



Doctoral Thesis

Low impact of altitude and landscape composition on patterns of genetic variation in semi-dry grassland plants

Author(s):

Hahn, Thomas

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010027559> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 21065

**Low impact of altitude and landscape composition on patterns of
genetic variation in semi-dry grassland plants**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Thomas Hahn

Diplom-Biologe, Philipps-Universität Marburg

born 15th June 1979, Frankfurt am Main
citizen of Germany

accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. Jaboury Ghazoul (examiner),

Dr. Andrea R. Plüss,

Prof. Rolf Holderegger and

Dr. Lutz Eckstein (co-examiners)

2013

Summary

Climate change is among the most serious threats for global biodiversity. Many mountain regions experience particularly strong climatic changes while mountain plants are expected to be especially sensitive to such changes. Potential reactions of plants to the changing environmental conditions are plastic responses, genetic adaptation or migration to locations where environmental conditions are becoming suitable, the ultimate alternative being local extinction. The upwards migration potential for plants in mountain areas is determined by several factors. For plant populations in the current upper range periphery, population fitness and particularly seed production are important prerequisites to successfully establish new populations at higher altitudes. In predominantly outbreeding plants, fitness of populations is often linked to genetic diversity and inbreeding. For clonal plants, a high investment in vegetative reproduction can reduce sexual reproduction. In the semi-dry grassland species, *Briza media*, *Trifolium montanum* and *Ranunculus bulbosus*, I investigated the effect of altitude on neutral genetic diversity, genetic differentiation, levels of inbreeding as well as the importance of clonal reproduction, using AFLP fingerprints. I studied the impact of landscape composition on historic gene flow among populations. This PhD project is part of the CCES-BioChange project and is strongly linked to the PhD projects of Esther Frei and Philippe Matter.

In the first study, I tested whether in the three model species upper peripheral plant populations in mountainous areas are smaller, genetically depleted, genetically more differentiated and more inbred compared to populations at lower altitudes. Estimations of size, isolation and genetic diversity of populations were not affected by altitude and only in *B. media* inbreeding was greater at higher altitudes. Genetic differentiation was slightly greater among populations at higher altitudes in *B. media* and individuals within populations were more related to each other compared to individuals in lower altitude populations. A similar but less strong pattern of differentiation and relatedness was observed in *T. montanum*, while in *R. bulbosus* no effect of altitude was apparent. Because populations in the upper periphery were not genetically depauperate or isolated, they may be important source populations for migration under climate change.

In the second study, I assessed how altitude, landscape elements and individual density affect genetic differentiation in *T. montanum* within two valleys in South-Eastern Switzerland (Canton Grisons). Forest area had in both valleys no effect on historical gene flow at the landscape scale. Within one valley, area of semi-dry grassland, road area and altitude slightly

influenced genetic differentiation among sampling sites, suggesting regional variation in effects. These patterns of genetic differentiation suggests that a future increase in forest area, due to land use abandonment, at least in the short term is unlikely to directly impact on patterns of genetic diversity in *T. montanum*.

In the third study, I investigated whether vegetative reproduction becomes more important with increasing altitudes and whether vegetative reproduction is affected by topography in the clonal grass *B. media*. The study was carried out in three valleys in South-Eastern Switzerland (Canton Grisons). Clonal richness was not related to altitude, but more northern slopes showed higher clonal richness compared to southern slopes. Ramets showed high spatial aggregation and genets were majorly of small sizes. My results suggest that in *B. media* the reproductive mode is not affected by altitude, but by small-scale environmental heterogeneity. I expect no effect of clonal growth on seed production at higher altitudes and consequently, the migration potential of upper peripheral populations should not be negatively affected.

This PhD project shows that in the model organisms, population sizes and characteristics of genetic variation are not or only slightly affected by altitude. This is in concert with other findings in the same species: high levels of regional pollen flow, as found by Philippe Matter and low or even absence of adaptation to altitude, as observed by Esther Frei. These results suggest that in relatively common semi-dry grassland species, despite some differences among regions and species, upper peripheral populations are most likely suited for upward migration, if efficient seed dispersal occurs.

Tudesk

La midada dal clima ei in dils pli veritabels privels per la biodiversitad globala. Biaras regions montagnardas sentan per part fermas midadas della cundiziun dal clima e per las plontas montagnardas vegn pretendiu ina gronda fragilitad enviars la midada del clima. Pussevlas reacziuns dellas plontas sin la midada dal clima ein flexiblas respostas, adattaziuns geneticas, ni migraziun tier ina localitad nua che las cundiziuns environnementales vegnan adattai, la ultimativa alternativa ei extincziun locala. Il potenzial della migraziun ansi per plontas en regions montagnardas ei determinaus tras enqualas facturas. Per la currenta populaziun da plontas en la periferia aulta, surtut la cundiziun generala della populaziun e la produenziun da sem ein impurtontas cundiziuns per etabliar novas populaziuns cun success en aultezias plia aultas.

Per la gronda part dallas plontas, la cundiziun generala dellas populaziuns ei savens ligiada tier diversitad genetica e reproducziun denter consanguins. Per plontas da clon sa ina gronda investiziun en reproducziun vegetativa reducir la produenziun sexuala. Per las spezias da miezschetgas pastgiras, *Briza media*, *Trifolium montanum* e *Ranunculus bulbosus*, vai jeu perscrutau igl effect de l'aultezia sin la diversitad genetica neutrala, distincziun genetica sco indicatur per la circulaziun da gens historics denter las populaziuns, la part reproducziun denter consanguins e l'importanza dela reproducziun clonala cun far diever da AFLP stampa dal det. Plinavon vai jeu studigiau la rolla della composiziun della cuntrada sin la circulaziun da gens historics denter populaziuns. Quella dissertaziun ei part da CCES-BioChange project ed ei ligiaus ferm cun las dissertaziuns da Esther Frei e Philippe Matter.

Ella emprema perscrutaziun vai jeu intercuretge sche la populaziun da plontas en la periferia aulta en regions montagnardas ein pli pintgas, genetic depauperischaus, general pli differentas e pli reproducziun denter consanguins en comparaziun de populaziuns en aultezias pli bassas. Jeu vai priu provas da treis spezias da plontas en la svizzeria. Stimaziuns de la grondezza, izolaziun e diversitad genetica da las populaziuns ein buca influenzai della aultezia e mo la reproducziun denter consanguins da *B. media* ei stada pli gronda en aultezias pli aultas. La distincziun genetica ei stada in tec pli gronda denter populaziuns en aultezias pli aultas en *B. media* e individis denter las populaziuns ein pli parent en comparaziun tier individis da populaziuns en aultezias pli bassas. In samigliont, mobein pli fleivel muster da distincziun e relaziun ei stada observada en *T. montanum*, denton en *R. bulbosus* ei stau negin effect da la aultezia. Perquei che la populaziun en la aultezia pli aulta

ein buc genetic depauperisada ni isolada, savessen ellas esser impurtontas populaziuns da funtauna per migrar sut la midada dal clima.

En la secunda perscrutaziun vai jeu intercuretgs sco aultezza, element da la cuntrada e individuala spessaglia influenza la distincziun genetica en *T. montanum* denter duas valladas en sidost svizzera (Cantun Grischun). En omisduas valladas a il territori d'ual giu negin effect sin la circulaziun da gens historics sin nivel da la cuntrada.

Igl areal da miezschetgas pastgiras, terren da via e aultezza, han giu ina pintga influenza sin la diferenziun genetica denter ils logens da prova dadens ina vallada, quei indicescha in effect denter la variaziun regionala. Quels musters da la distincziun genetica indicescha che la zone d'ual vegn a crescer el futur, perquei che l'utilisaziun de tiara va anavos, en mintga cas, per cuort temps eis ei pauc probabel che ei ha directas consequenza sil muster da distincziun genetica en *T. montanum*.

En la tiarza perscrutaziun vai jeu intercuretgs, sche la produczion vegetativa vegn pli impurtonta e tras quei la clonala ricchezza pli pintga cun aultezziars carschentas in pastg *B. media* e sche ricchezza ei ligiada cun igl aspect de la spunda. Quella perscrutaziun ei vegnida fatga en treis valladas el sidost svizzera (Cantun Grischun). La ricchezza clonala ei buc dependenta da l'aultezza mobein las spundas pli nord mussavan pli gronda clonala ricchezza en comparaziun cun spundas el sid. Ramets mussaven ina gronda agregaziun spaziala e Genets ein stai oravontut pins. Mes resultats indiceschan che en *B. media* la reproductiva maniera ei buc influenzada d'aultezza mobein da pins nivels eterogenidad da environnement. Jeu supponel negin effect en creschament clonal en la produczion da sems en aultezziars pli aultas e attaschus cun quei, buc in pli bass potenzial migraziun de las populaziuns en zonas aultas.

Quella dissertaziun mussa, che en ils intercuretgs organisems, la grondezza de las populaziuns e caracteristic de variaziun genetica ei buc, ni mo in tec, influenzada de l'aultezza. Quei concordescha cun autras observaziuns per ils organismems intercuretgs: Aults nivels da sgol da pollen regional, perscrutau da Philippe Matter e pauc adattaziun tier l'aultezza perscrutau da Esther Frei. Quels resultats indiceschan che relativ ordinarias spezias da miezschetgas pastiras, malgrat entgina differenza denter regiuns e spezias, populaziuns da la zona aulta ein probablamein il pli adattai per migraziun ansi, sch'avunda sems ein derasai.

Résumé

L'actuel réchauffement climatique constitue l'une des menaces les plus sérieuses pour la biodiversité. Dans les régions de montagne, les espèces végétales, qui sont connues pour être particulièrement sensibles aux conditions environnementales, sont directement touchées par l'élévation globale de la température. Pour faire face à de tels changements, soit les plantes résistent localement grâce à leur plasticité phénotypique, soit elles s'adaptent génétiquement ou encore migrent vers des sites où les conditions environnementales sont appropriées ; l'alternative ultime restant l'extinction locale des populations. Dans les régions de montagne le potentiel de migration des plantes vers des altitudes plus élevées est conditionné par plusieurs facteurs. Pour les populations localisées à la périphérie haute de l'aire de distribution, leur fitness ainsi que leur production de semences sont d'importants prérequis pour l'établissement de nouvelles populations en haute altitude. Dans les espèces principalement exogames, la fitness des populations est souvent liée à la diversité génétique ainsi qu'au niveau d'endogamie. En ce qui concerne les plantes capables de multiplication végétative, un trop fort investissement de ressources dans ce mode de propagation peut réduire la reproduction sexuée.

En utilisant les espèces herbacées des pelouses sèches calcaires *Briza media*, *Trifolium montanum* et *Ranunculus bulbosus*, j'ai étudié l'effet de l'altitude sur la diversité génétique neutre, sur la différenciation génétique – en tant qu'indicateur de flux de gènes historique entre populations, sur le taux d'endogamie ainsi que sur l'importance de la multiplication végétative. Pour ce faire, j'ai développé des marqueurs AFLP pour ces trois espèces et les ai utilisés en routine pour le génotypage des échantillons. Par ailleurs, j'ai examiné l'importance de la composition du paysage sur le flux de gènes historique inter-populations. Ce doctorat fait partie du projet CCES-BioChange, et est fortement lié aux doctorats d'Esther Frei et de Philippe Matter.

Dans la première étude, j'ai testé l'hypothèse selon laquelle les populations végétales de montagne à la périphérie haute de l'aire de distribution seraient plus petites, génétiquement plus pauvres, génétiquement plus différenciées, et auraient un taux d'endogamie plus élevé que les populations de basse altitude. J'ai échantillonné diverses populations des trois espèces étudiées à travers la Suisse. Les estimations de taille, d'isolement et de diversité génétique des populations n'étaient pas affectées par l'altitude, et seulement chez *Briza media* le taux d'endogamie s'est révélé être plus élevé dans les populations de plus haute altitude. La différenciation génétique était légèrement plus grande entre populations de plus haute altitude

chez *Briza media*, et les individus au sein d'une même population étaient plus apparentés les uns aux autres à haute altitude qu'à basse altitude. Chez *T. montanum*, des résultats similaires ont été trouvés, bien que le degré de différenciation génétique et d'apparentement entre individus ait été moins élevé. Par contre, aucun effet de l'altitude n'a été trouvé chez *R. bulbosus*. Le fait que les populations situées à la périphérie haute de l'aire de distribution ne soient pas génétiquement appauvries ou isolées indique que celles-ci peuvent faire office d'importantes populations-source pour la migration de ces trois espèces vers de plus hautes altitudes.

Dans la deuxième étude, j'ai évalué l'impact de l'altitude, de différents éléments du paysage, ainsi que de la densité des populations sur la différenciation génétique de *T. montanum* dans deux vallées de Suisse sud-orientale (canton des Grisons). La superficie couverte par la forêt n'avait aucun effet sur le flux de gènes historique dans aucune des deux vallées. Dans une des deux vallées, la superficie couverte par les pelouses sèches calcaires et par les routes ainsi que l'altitude influençaient la différenciation génétique entre sites, ce qui indique de potentielles fortes variations locales. Ces caractéristiques de différenciation génétique suggèrent qu'une augmentation des surfaces boisées, par exemple due à l'abandon de terres, n'aurait probablement aucune incidence sur la diversité génétique chez *T. montanum* (dans tous les cas à court terme).

Dans la troisième étude, j'ai testé chez *B. media* l'hypothèse selon laquelle la multiplication végétative augmenterait avec l'altitude en réduisant de ce fait la diversité clonale. J'ai par ailleurs examiné l'impact de la pente et de l'exposition sur cette diversité. L'étude a été menée dans trois vallées de Suisse sud-orientale (canton des Grisons). La diversité clonale n'était pas influencée par l'altitude, par contre elle était plus élevée sur les pentes orientées nord que sur les pentes orientées sud. Les talles étaient spatialement très agrégées, et les clones étaient généralement de petite taille. Mes résultats suggèrent que chez *B. media*, le mode de reproduction n'est pas affecté par l'altitude mais plutôt par une hétérogénéité environnementale à petite échelle spatiale. Dans les populations de haute altitude, la multiplication végétative ne devrait pas affecter la production de semences, et par conséquent ne devrait pas négativement influencer le potentiel de migration de ces populations.

Ce projet de doctorat montre que dans les espèces étudiées la taille des populations ainsi que la variation génétique sont très peu voire aucunement affectées par l'altitude. Ceci coïncide avec d'autres conclusions concernant ces mêmes espèces : Philippe Matter a mis en évidence des flux de pollen importants à l'échelle du paysage, et Esther Frei a montré que l'adaptation des espèces à l'altitude était très limitée voire inexistante. Bien que des différences existent entre espèces et régions, ces résultats suggèrent dans leur ensemble que les espèces

communes des pelouses sèches calcaires devraient être capables de migrer vers de plus hautes altitudes, pour peu qu'une dispersion efficace des graines soit assurée.