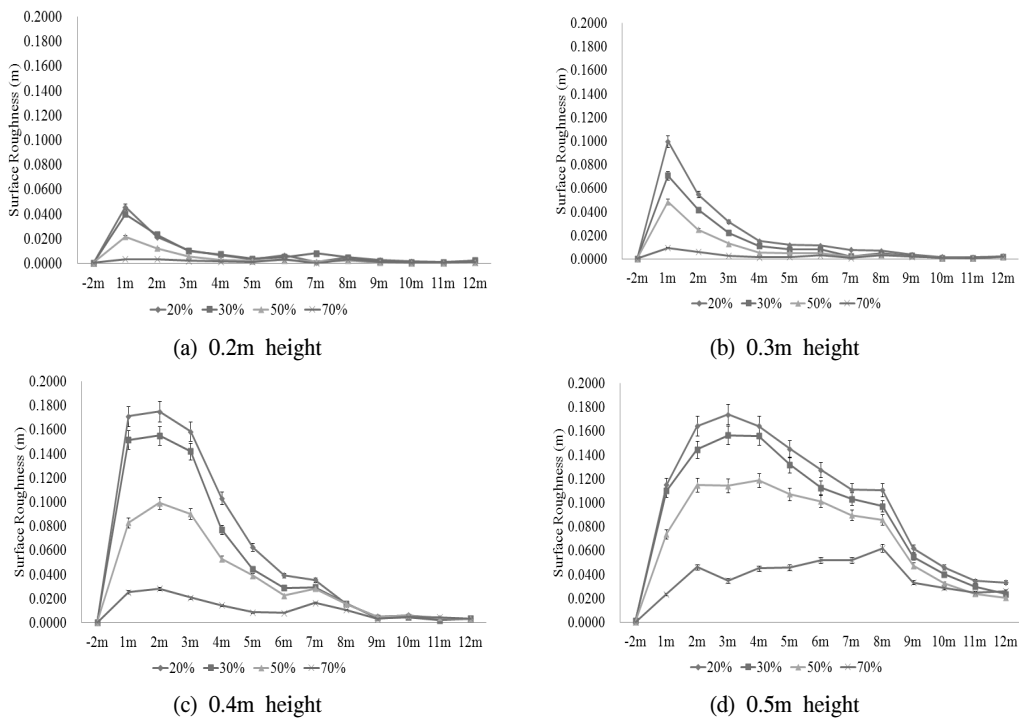


Figure 3. Surface roughness of sand barriers with different porosities in 0.2m, 0.3m, 0.4m and 0.5m height.

다. 각 높이별, 공극률별 1m 지점부터 12m 지점까지 지표면조도 평균값을 비교한 결과, 공극률 20%에서는 높이 0.5m 방풍책의 지표면조도가 높이 0.2m, 0.3m, 0.4m 보다 각각 24.1배, 10.4배, 1.8배 높게 나타났다. 공극률 30%에서는 높이 0.5m 방풍책의 지표면조도가 높이 0.2m, 0.3m, 0.4m 보다 각각 18.5배, 14.4배, 2.2배 높게 나타났다. 공극률 50%에서는 높이 0.5m 방풍책의 지표면조도가 높이 0.2m, 0.3m, 0.4m 보다 각각 39.7배, 18.3배, 2.3배 높게 나타났다. 공극률 70%에서는 높이 0.5m 방풍책의 지표면조도가 높이 0.2m, 0.3m, 0.4m 보다 각각 30.4배, 20.6배, 3.8배 높게 나타났다. 높이와 공극률 조합에 따른 방풍책의 지표면조도를 비교한 결과, 높이 0.2m의 공극률 20%와 30%, 높이 0.3m의 공극률 50% 방풍책의 지표면조도는 각각 0.0088m, 0.0090m, 0.0094m로 비슷하게 나타났다. 높이 0.4m의 공극률 70%와 높이 0.3m의 공극률 30% 방풍책의 지표면조도는 각각 0.0123m, 0.0146m 로 비슷하게 나타났다. 높이 0.4m의 공극률 50%와 높이 0.5m의 공극률 70% 방풍책의 지표면조도는 각각 0.0374m, 0.0395m로 비슷하게 나타났다 (Figure 4). 0.2m와 0.3m 높이의 방풍책은 공극률이 낮아도 방풍효과가 낮게 나타났으며, 방풍책 높이가 최소한 0.4m 이상 되어야 방풍기능을 효과적으로 발휘할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 방풍책 높이와 공극률에 따른 설치비용 비교

100m에 대한 높이별 공극률별 방풍책 설치비용을 분석한 결과, 동일 높이에서 공극률 20%, 30%, 50% 방풍책은 공극률 70% 방풍책보다 각각 3배, 2배, 1배 많은 설치비용이 투입되었다. 동일 공극률에서 높이 0.3m, 0.4m, 0.5m 방풍책은 높이 0.2m 방풍책보다 설치비용이 각각 0.2배, 0.5배, 1.3배 많이 투입되었다. 공극률이 동일할 때는 방풍책의 높이가 높아질수록 노동비가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 방풍책 제작 시 방풍책의 높이가 높을수록 재료를 잘라내는 시간이 감소하였기 때문이다. 설치비용에 가장 큰 영향을 주는 요인은 재료비, 그 중에서도 방풍책으로 사용된 플라스틱 네트의 가격이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 2).

높이와 공극률에 따른 방풍책의 지표면조도와 각 방풍책의 설치비용을 함께 비교한 결과, 설치비용 대비 지표면조도는 높이 0.5m의 공극률 70% 방풍책이 가장 우수한 것으로 나타났으며 다음으로는 높이 0.5m의 공극률 50% 방풍책, 높이 0.5m의 공극률 30% 방풍책 순으로 나타났다. 총 16개 조합 방풍책 중 높이 0.4m와 0.5m 방풍책이 경제적이면서 방풍효과가 우수한 것으로 나타났다 (Figure 5). 설치비용 대비 방풍효과는 방풍책의 공극률보다는 방풍책의 높이에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단되었다.

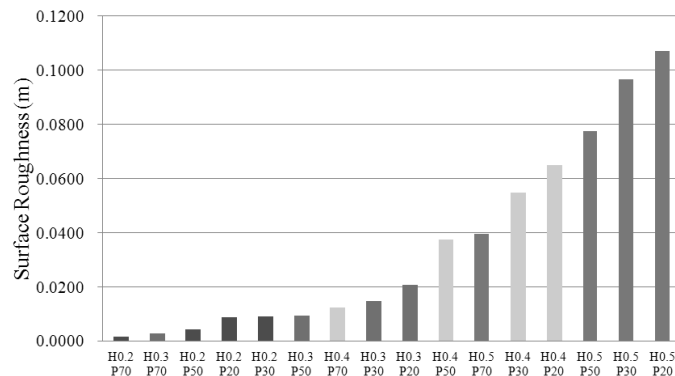


Figure 4. Indications of surface roughness in 16 combinations of height (m) and porosity (%) of sand barrier. H is height, P is porosity of sand barrier.

Table 2. Analysis of install cost of 100m plastic net sand barriers with different heights and different porosities. (a) 0.2m height, (b) 0.3m height, (c) 0.4m height and (d) 0.5m height.

(a)	Contents	Unit	Unit price (Yuan)	20%		30%		50%		70%	
				Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)
1	Direct construction cost				1,016.85		761.57		506.83		253.15
(1)	Direct cost				954.79		715.09		475.89		237.70
1)	Labour cost	Man-hour	5	73.6	368.00	55	275.00	36.5	182.50	18.2	91.00
2)	Material cost				586.79		440.09		293.39		146.70
	Stem of <i>S. monogolica</i>	kg	2.20	32	70.40	24	52.80	16	35.20	8	17.60
	Plastic net	kg	12.12	40	484.88	30	363.66	20	242.44	10	121.22
	Galvanized iron wire	m	1.00	20	20.00	15	15.00	10	10.00	5	5.00
	Other material cost	%		2	11.51	2.0	8.63	2.0	5.75	2.0	2.88
(2)	Other direct cost	%		2.5	23.87	2.5	17.88	2.5	11.90	2.5	5.94
(3)	Field expense	%		4	38.19	4.0	28.60	4.0	19.04	4.0	9.51
2	Indirect cost	%		3	30.51	3.0	22.85	3.0	15.20	3.0	7.59
	Total cost				1,047.35		784.42		522.03		260.74

(b)	Contents	Unit	Unit price (Yuan)	20%		30%		50%		70%	
				Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)
1	Direct construction cost				1,227.49		919.02		611.61		305.81
(1)	Direct cost				1,152.57		862.93		574.28		287.14
1)	Labour cost	Man-hour	5	70	350.00	52.2	261.00	34.6	173.00	17.3	86.50
2)	Material cost				802.57		601.93		401.28		200.64
	Stem of <i>S. monogolica</i>	kg	2.20	40	88.00	30	66.00	20	44.00	10	22.00
	Plastic net	kg	12.12	56	678.83	42	509.12	28	339.42	14	169.71
	Galvanized iron wire	m	1.00	20	20.00	15	15.00	10	10.00	5	5.00
	Other material cost	%		2	15.74	2.0	11.80	2.0	7.87	2.0	3.93
(2)	Other direct cost	%		2.5	28.81	2.5	21.57	2.5	14.36	2.5	7.18
(3)	Field expense	%		4	46.10	4.0	34.52	4.0	22.97	4.0	11.49
2	Indirect cost	%		3	36.82	3.0	27.57	3.0	18.35	3.0	9.17
	Total cost				1,264.31		946.59		629.96		314.98

(c)	Contents	Unit	Unit price (Yuan)	20%		30%		50%		70%	
				Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)
1	Direct construction cost				1,499.80		1,125.65		749.37		374.68
(1)	Direct cost				1,408.27		1,056.95		703.63		351.82
1)	Labour cost	Man-hour	5	58.2	291.00	43.8	219.00	29	145.00	14.5	72.50
2)	Material cost				1,117.27		837.95		558.63		279.32
	Stem of <i>S. monogolica</i>	kg	2.20	48	105.60	36	79.20	24	52.80	12	26.40
	Plastic net	kg	12.12	80	969.76	60	727.32	40	484.88	20	242.44
	Galvanized iron wire	m	1.00	20	20.00	15	15.00	10	10.00	5	5.00
	Other material cost	%		2	21.91	2.0	1.43	2.0	10.95	2.0	5.48
(2)	Other direct cost	%		2.5	35.21	2.5	26.42	2.5	17.59	2.5	8.80
(3)	Field expense	%		4	56.33	4.0	42.28	4.0	28.15	4.0	14.07
2	Indirect cost	%		3	44.99	3.0	33.77	3.0	22.48	3.0	11.24
	Total cost				1,544.80		1,159.42		771.85		385.93

Table 2. Continued

(d)	Contents	Unit	Unit price (Yuan)	20%		30%		50%		70%	
				Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)	Amount	Total (Yuan)
1	Direct construction cost				2,298.87		1,724.82		1,150.77		576.71
(1)	Direct cost				2,158.56		1,619.55		1,080.53		541.52
1)	Labour cost	Man-hour	5	54.5	272.50	41	205.00	27.5	137.50	14	70.00
2)	Material cost				1,886.06		1,414.55		943.03		471.52
	Stem of <i>S. monogolica</i>	kg	2.20	60	132.00	45	99.00	30	66.00	15	33.00
	Plastic net	kg	12.12	140	1,697.08	105	1,272.81	70	848.54	35	424.27
	Galvanized iron wire	m	1.00	20	20.00	15	15.00	10	10.00	5	5.00
	Other material cost	%		2	36.98	2.0	27.74	2.0	18.49	2.0	9.25
(2)	Other direct cost	%		2.5	53.96	2.5	40.49	2.5	27.01	2.5	13.54
(3)	Field expense	%		4	86.34	4.0	64.78	4.0	43.22	4.0	21.66
2	Indirect cost	%		3	68.97	3.0	51.74	3.0	34.52	3.0	17.30
	Total cost				2,367.83		1,776.56		1,185.29		594.02

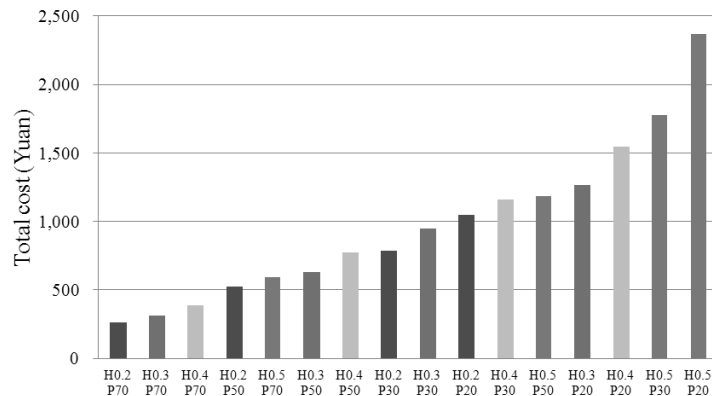


Figure 5. Indications of install cost in 16 combinations of height (m) and porosity (%) of sand barrier. H is height, P is porosity of sand barrier.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 중국 닝샤 회족자치구의 마우수 사지에서 플라스틱 네트 방풍책을 4가지 높이(0.2m, 0.3m, 0.4m, 0.5m)와 4가지 공극률(20%, 30%, 50%, 70%)을 조합한 16가지 방풍책을 한 줄씩 설치한 뒤, 방풍책의 높이와 공극률에 대한 방풍효과와 설치비용을 분석하여 방풍책 설치 시 최적의 요건을 제시하기 위하여 실시하였다.

연구결과, 높이 0.2m 방풍책은 공극률 20%와 30%의 방풍효과가 가장 좋았으며, 공극률 70% 방풍책은 방풍효과를 발휘하지 못하는 것으로 나타났다. 높이 0.3m 방풍책에서는 공극률 20%, 30%, 50%, 70%의 방풍책 모두 1m 지점에서 방풍효과가 가장 높았으며, 약 7m 지점부터 방풍책의 공극률이 높고 낮음에 상관없이 일정한 방풍효과가 나타났다. 높이 0.2m와 높이 0.3m 방풍책은 공극률이 20%와 30%일 때 약간의 방풍효과

가 나타났으나, 공극률 50%와 70%일 때는 방풍 효과가 매우 낮았다. 높이 0.4m 방풍책은 공극률 20%, 30%, 50%, 70%의 방풍책 모두 2m 지점에서 방풍효과가 최대값을 보였다. 약 3m 지점부터 8m 지점까지 방풍효과가 점차 낮아졌고, 약 9m 지점부터 방풍책의 공극률이 높고 낮음에 상관없이 일정한 방풍효과를 보였다. 높이 0.5m 방풍책에서는 3m 지점에서 방풍효과가 가장 높았으며, 이후 점차적으로 감소하여 11m 지점부터 방풍책의 공극률이 높고 낮음에 상관없이 일정한 방풍효과가 유지되는 것으로 나타났다.

본 연구결과를 응용하여 방풍책을 일정한 간격으로 배치할 경우, 높이 0.2m 방풍책은 1m 간격으로 설치하는 것이 방풍효과를 극대화시킬 수 있을 것으로 사료되며, 방풍책 설치비용을 고려한다면 2m 간격으로 설치하는 것이 적당할 것으로 예상된다. 높이 0.3m 방풍책은 방풍책 간격을 3m 이내로 설치하는 것이 가장 좋은 방풍효과를 얻을 것으로 사료되며, 설치비용을 고려한다면 방풍책 간격을 4m 이내로 설치하는 것이 적당할 것으로 예상된다. 높이 0.4m 방풍책은 방풍책 간격을 7m 이내로 설치하는 것이 가장 좋은 방풍효과를 얻을 것으로 사료되며, 설치비용을 고려한다면 방풍책 간격을 8m 이내로 설치하는 것이 적당할 것으로 예상된다. 높이 0.5m 방풍책은 방풍책 간격을 10m 이내로 설치하는 것이 방풍효과가 뛰어날 것으로 사료되며, 설치비용을 고려한다면 방풍책 간격을 12m 이내로 설치하는 것이 적당할 것으로 예상된다. 0.2m, 0.3m, 0.4m, 0.5m 높이의 방풍책에 대한 방풍거리를 분석한 결과, 동일한 높이에서 방풍책의 공극률이 낮아질수록 지표면조도가 커지면서 방풍거리가 증가했으며, 방풍책 모두 공극률에 상관없이 일정 거리에 도달하면 지표면조도가 비슷해지는 특징을 보였다. 이것으로 동일한 높이의 방풍책 조건에서 각 공극률에 따라 방풍효과와 정도에 차이가 있을 뿐, 방풍범위는 같다는 것을 알 수 있었다.

방풍책의 공극률과 높이는 설치비용에 직접적

으로 영향을 준다. 방풍책 높이가 높아질수록 그에 비례해서 설치비용도 증가하였지만, 방풍효과는 좋아졌다. 특히 방풍책 높이가 0.4m 이상이 되면 높이 0.2m와 0.3m 방풍책보다 지표면조도가 크게 높아지면서 높은 방풍효과를 보였다. 이 결과를 활용하여, 장기간 방풍효과를 지속해야 하는 지역에서는 초기 설치비용이 많이 소요되더라도 높이 0.4m 이상의 방풍책을 설치하는 것이 경제적이고 높은 방풍효과를 얻을 수 있다고 판단된다.

방풍책의 공극률이 높아질수록 제조비는 줄어들지만, 방풍효과는 낮아지는 단점이 있었다. 반면 공극률이 낮아질수록 제조비는 늘어나지만 방풍효과는 좋아졌다. 방풍책의 공극률이 낮아짐에 따라 수작업으로 인한 작업량이 늘어나면서 설치비용이 늘어났다. 그러나 추후 일정한 공극률의 방풍책을 공장에서 대량생산한다면 수작업에 의한 작업량이 줄어들면서 설치비용을 크게 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 방풍책 재료로 플라스틱 네트만 이용했다는 한계점이 있었다. 따라서 향후 다른 방풍책 재료를 이용한 후속 연구와 경제적이고 우수한 방풍효과를 발휘할 수 있는 새로운 방풍책 재료 개발이 필요하다. 또한 방풍책 설치 후 방풍책의 효과적인 관리를 위해 장기적인 모니터링이 필요하다.

인 용 문 헌

- Chang, Z.F. and Liu H.J. 2001. Problem and Future Thinking on Utilization of Desert Control Method During 50 Years in Hexi Corridor. *Journal of Desert Research*. 21 (Supp) : 87-91 (in Chinese).
- Chang, Z.F., Zhong, S.N., Han, F.G. and Liu, H.J. 2000. Research of the Suitable Row Spacing on Clay Barriers and Straw Barriers. *Journal of Desert Research*. 20(4) : 455-457.

- Ding, G.D. 1993. Nature of Surface Roughness Implication. *Journal of Desert Research*. 3(4) : 39-43 (in Chinese).
- Dong, Z.B. 2005. Research Achievements in Aeolian Physics in China for the Last Five Decades (I). *Journal of Desert Research*. 25(3) : 293-305 (in Chinese).
- Dong, Z.B. and Zheng, X.J. 2005. Research Achievements in Aeolian Physics in China for Last Five Decades (II). *Journal of Desert Research*. 25(6) : 795-815 (in Chinese).
- Dregne, H., Kassas M. and Rozanov, B. 1991. A New Assessment of the World Status of Desertification. In : *Desertification Control Bulletin*, 20. 6-18 (in Chinese).
- Feng, X.Z., Zhang, W.J., Cao, J.S. and Zhang, B.S. 2004. Studies on the Technology of Restoration and Reconstruction of Vegetation in Sandlot Near Altiplano Bashang. *Research of Soil and Water Conservation*. 11(3) : 73-75 (in Chinese).
- Fullen, M.A. and Mitchell, D.J. 1994. Desertification and reclamation in north-central China. *Ambio* 23, 131-135.
- Gao, Y., Qiu, G.Y., Ding, G.D., Shimizu Hideyuki, Yu, Y., Hu, C.Y., Liu, Y.P., Tobe Kazuo, Wang, T. and Wang, J. 2004. Effect of *Salix psammophila* Checkerboard on Reducing Wind and Stabilizing Sand. *Journal of Desert Research*. 24(3) : 365-370 (in Chinese).
- Huang F.X. and Gao, Q. 2001. Comparison of Wind Velocity Reduced by Seven Different Windproof Materials in Maowusu Sandland. *Journal of Soil Water Conservation*. 15(1) : 27-30 (in Chinese).
- Jin, C.N., Dong, Z.B., Li, J.J. and Chen, G.T. 2005. Blown Sand Deposits and Its Indications on Wind Activities around High Wind-breaks. *Journal of Desert Research*. 25(5) : 652-657 (in Chinese).
- Li, S.Y. and Lei, J.Q. 2003. The Ecological Restoration Functions of the Straw-checker Sand-barriers : A Case Study along the Desert Highways in the Gurbantonggut Desert. *Arid Zone Research*. 20(1) : 7-10 (in Chinese).
- Ma, G.X., Shi, M.J., Zhao, X.T. and Wang, T. 2008. Monetary Accounting of Economic Loss of Sandy Desertification in North China. *Journal of Desert Research*. 28(4) : 628-633 (in Chinese).
- Ma, Q.L., Wang, J.H., Zhan, K.L. and Liu, H.J. 2005. Study on Fixing Sand Principals of Plastic Checkerboard Sand-Barrier and Its Potential Application. *Journal of Soil Water Conservation*. 19(1) : 36-39,58 (in Chinese).
- Peng, K.S. 2004. Damage of Sandstorm to the development of Western Regions. *Geological Technoeconomic Management*. 26(3) : 19-25 (in Chinese).
- UNEP. 1993. *Managing fragile ecosystem : Combating Desertification and drought*. Agenda 21, Chapter 12. *Desertification Control Bulletin*, 122.
- Wang, T., Wu, W., Xue, X., Han, Z.W., Zhang, W.M. and Sun, Q.W. 2004. Spatial-temporal Changes of Sandy Desertified Land During Last 5 Decades in Northern China. *Acta Geographica Sinica*. 59(2) : 203-212 (in Chinese).
- Yang, M.Y. 1996. The analysis and study of determining earth surface rough degree. *Journal of Desert Research*. 16(4) : 383-387 (in Chinese).
- Wang, Z.G., He, K.N. and Hu, Z.H. 2009. The

- cost estimate and budgetary of soil and water conservation. Beijing : China Forestry Publishing House. (in Chinese).
- Yang, Z.W. 2004. Approach on Three Patterns Sand Control in High and Cold Arid Region of Qinghai. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry. (3) : 42-45 (in Chinese).
- Zhang, T.H., Zhao, H.L., Chang, X.L., Yaushio Shirato, Toshiya Ohkuro and Ichiro Taniyama. 2000. Journal of Desert Research. 20 (Supp) : 48-52 (in Chinese).