

Ecology and Development Series

No. 39, 2006

Asia Khamzina

The assessment of tree species and irrigation techniques for afforestation of degraded agricultural landscapes in Khorezm, Uzbekistan, Aral Sea Basin



Zentrum für Entwicklungsforschung
Center for Development Research
University of Bonn

ZEF Bonn

Ecology and Development Series No. 39, 2006

Editor-in-Chief:
Paul L.G.Vlek

Editors:
Manfred Denich
Christopher Martius
Charles Rodgers

Asia Khamzina

The assessment of tree species and irrigation techniques for
afforestation of degraded agricultural landscapes in
Khorezm, Uzbekistan, Aral Sea Basin

Cuvillier Verlag Göttingen

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2006

Zugl.: Bonn, Univ., Diss., 2006

ISBN 3-85637-852-8

D 98

1. Referent : Prof. Dr. Paul L. G. Vlek

2. Referent : Prof. Dr. Helmut Eggers

Tag der Promotion: 14.02.2006

Angefertigt mit Genehmigung der Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2006

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2006

Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 3-86537-852-8

...We caused to grow gardens ... Therewith We give (new) life to a dead land.

The Koran, Sura 50: 9-11

... And out of the ground made the LORD God to grow every (tree) that is pleasant to the sight, and good for food ...

The Bible, Genesis 2:9

ABSTRACT

Land degradation in the irrigation-based production systems of Uzbekistan impedes the country's agricultural development. The adverse effects of land degradation are ubiquitous in the Khorezm Region in the north-west of Uzbekistan, as its entire irrigated area is affected by various degrees of soil salinity and hydromorphy. Afforestation, as an option to mitigate land degradation, necessitates a judicious selection of multipurpose tree species (MPTS) to make use of the otherwise unproductive land and lower the elevated groundwater table (GWT) via biodrainage.

During 24 months, root system establishment, dry matter (DM) production, quality of fodder and fuelwood, and transpiration of 10 MPTS were studied on sandy and loamy slightly saline soils under adequate irrigation. The ANOVA revealed superior biomass growth of *Elaeagnus angustifolia* L. and *Tamarix androssowii* Litv., respectively producing up to 3.9 and 3.6 kg tree⁻¹ of utilizable above-ground DM by the age of three years. *E. angustifolia* showed a high potential for rapid establishment evidenced by root elongation of over 100 m tree⁻¹. Wood of *T. androssowii*, *Prunus armeniaca* L. and *Populus nigra* var. *pyramidalis* Spach exhibited relatively high calorific values ranging from 14.4-16.2 MJ DM kg⁻¹. *Elaeagnus angustifolia* and *Morus alba* L. offered good leaf fodder with a crude protein content of 216 and 117 g DM kg⁻¹, respectively, which is superior to the feed quality of alfalfa hay. Mean daily transpiration, measured with a steady state porometer, differed significantly among the species ($p < 0.001$) ranging from 4.5-5.2 mmol m⁻² s⁻¹ for *P. armeniaca* to 4.5-10.0 mmol m⁻² s⁻¹ for *E. angustifolia*. The N-fixing *E. angustifolia* performed best overall, followed by *Populus euphratica* Oliv. and *Ulmus pumila* L.

Based on the results of the species assessment, a two factorial split-plot experiment was designed on salt-affected marginal land to evaluate the establishment, growth and transpiration of the latter three species over a period of 24 months. The trees were subjected to deficit irrigation amounting to less than 40% of the locally recommended watering quantity of 4,000-8,000 m³ ha⁻¹. Irrigation water was applied via traditional furrows and using a water saving drip technique.

Mixed linear model analysis showed that drip irrigation enhanced growth of *P. euphratica* by a factor of 7-12 compared with the performance under furrow irrigation. The other species were insensitive to the irrigation technique used. *E. angustifolia* produced about 43 t ha⁻¹ of above-ground DM, which was 2-3 times higher than the production of other species. Species differences in mean daily transpiration were significant ($p < 0.01$). Transpiration of 3-year-old trees during the season ranged within 6.5-11.0 mmol m⁻² s⁻¹ for *E. angustifolia*, 5.0-9.4 mmol m⁻² s⁻¹ for *U. pumila*, and 4.0-5.5 mmol m⁻² s⁻¹ for *P. euphratica*. This was comparable with transpiration by these species at the slightly saline sites. Irrigation enhanced transpiration during the first growing season but had no further effect when trees accessed the GWT. The annual stand transpiration, determined with the Penman-Monteith approach, amounted to 1830, 1470, and 730 mm for *E. angustifolia*, *U. pumila* and *P. euphratica*, respectively. Multiple regression analyses showed that meteorological factors only to a limited extent could explain the variations in transpiration. The strong physiological control of transpiration was confirmed by the decoupling coefficient ranging from 0 to 0.3. All species tolerated average root-zone salinity of 8-13 dS m⁻¹ with no reduction in growth, under conditions of a 0.9-1.5 m deep GWT with the moderate salinity of up to 6 dS m⁻¹.

The observed tree growth and transpiration revealed the good productive and biodrainage potential of plantations on degraded land. The biological, physiological and socio-economic criteria used for the species assessment suggest that *E. angustifolia* as well as *U. pumila* would be suitable for the afforestation. In contrast, *P. euphratica*, although a major species of the native forest, is less appropriate due to its low survival rates and less suitable for biodrainage due to its relatively conservative water use. Applying costly drip irrigation systems for forest establishment would be unnecessary for sites where a shallow, slightly-to-moderately saline GWT prevails throughout the growing season.

KURZFASSUNG

Landdegradation im Bewässerungsfeldbau von Usbekistan wirkt sich negativ auf die landwirtschaftliche Entwicklung aus. Dies ist in der Region Khorezm, die im Nordwesten Usbekistans liegt, allgegenwärtig, da das gesamte bewässerte Gebiet durch verschieden starke Bodensalinität sowie unzureichende Drainagesysteme beeinflusst ist. Aufforstung, als Option zur Reduzierung der Landdegradation, erfordert eine vernünftige Auswahl geeigneter „Mehrzweckbaumarten“ (MZBA), um ansonsten unproduktives Land nutzbar zu machen, und um durch Biodrainage den Grundwasserspiegel (GWS) abzusenken.

Wurzelbildung, Aufbau von Trockensubstanz (TS), Qualität von aus Bäumen produziertem Futter und Brennholz, sowie Transpiration von zehn MZBA wurden über 24 Monate auf Standorten mit sandigen und lehmigen, leicht salzhaltigen Böden unter adäquater Bewässerung erfasst. ANOVA ergab eine höhere Biomasseproduktion von *Elaeagnus angustifolia* L. und *Tamarix androssowii* Litv., die im Alter von 3 Jahren bis zu 3,9 bzw. 3,6 kg nutzbare überirdische TS pro Baum bildeten. *E. angustifolia* hatte zudem ein hohes Potenzial sich schnell zu etablieren (Wurzellängenwachstum von insgesamt über 100 m pro Baum). Holz von *T. androssowii*, *Prunus armeniaca* L. und *Populus nigra* var. *pyramidalis* Spach hatte relativ hohe Brennwerte von 14,4–16,2 MJ TS kg⁻¹. Mit einem Rohproteingehalt von 216 bzw. 117 g TS kg⁻¹ lieferten die Blätter von *E. angustifolia* und *Morus alba* L. gutes Futter, das die Qualität von Luzerneheu übersteigt. Die mittlere tägliche Transpiration, die mit einem 'Steady State Porometer' gemessen wurde, unterschied sich signifikant zwischen den Arten (p<0,001). Sie reichte von 4,5-5,2 mmol m⁻² s⁻¹ bei *P. armeniaca* bis zu 4,5-10 mmol m⁻² s⁻¹ bei *E. angustifolia*. Die Stickstoff fixierende Art *E. angustifolia* zeigte hierbei die höchsten Werte, gefolgt von *Populus euphratica* Oliv. und *Ulmus pumila* L.

Basierend auf den Ergebnissen der Artenuntersuchung wurde ein zweifaktorielles *split-plot* Experiment auf salinen Marginalstandorten angelegt, um Etablierung, Wachstum und Transpiration dieser letztgenannten drei Arten über 24 Monate hinweg zu beobachten. Die Bäume wurden einer reduzierten Bewässerung unterworfen (<40% der lokal empfohlenen Bewässerungsmenge von 4000-8000 m³ ha⁻¹). Bewässert wurde durch traditionelle Furchenbewässerung und mit der Wasser sparenden Tropfenbewässerungsmethode.

Gemischtlinare Modellanalysen ergaben, dass das Wachstum von *P. euphratica* bei der Tropfenbewässerung im Vergleich zu Furchenbewässerung um den Faktor 7-12, gesteigert wurde. Die andern Arten zeigten sich unempfindlich gegenüber der Bewässerungsart. Mit 43 t ha⁻¹ bildete *E. angustifolia* 2- bis 3-mal soviel oberirdische TS wie die anderen Arten. Die mittlere tägliche Transpiration variierte zwischen den Arten signifikant (p<0,01). Die Transpiration innerhalb der Vegetationsperiode der dreijährigen Bäume rangierte von 6,5-11,0 mmol m⁻² s⁻¹ bei *E. angustifolia*, über 5,0-9,4 mmol m⁻² s⁻¹ bei *U. pumila*, bis zu 4,0-5,5 mmol m⁻² s⁻¹ bei *P. euphratica*. Dies war vergleichbar mit der Transpiration dieser Arten auf leicht salinen Standorten. Dabei wurde die Transpiration durch Bewässerung nur während der ersten Vegetationsperiode gefördert, wurde aber nicht weiter beeinflusst, wenn die Bäume den Grundwasserspiegel erreichten. Die jährliche Bestandstranspiration, die mit der Penman-Monteith Methode bestimmt wurde, betrug bei *E. angustifolia*, *U. pumila* und *P. euphratica* 1830, 1470 bzw. 730 mm. Multiple Regressionsanalysen ergaben, dass die meteorologischen Parameter die Transpirationsunterschiede zwischen den

unterschiedlichen Arten nur bedingt erklären können. Die starke physiologische Kontrolle der Transpiration wurde durch starken den Entkopplungskoeffizienten (*decoupling coefficient*), der zwischen den Arten von 0 bis 0,3 rangierte, bestätigt. Alle Arten tolerierten einen durchschnittlichen Salzgehalt von 8-13 dS m⁻¹ in der Wurzelzone und zeigten keine Wachstumseinschränkungen bei hohem Grundwasserstand (0,9-1,5 m) mit moderater Wassersalinität bis zu 6 dS m⁻¹.

Beobachtetes Baumwachstum und Transpiration zeigten das gute Wachstums- und Biodrainagepotenzial von Baumpflanzungen auf degradierten Flächen. Die zur Artenbeurteilung herangezogenen biologischen, physiologischen und sozioökonomischen Kriterien ergeben, dass sowohl *E. angustifolia*, als auch *U. pumila* zur Aufforstung geeignet sind. Im Gegensatz dazu, ist *P. euphratica*, obwohl eine dominante Art in den heimischen Wäldern, durch ihre niedrigen Überlebensraten weniger zur Aufforstung und wegen ihres relativ konservativen Wasserverbrauchs weniger gut für Biodrainage geeignet. Zur Etablierung von Wäldern auf Standorten mit in der Vegetationsperiode vorherrschendem hoch anstehendem, leicht bis moderat salzhaltigem Grundwasserspiegel wäre keine teure Tröpfchenbewässerungsanlage notwendig.

ТЕЗИС

Деградация земель тормозит темпы развития сельского хозяйства в Узбекистане, снижает потенциал и продуктивность земельных ресурсов и непосредственно влияет на уровень жизни населения. Пахотные земли Хорезмской области, расположенной на северо-западе Узбекистана, в силу природных условий и географического положения особенно подвержены процессам деградации, вызванным антропогенными факторами. Неправильное управление водными и земельными ресурсами способствовало повсеместному развитию вторичного засоления, заболачиванию почв и падению плодородия. Облесение деградированных земель, как один из вариантов улучшения экологического состояния региона, требует тщательного отбора подходящих многоцелевых древесных пород (МДП) для повышения продуктивности бросовых маргинальных земель и снижения близкого стояния грунтовых вод путем биодренажа.

В течение 2-х вегетационных периодов изучались развитие корневых систем, продуктивность биомассы, качество листового корма, топливной древесины и транспирационная способность 10-ти МДП на песчаных и суглинистых слабозасоленных почвах в условиях достаточного полива. Статистический анализ ANOVA выявил относительно быстрый рост пород *Elaeagnus angustifolia* L. и *Tamarix androssowii* Litv., которые соответственно производили 3,9 и 3,6 кг полезной листовой и древесной биомассы в возрасте 3-х лет. *E. angustifolia* показала высокую приживаемости в виду развития мощной корневой системы (более чем 100 м/дерево). Древесина *T. androssowii*, *Prunus armeniaca* L. и *Populus nigra* var. *pyramidalis* Spach характеризовались относительно высокой теплотворной способностью, оцененной 14,4-16,2 MJ на кг сухого вещества (СВ). *E. angustifolia* и *Morus alba* L. производили ценный листовой корм с соответственным содержанием сырого протеина 216 и 117 г/кг СВ, что выше чем в сене люцерны. Средняя интенсивность транспирации, измеренная порометром, значительно различалась в зависимости от породы ($p < 0.001$) и варьировала в пределах от 4,5-5,2 ммоль/м²/сек у *P. armeniaca* до 4,5-10 ммоль/м²/сек у *E. angustifolia*. Азотофиксирующая порода *E. angustifolia* показала в целом наибольший потенциал среди пород, за которой следовали *Populus euphratica* Oliv. и *Ulmus pumila* L.

Основываясь на результатах оценки древесных пород, был проведен 2-х факторный эксперимент, организованный по принципу разделенных блоков (split-plot), для оценки роста и транспирации 3-х выбранных пород в течение 2-х сезонов вегетации на маргинальном участке с сильно засоленными почвами. Насаждения орошались капельным способом и по бороздам сниженными на 60% оросительными нормами.

Анализ смешанной линейной модели (mixed linear model analysis) показал, что рост *P. euphratica* при капельном орошении был интенсивнее в 7-12 раз по сравнению с ростом этой породы, орошаемой по бороздам. Две другие породы не показали различий в росте в зависимости от способа полива. *E. angustifolia* произвела около 43 т/га СВ надземной биомассы, что в 2-3 раза превысило продуктивность других двух пород. Транспирационная способность листьев значительно различалась у изучаемых пород ($p < 0.01$). Транспирация 3-х летних деревьев во время вегетации менялась в пределах 6,5-11,0 ммоль/м²/сек у *E. angustifolia*, 5,0-9,4 ммоль/м²/сек у *U. pumila* и 4,0-5,5 ммоль/м²/сек у

P.euphratica. Такая интенсивность транспирации была сравнима с транспирацией этих пород на орошаемых слабозасоленных участках. Поливы способствовали повышению транспирации только в течение первого вегетационного сезона, но не имели эффекта во втором сезоне, когда корневые системы достигли уровня грунтовых вод. Сезонная транспирация насаждений, подсчитанная по методу Пеннмана-Монтейта, составила 1830, 1470 и 730 мм соответственно у *E. angustifolia*, *U. pumila* и *P. euphratica*. Анализ множественной регрессии показал, что атмосферные параметры ограниченно объясняют вариацию транспирации изучаемых пород вследствие значительного физиологического контроля транспирации, подтвержденного малыми значениями коэффициента разделения (decoupling coefficient), который менялся в зависимости от породы в пределах 0-0,3. Все породы переносили среднее почвенное засоление в корневой зоне 8-13 дСм/м без замедления роста в условиях грунтовых вод средней минерализации до 6 дСм/м, залегающих на уровне 0,9-1,5 м.

Наблюдаемые рост и транспирация древесных пород доказывают продуктивный и биодренажный потенциал древесных насаждений на маргинальных землях. Биологические, физиологические и социо-экономические критерии, использованные для оценки пород, показали, что *E. angustifolia* и *U. pumila* являются наиболее подходящими породами для облесения. В противоположность им, ценная древесная порода тугайных лесов *P. euphratica*, в виду относительно низкой приживаемости и консервативной транспирации, меньше подходит для облесения и биодренажа деградированных земель. Использование дорогостоящей капельной системы орошения для внедрения насаждений на маргинальных землях нецелесообразно для участков с высоким стоянием грунтовых вод слабо-средней минерализации.

TABLE OF CONTENTS

1	GENERAL INTRODUCTION	1
1.1	Problem setting	1
1.2	The potential and challenge of afforestation of degraded land	2
1.3	Research objectives	5
1.4	Outline of the thesis	5
2	STUDY REGION	7
2.1	Geographical and demographical information	7
2.2	Climate	8
2.3	Relief, geomorphology, hydrogeology and soils	9
2.4	Irrigation and drainage network	10
2.5	Land use	11
2.5.1	Forestry	12
3	ASSESSING THE POTENTIAL OF TREES FOR AFFORESTATION OF DEGRADED LAND	15
3.1	Introduction	15
3.2	Materials and methods	16
3.2.1	Study sites	16
3.2.2	Experimental design	18
3.2.3	Biometric parameters and survival rates	19
3.2.4	Above- and below-ground dry matter production	19
3.2.5	Nutritional and calorific values	20
3.2.6	Statistical analyses	21
3.3	Results and discussion	21
3.3.1	Establishment and growth characteristics	21
3.3.2	Nutritional value of leaves	27
3.3.3	Fuelwood characteristics	28
3.4	Conclusion and recommendations	30
4	PHYSIOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL ATTRIBUTES OF THE TREE SPECIES FOR EARLY DETERMINATION OF THEIR SUITABILITY FOR AFFORESTATION	33
4.1	Introduction	33
4.2	Materials and methods	35
4.2.1	Study sites	35
4.2.2	Plant material	35
4.2.3	Height, diameter, biomass, and leaf area	36
4.2.4	Experimental design and data analyses	36
4.3	Results and discussion	37
4.3.1	Conventional growth assessment parameters	38
4.3.2	Correspondence of RGR to the conventional growth parameters	41
4.3.3	RGR and its underlying components	41
4.4	General discussion	45

4.4.1	RGR and its underlying components.....	45
4.4.2	Suitability of RGR to select species for afforestation	46
4.5	Conclusions	47
5	BIODRAINAGE POTENTIAL OF THE MULTIPURPOSE TREE SPECIES...	49
5.1	Introduction	49
5.2	Materials and methods.....	50
5.2.1	Study sites.....	50
5.2.2	Experimental design	52
5.2.3	Transpiration rates and leaf area.....	52
5.2.4	Biomass	53
5.2.5	Groundwater table fluctuation and salinity	54
5.2.6	Statistical analyses	54
5.3	Results	54
5.3.1	Above-ground biomass.....	54
5.3.2	Root growth parameters.....	55
5.3.3	Transpiration.....	59
5.3.4	Water use efficiency	60
5.4	Discussion.....	62
5.4.1	Influence of environmental factors on transpiration.....	63
5.4.2	Influence of tree morphology on transpiration.....	64
5.4.3	Water use efficiency	65
5.5	Conclusions	66
6	ESTABLISHMENT AND GROWTH OF SELECTED TREE SPECIES UNDER DRIP AND FURROW IRRIGATION ON MARGINAL LAND	67
6.1	Introduction	67
6.2	Materials and methods.....	68
6.2.1	Study site	68
6.2.2	Experimental design	69
6.2.3	Survival rates and biomass	71
6.2.4	Chemical analysis of leaves.....	71
6.2.5	Environmental parameters.....	72
6.2.6	Statistical analyses	72
6.3	Results	72
6.3.1	Environmental conditions.....	72
6.3.2	Survival	75
6.3.3	Above-ground growth	76
6.3.4	Below-ground growth.....	78
6.3.5	Mineral content in leaves.....	81
6.4	Discussion.....	82
6.4.1	Effects of irrigation technique on tree growth.....	82
6.4.2	Growth response	83
6.4.3	Perspectives for future afforestation.....	84
6.5	Conclusions	85

7	LEAF AND STAND TRANSPIRATION OF THE TREE SPECIES GROWN ON MARGINAL LAND	87
7.1	Introduction	87
7.1.1	Materials and methods.....	88
7.1.2	Study site	88
7.1.3	Transpiration, stomatal resistance, and leaf area.....	89
7.1.4	Stand evapotranspiration	90
7.1.5	Decoupling coefficient	91
7.1.6	Growth rate	92
7.1.7	Statistical analyses	92
7.2	Results	93
7.2.1	Meteorological factors.....	93
7.2.2	Soil water conditions	94
7.2.3	Growth rates and leaf area index	99
7.2.4	Leaf transpiration rates	101
7.2.5	Aerodynamic and canopy conductances and stand evapotranspiration	103
7.2.6	Influence of atmospheric parameters and stomatal control	105
7.3	Discussion.....	107
7.3.1	Leaf and canopy transpiration	107
7.3.2	Evaluation of environmental factors determining transpiration	108
7.3.3	Evaluation of stomatal control of transpiration	109
7.3.4	Methodological implications	110
7.4	Conclusions	110
8	CONCLUSIONS AND OUTLOOK	112
8.1	Potential of tree species for afforesting degraded land.....	112
8.2	Performance of the selected species on marginal land	114
8.3	Implications of the research for further studies	115
8.3.1	A follow-up on nitrogen-fixing tree species.....	116
8.3.2	Biodrainage potential of afforestation	116
8.3.3	Implication for socio-economic studies.....	117
8.4	Overall conclusions	118
9	REFERENCES	120
10	APPENDICES	129

ACKNOWLEDGEMENTS

ACRONYMS AND ABBREVIATIONS

ANOVA	Analysis of variance
BNF	Biological nitrogen fixation
CEC	Cation exchange capacity
CP	Crude protein
CV	Calorific value
DM	Dry matter
dO	Digestibility of organic matter
<i>E</i>	Transpiration per unit leaf area
EC	Electrical conductivity
ET	Evapotranspiration
FC	Field capacity
FVI	Fuelwood value index
g_a	Aerodynamic conductance
g_c	Canopy conductance
g_s	Stomatal conductance
GLM	General Linear Model
GW	Groundwater
GWT	Groundwater table
LA	Leaf area
LAI	Leaf area index
LAR	Leaf area ratio
LWR	Leaf weight ratio
MaP	Months after planting
ME	Metabolizable energy
MPTS	Multipurpose tree species
NAR	Net assimilation rate
PEG	Polyethyleneglycol
PFD	Photon flux density
RLD	Root length density
RGR	Relative growth rate
RGR _H	RGR in height
RGR _D	RGR in diameter
RH	Air relative humidity
RSR	Root/shoot ratio
RWR	Root weight ratio
SLA	Specific leaf area
T	Air temperature
VPD	Vapor pressure deficit
WP	Wilting point
WU	Water use
WUE	Water use efficiency
MR	Multiple regression

