





Review

<https://doi.org/10.5564/pib.v39i1.3146>

PROCEEDINGS OF
PIB
THE INSTITUTE OF BIOLOGY

High variability in ungulate density estimates suggests standardization of survey methodologies in Central Asia

Odonjavkhlan CHAGSALDULAM^{1,*}  and Munib KHANYARI^{2,3} 

¹Institute of Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

²Nature Conservation Foundation, Mysore, India

³Snow Leopard Trust, India

*Corresponding author: chagsaldulam_o@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0002-7333-5261>

Abstract. In this systematic literature review, we sought to summarize methodological development used to estimate their population abundance and density and factors associated with the observed spatial variability in density estimates in key three species ibex *Capra Sibirica*, argali *Ovis ammon*, and blue sheep or bharal *Pseudois nayaur*. We retrieved density estimates of these three species from 97 peer-reviewed articles published between 1960 and 2023. We examined the relationship between density estimates (animal/km²) with multiple predictor variables such as elevation, season, survey and estimation methodology (e.g. distance sampling, total count, and double observer), sampling area, and whether the study area was protected or not among other factors. Our results show extreme spatial variability in density estimates of all three species (blue sheep, range = 0.1 to 9.3 individual/km² ibex, range = 0.006 to 6 individual/km²; argali, range = 0.008 to 8 individual/km²). The results of regression models indicate significant variability in density estimates, particularly for blue sheep, influenced by elevation, protected areas, and estimation methods. For ibex, sampling area and season explained a larger proportion of variation whereas argali density was largely explained by elevation, snow leopard presence, season, and estimation method. These findings shed light on the challenges of estimating prey density in snow leopard habitats and provide insights for reconciling contrasting estimates, thus aiding in effective conservation efforts.

Keywords: Ibex, argali, blue sheep, Central Asia, density estimation, Himalayas, ungulates

Received 31 October 2023; received in revised form 02 November 2023; accepted 13 November 2023

© 2023 Author(s). This is an open access article under the [CC BY-NC 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Introduction

Globally, the population and distribution of large-bodied herbivores (>15 kg) continue to decline due to habitat loss, fragmentation, depredation, hunting, and poaching [1]. The ungulates play an important essential role in maintaining ecosystems by influencing vegetation structure, nutrient cycling, and bottom-up control in ecological rule (carrying capacity) [2]. As a food base for carnivores, ungulates also help sustain the conservation of threatened carnivore species. Understanding their conservation status and threats is an important conservation priority [3]. Central Asia and the Himalayas are the habitats of several unique and threatened species

of ungulates [4], [5]. At least 12 ungulate species, including argali, ibex, Mongolian gazelle, kiang, Przewalski's horse, wild yak, Bactrian camel, saiga antelope, blue sheep, markhor, chiru have been documented in this region [4]–[6]. These species maintain the productivity of the arid and semi-arid rangelands of the region and also form the food base for threatened species like snow leopards and wolves [7], [8]. Despite conservation efforts over the last three decades, multiple threats, including livestock grazing [9], [10], cashmere production [11], illegal hunting and poaching [12], habitat fragmentation [13] and disease [14] continue to negatively impact on wild ungulates in Central Asia.

An understanding of their abundance, density,

and population dynamics is particularly important in species conservation planning. Owing to the remoteness, inaccessible terrain and harsh climate in central Asia and the Himalayas, monitoring species distribution and abundance has been challenging. Population density is a vital parameter in conservation biology. Yet estimating the density of ungulates is challenging because they inhabit rough terrain, their group living life history, low density, and migratory tactics, make their accurate counting difficult. A number of methodologies have been developed to estimate population density in wild ungulates, such as camera traps, distance sampling, sign surveys, open counts, double counts etc. Previous studies, particularly ones estimating density of main ungulate species in Central Asia, have employed various methods. However, the result of these studies showed a wide range of density estimation of prey species of snow leopard. This could either reflect true variation or may be just the result of sampling method and time. Lately, there have been efforts to standardize field methods to account for imperfect detection of species [15]. While we have plenty of knowledge about basic biology and ecology of these ungulates, a comprehensive review of the methodological development that happened over the last fifty or so years is lacking. Such a review can provide insights into standardize wild ungulate density estimation methodology.

With the aim of producing a systematic review of the current state of knowledge and methodological trends, we retrieved density estimates of three main prey species of snow leopard from peer reviewed studies and examined whether the method used, size of the study area, elevation, and season of sampling is associated with variability in density estimates. Our overarching aim is to assess differences and provide suggestions and insights to reconcile contrasting density estimates of the main prey species of snow leopard. We hypothesize that there will be an increasing pattern of adopting a standard method post-2013 when the Snow Leopard Survival Strategy was introduced in 2014 that recommended the use of the double observer method to estimate ungulate population.

Method and materials

Data collection

We conducted a systematic literature review on the distribution status and density estimates of three main prey species of snow leopard- ibex, argali, and blue sheep or bharal. First, we searched the following keywords in Web of Science between 1959 and 2023: Argali AND conserve* OR threats OR status AND pop* OR abundance OR density on each of three species (ibex, blue sheep, and agrali). We then filtered the search results based on whether the articles contained

the relevant status, density, and distribution of these three species, and searched for other relevant papers cited in those papers. We included those studies that were published in the English language with no limitation on the year of publication and on estimates of the density of ibex, argali, and blue sheep or bharal. Out of 212 papers from Web of Science, the final filter resulted in a total of 97 peer-reviewed articles, some of which contain multiple estimates of density for different blocks or over seasons. For each study, we extracted the following information. Location, including site and country name and whether a study site was protected, study period including year, month, and season, survey method (e.g. distance sampling, total count, or double observer), sampling area, and population density estimates of each species. Whenever density estimate was unavailable, we divided the population size estimate by the total sampling area to get density estimates of the study.

Data analysis

Because our response variable was numeric (density estimate per square kilometer), we used linear regression with a normal error distribution to model and understand factors associated with the observed spatial variability in density estimates. For each of the three species, we constructed 15 plausible models (single variable and additive) that we hypothesized would explain variation in density estimates of selected three species of ungulates. Before analysis, we standardized all predictor variables so that model coefficients could be interpreted as effect sizes and compared between alternative models. We also assessed collinearity between the predictor variables using Pearson's correlation coefficients. We did not include correlated covariates (Pearson's $|r| > 0.7$) in the same model [16]. We ranked these models based on their Akaike Information Criterion (AIC), adjusted for small sample sizes (AICs), defining sample size as the number of sites [17]–[19]. Models having a ΔAIC of < 2 were considered to be statistically different. Models that did not reach numerical convergence were excluded and not considered. The significance of each explanatory variable in explaining the response variable was assessed by the direction and magnitude of the variable's slope (effect size). To infer the relative influence of each variable on the response variable, probability and model weights were summed over all models containing the particular covariate. The figures were prepared from the predicted values of the regression models to visually depict the predicted relationship between the response variable and the explanatory variable. All analyses were carried out in R 3.4.2 (R Development Core Team, 2017). Scatter plots with regression curves were prepared to visualize the predicted relationship between the response variable and predictor variables.

Results

Blue sheep

Our review of peer-reviewed literature resulted in 45 studies conducted between 1979 and 2023 across five countries, including Bhutan, Pakistan, Nepal, India, and China. We obtained 140 data points on density estimates of blue sheep. These studies have mostly used three methods: double observer, distance sampling, and total count, and the majority (90%) of the studies were conducted between 2004 and 2023. The maximum likelihood-based model selection results showed that the additive influence of method and elevation best explains the variability in estimates of blue sheep densities (**Table 1**, $AIC_{weight} = 0.61$). As shown **Fig. 1**, blue sheep density estimates were significantly negatively correlated with the elevation ($\beta_{elev}(SE) = -0.008(0.0001)$), while the protected area seemed to positively correlate with estimated density of blue sheep ($\beta_{pa}(SE) = 0.95(0.67)$) however this effect size was not significant at 95 % CI.

Estimation methods also influenced the density estimates with double observer methods consistently having higher density estimates than other two methods ($\beta_{Do}(SE) = 5.4(1.4)$). Also, estimation density of blue sheep varied through seasonality based on top models such as autumn positively associated with blue sheep estimates density ($\beta_{autumn}(SE) = 2.6(0.4)$), whereas other three season were appeared negatively correlate blue sheep density estimates.

ibex

We found 38 articles on ibex and extracted 148 points in density estimation of ibex. However, ibex density estimates data were not available from Russia, Uzbekistan and Turkmenistan. These studies were conducted between 1950 and 2023.

The maximum likelihood based model selection results showed that the additive influence of sampling area, and season best explains the variability in estimates of ibex densities (**Table 2**, $AIC_{weight} = 0.45\%$). Density

estimates tended to be negatively correlated with size of the sampling area, however the effect was not significant ($B_{area}(SE) = -0.2(2.7)$). Presence of snow leopard negatively correlated with ibex density estimates, however the effect was not significant ($B_{snow\ leopard}(SE) = -0.3(0.28)$). Sampling methods also seemed to have influenced the density estimates with total count method producing high density estimates than other distance sampling and double observer method. Protected area did not have significant influence on density estimates. Density estimates of ibex varied with the season. Based on the top models such as autumn positively associated with ibex estimates density ($\beta_{autumn}(SE) = 1.6(0.3)$), whereas other three season were appeared negatively correlated with ibex density estimates.

Argali

A total of 144 data points on density estimates of argali referencing 43 papers were collected from peer reviewed journals. Aforementioned argali estimates density studies which were conducted between 1960 and 2023, average estimates density was 1.3 individuals per kilometer only within surveyed habitat across the 8 countries including Afghanistan, Pakistan, India, Nepal, Mongolia, China, Kazakhstan and Tajikistan.

The top model for density estimates of argali included season, non-protected or protected area, method, elevation and snow leopard absence or presence (**Table 3**, $AIC_{weight} = 0.36\%$). Argali density estimates were negatively correlated with the elevation ($\beta_{elev}(SE) = -8.5(7.3)$) and presence of snow leopard ($\beta_{sl}(SE) = -0.3(0.4)$). With regards to season, winter ($\beta_{wint}(SE) = 1.6(0.3)$) and autumn ($\beta_{aut}(SE) = 0.5(0.1)$) has high estimates although spring was lowest argali density estimates ($\beta_{spring}(SE) = 0.3(0.3)$). We found difference estimated density of argali between protected and non-protected area but the difference was not significant. Moreover, double observer method was positively correlated with density estimates of argali.

Table 1. Model selection for covariates affecting density estimation of blue sheep *Pseudois nayaur*

Blue sheep	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt	ModelLik
elev+method	5	497.45	0	0.61	0.61
elev+area+method	6	498.64	1.19	0.34	0.95
elev+season+method	8	502.83	5.39	0.04	0.99
elev+pa+sl	5	505.56	8.11	0.01	1

Akaike's information criteria (AIC), difference in AIC (delta AIC), Akaike weight, number of parameters (K) and deviance (Maximum likelihood) are included in the table. Abbreviation of covariates: elevation(elev), method (method), sampling area (area), protected area (pa), and presence of snow leopard (sl).

Table 2. Model selection for covariates affecting density estimation of ibex *Capra Sibirica*

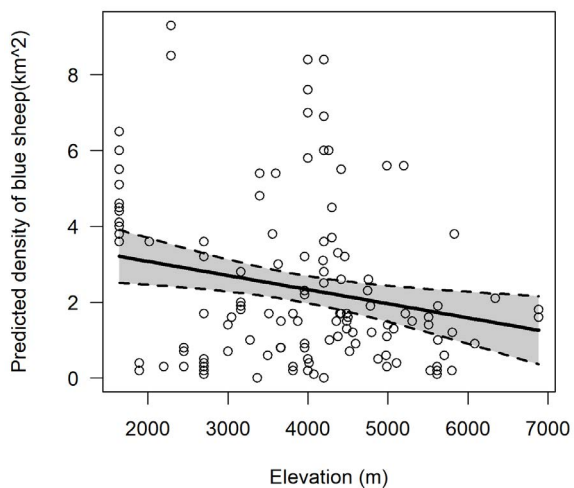
Ibex	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt	ModelLik
area+season	6	227.94	0	0.45	0.45
area+season+pa+method	9	228.92	0.97	0.27	0.72
area+season+pa	7	229.82	1.88	0.17	0.9
area+season+pa+meth+elev	10	231.33	3.39	0.08	0.98
area+season+pa+meth+elev+sl	11	233.93	5.98	0.02	1

Akaike's information criteria (AIC), difference in AIC (delta AIC), Akaike weight, number of parameters (K) and deviance (Maximum likelihood) are included in the table. Abbreviation of covariates: elevation(elev), method (method), sampling area (area), protected area (pa), and presence of snow leopard (sl).

Table 3. Model selection for covariates affecting density estimation of argali *Ovis ammon*

Argali	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt	ModelLik
pa+area+season+method	9	228.92	0	0.36	0.36
area+elev+season	7	229.52	0.6	0.27	0.63
area+sl+season	7	230.3	1.38	0.18	0.81
pa+area+season+method	8	230.97	2.05	0.13	0.94
null	2	232.57	3.65	0.06	1

Akaike's information criteria (AIC), difference in AIC (delta AIC), Akaike weight, number of parameters (K) and deviance (Maximum likelihood) are included in the table. Abbreviation of covariates: elevation(elev), method (method), sampling area (area), protected area (pa), and presence of snow leopard (sl).

**Fig.1.** Estimation density of blue sheep through elevation

Discussion

In this paper, we reviewed the studies reporting wild ungulate populations and density, especially three main wild prey species of snow leopards- the argali, blue sheep, and argali. we found wide variation in reported density estimates of these three ungulates across their distribution range in Central Asia (**Fig. 2**). Below we

discuss what explains this variation in density estimates in the light of current literature and implications to standardize of ungulates survey and their conservation planning.

Blue sheep

The estimation methods used by studies, and the elevation of the report study site explained much of the variability in reported blue sheep density estimates (**Table 1**). The reported blue sheep density estimates were positively related to the estimation method, particularly the double observer method. This is plausible because the double observer method accounts for the imperfect detection reducing the chances of false negatives [15]. The other methods such as point count, and vantage point count are, however, likely to miss blue sheep groups because these methods assume perfect detection, which is almost impossible to achieve in field settings like rugged mountains where detectability is easily influenced by terrain ruggedness, visibility, and observer fatigue and experience [20]. One particular study conducted in Jigme Dorji National Park using the double observer method found blue sheep density of 8.51 per km² in winter and 9.32 per km² in summer [21], which is way higher estimate than the density of 3.63 individuals per km² found in Helan Mountain Region of China [22].

Albeit at a low rate, reported blue sheep densities decreased with increased elevation. This could be because high-elevation areas above 4500 meters are generally less rugged such as in the Tibetan plateau, and elevation areas are covered much with snow cover. The survey season also seems to have an influence on reported density estimates with the autumn season showing higher density than other seasons.

Argali

In the case of argali, while the top model based on AIC criteria included season, non-protected or protected area, method, elevation, and snow leopard absence or presence as important variables, it appears that double observer method, autumn season, and presence of protected area seem to have consistently associated with higher density estimates similar to observed in blue sheep density estimates. One study conducted in Big Pamir, Pakistan, using direct observation found argali density of 0.1 per km² in summer and 0.2 per km² in winter [23], which is a lower estimate than the density of 5.5 per km² found in Ikh Nart Nature Reserve, Mongolia [24]. Despite the fact, reported argali densities decreased with an increase

in elevation. This could be because high-elevation areas above 4500 meters and elevation areas are covered with snow cover. The survey season also seems to influence reported density estimates with the autumn season showing higher density than other seasons, as with blue sheep.

Ibex

Unlike blue sheep and argali, the top model fitted to model variation in reported density estimates included the size of the study area and season as important factors. Although the 95% confidence of effect size overlapped zero, indicating high uncertainty in the estimated effect size, an increase in the size of the sampling area resulted in lower density estimates for ibex. This phenomenon of high-density estimates in smaller sampling areas has also been observed in density estimates of snow leopards [25]. A study in Gansu Anxi Extreme-Arid Desert Nature Reserve using the point count method found ibex density 4.3 per km² in autumn [26], but the survey area was 8.4 km². The survey area also has an influence on reported density estimates with the small area showing higher detection than a large area.

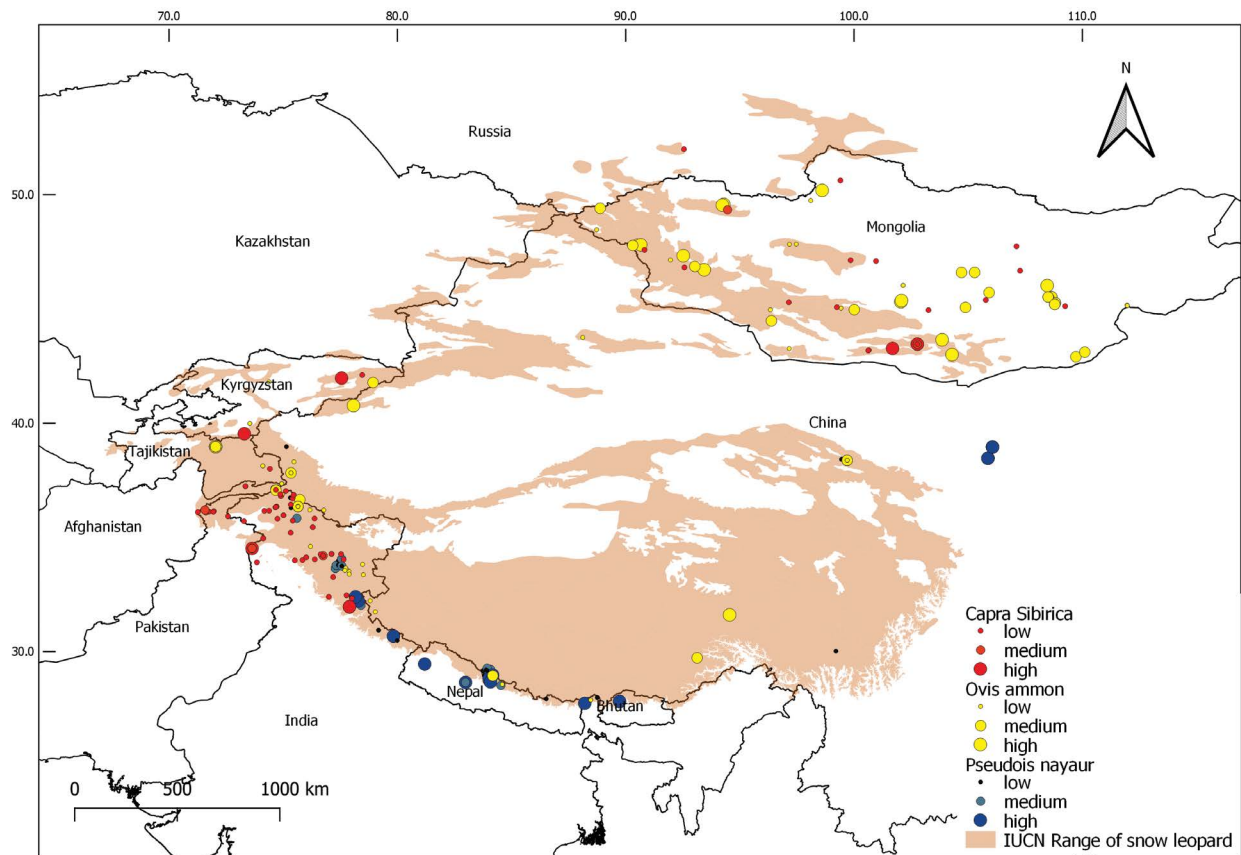


Fig. 2. Density estimates of argali (*Ovis ammon*), ibex (*Capra Sibirica*) and blue sheep (*Pseudois nayaur*)

Methodological challenges in density estimation

Accurate estimation of animal density is always a challenging task. This is particularly so in species that live in rugged and harsh terrain where there are lots of logistical challenges, and those challenges cause violation of assumptions of contemporary survey methodologies. For example, while robust in estimating tropical ungulates, line transect distance sampling assumptions are hard to meet in the mountainous terrain where ungulates like ibex, argali and blue sheep live.

While all three form of survey and estimation methods: total count, double observer, and distance sampling are in use, these methods produced considerably different density estimates. Out of these three method designs, the double observer method produces estimates with low bias for given level of total survey effort and provides more accurate estimates. However, multiple researchers have suggested that planning survey design methodology should be done based on the characteristics of the study area (plain vs rugged), study species biology, level of expertise available, season of the survey, and field logistics available, and most importantly the objective of the study [15]. The objective of the survey is perhaps the most paramount of all of these considerations. Suppose the survey objective is to compare relative abundance rather than accurate density in two sites. In that case, the survey methodology need not have to be superstatistically robust, but should be important consideration across sites or over time.

Accounting for imperfect detection is one of the biggest problems that could be caused by season, time, observers' skill, landscape terrain, elevation, protected and unprotected landscape and species biology [5]. Similarly, the size of the sampling areas has been consistently brought up in the discussion in multiple papers because sampling small but good-quality habitats can disproportionately inflate the actual density estimates of the species.

Environmental factors associated with density estimates

This review found that multiple environmental factors influence the reported density estimates of the three ungulate species. For blue sheep, elevation was negatively correlated with density, suggesting that blue sheep prefer lower altitudes. This could also be due to terrain ruggedness as high elevation areas are generally highly rugged and such rugged areas may have a low detection rate, not necessarily the low abundance of blue sheep. Overall, the study sites that overlapped with or occurred within the presence of protected areas had relatively higher blue sheep density, although this effect was not significant statistically. Furthermore, our result indicated that blue sheep density varied seasonality,

with autumn exhibiting higher density estimates than other seasons. Similarly, elevation and the presence of snow leopards were found to impact density estimates of argali negatively. The preference for lower elevations may be attributed to more favorable foraging conditions [27] and reduced predation risk like snow leopards and wolves [7]. Seasonal variations in argali density were also evident with winter and autumn exhibiting higher estimates, possibly due to changes in resources availability and predation pressure. A critical finding of this review is that for all three species, reported density estimates were consistently higher in the autumn season. All of these three species generally rut in autumn or pre-winter congregating in large herds, and this could be one of the reasons to the higher density estimates.

Limitations of the study

The variability in density estimates compiled in this review paper could also have been influenced by factors not considered by respective researchers. We modeled the reported variability density estimates using the standard regression model approach and accounting for different variables reported by the studies. However we acknowledge that the variability reported in density estimates could be mainly due to the methodological differences in the study system, sampling area, and study methodology rather than actual differences in density per se. It is largely impossible to distinguish this, but this review does offer important insights into how different factors such as study method, size of sampling area, and sampling season are associated with the density estimates.

Conservation and management implications

The wild ungulate population across much of the snow leopard range is threatened by multiple threats of land use change, forage competition with livestock, diseases, hunting, and poaching. Thus, their conservation planning and management must be informed by reliable estimates of their population size and density status. Using robust sampling and estimation methods and following best practices and standardization of the sampling protocols thus become necessary to guide effective conservation planning across the species range. In this systematic review, we sought to compile studies conducting population density estimates of the main prey species of snow leopard across its range and understand what ecological, environmental, and survey methodology factors explain their variation. Overall, we found considerable variation in reported density estimates of ibex, blue sheep, and argali. Our multiple linear regression modeling revealed that much of the variation was associated with survey and estimation methodology, including the survey season. This high variability in reported density

estimates thus suggests that a standardization of survey and estimation methodology is imperative to ensure that density estimates are comparable to make inferences in habitat quality and effectiveness of the conservation interventions. Such standardization should account for differences and commonalities in species distribution and landscape characteristics in the species range.

Acknowledgement

I would like to thank Prof. Dr. Tim Coulson, Department of Zoology, University of Oxford, for hosting me for this internship and helping me to learn systematic literature review. Also, I would like to thank Kulbhushan Suryawanshi, Gopal Khanal and Altanchimeg Dorjsuren for their support. I also would like to thank SCCS Cambridge, Department of Zoology, University of Cambridge for accepting my application and providing this opportunity. Lastly, I thank to my supervisors for helping me to apply this conference and internship. I would like to thank SCCS Miriam Rothschild Travel Bursary Programme for providing funding for the internship.

References

- [1] W. J. Ripple *et al.*, “Collapse of the world’s largest herbivores,” *Sci. Adv.*, vol. 1, no. 4, p. e1400103, May 2015, <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400103>
- [2] R. J. Hobbs, “Habitat Networks and Biological Conservation,” in *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*, K. J. Gutzwiller, Ed., New York, NY: Springer, 2002, pp. 150–170. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0059-5_9.
- [3] K. U. Karanth and M. E. Sunquist, “Prey Selection by Tiger, Leopard and Dhole in Tropical Forests,” *J. Anim. Ecol.*, vol. 64, no. 4, pp. 439–450, 1995, <https://doi.org/10.2307/5647>.
- [4] J. L. Fox, C. Nurbu, and R. S. Chundawat, “The mountain ungulates of Ladakh, India,” *Biol. Conserv.*, vol. 58, no. 2, pp. 167–190, Jan. 1991, [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(91\)90118-S](https://doi.org/10.1016/0006-3207(91)90118-S).
- [5] N. J. Singh and E. J. Milner-Gulland, “Monitoring ungulates in Central Asia: current constraints and future potential,” *Oryx*, vol. 45, no. 1, pp. 38–49, Jan. 2011, <https://doi.org/10.1017/S0030605310000839>.
- [6] G. B. Schaller, “Mountain Mammals in Pakistan,” *Oryx*, vol. 13, no. 4, pp. 351–356, Jul. 1976, <https://doi.org/10.1017/S0030605300014071>.
- [7] Ö. Johansson, T. McCarthy, G. Samelius, H. Andrén, L. Tumursukh, and C. Mishra, “Snow leopard predation in a livestock dominated landscape in Mongolia,” *Biol. Conserv.*, vol. 184, pp. 251–258, Apr. 2015, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.02.003>.
- [8] S. Lyngdoh, S. Shrotriya, S. P. Goyal, H. Clements, M. W. Hayward, and B. Habib, “Prey Preferences of the Snow Leopard (*Panthera uncia*): Regional Diet Specificity Holds Global Significance for Conservation,” *PLoS ONE*, vol. 9, no. 2, p. e88349, Feb. 2014, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088349>.
- [9] S. Bagchi, C. Mishra, and Y. V. Bhatnagar, “Conflicts between traditional pastoralism and conservation of Himalayan ibex (*Capra sibirica*) in the Trans-Himalayan mountains,” *Anim. Conserv.*, vol. 7, no. 2, pp. 121–128, 2004, <https://doi.org/10.1017/S1367943003001148>.
- [10] C. Mishra, S. E. Van Wieren, P. Ketner, I. M. A. Heitkönig, and H. H. T. Prins, “Competition between domestic livestock and wild bharal *Pseudois nayaur* in the Indian Trans-Himalaya,” *J. Appl. Ecol.*, vol. 41, no. 2, pp. 344–354, Apr. 2004, <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00885.x>.
- [11] J. Berger, B. Buuveibaatar, and C. Mishra, “Globalization of the Cashmere Market and the Decline of Large Mammals in Central Asia,” *Conserv. Biol.*, vol. 27, no. 4, pp. 679–689, Aug. 2013, <https://doi.org/10.1111/cobi.12100>.
- [12] R. M. Jackson, G. G. Ahlborn, P. Avenue, and M. Gurung, “Reducing livestock depredation losses in the Nepalese Himalaya,” 1996.
- [13] J. Haider, M. Z. Khan, M. Anwer, S. Ali, and H. Ali, “Population status and migration trends of Marco Polo argali (*Ovis ammon polii*) in Pakistan,” *Mammalia*, vol. 82, no. 5, pp. 481–485, Sep. 2018, <https://doi.org/10.1515/mammalia-2017-0121>.
- [14] M. Khanyari *et al.*, “Investigating parasite dynamics of migratory ungulates for sustaining healthy populations: Application to critically-endangered saiga antelopes *Saiga tatarica*,” *Biol. Conserv.*, vol. 266, p. 109465, Feb. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109465>.
- [15] K. R. Suryawanshi, Y. V. Bhatnagar, and C. Mishra, “Standardizing the double-observer survey method for estimating mountain ungulate prey of the endangered snow leopard,” *Oecologia*, vol. 169, no. 3, pp. 581–590, Jul. 2012, <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2237-0>.
- [16] C. F. Dormann *et al.*, “Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance,” *Ecography*, vol. 36, no. 1, pp. 27–46, Jan. 2013, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>.
- [17] D. R. Anderson and K. P. Burnham, “Avoiding Pitfalls When Using Information-Theoretic Methods,” *J. Wildl. Manag.*, vol. 66, no. 3, pp. 912–

- 918, 2002, <https://doi.org/10.2307/3803155>.
- [18] D. I. MacKenzie and L. L. Bailey, "Assessing the fit of site-occupancy models," *J. Agric. Biol. Environ. Stat.*, vol. 9, no. 3, pp. 300–318, Sep. 2004, <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1440-8>.
- [19] S. B. MacKenzie and P. M. Podsakoff, "Common Method Bias in Marketing: Causes, Mechanisms, and Procedural Remedies," *J. Retail.*, vol. 88, no. 4, pp. 542–555, Dec. 2012, <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2012.08.001>.
- [20] D. I. MacKenzie, J. D. Nichols, J. A. Royle, K. H. Pollock, L. Bailey, and J. E. Hines, *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Elsevier, 2017.
- [21] Lekki, P. Thinley, R. Rajaratnam, and R. Shrestha, "Establishing baseline estimates of blue sheep (*Pseudois nayaur*) abundance and density to sustain populations of the vulnerable snow leopard (*Panthera uncia*) in Western Bhutan," *Wildl. Res.*, vol. 45, no. 1, p. 38, 2018, <https://doi.org/10.1071/WR16218>.
- [22] Z. Liu, X. WANG, L. TENG, and L. CAO, "Food habits of blue sheep, *Pseudois nayaur* in the Helan Mountains, China," *Folia Zool.*, vol. 56, Jan. 2007.
- [23] R. B. Harris and D. H. Pletscher, "Incentives toward conservation of argali *Ovis ammon*: a case study of trophy hunting in western China," *Oryx*, vol. 36, no. 04, Oct. 2002, <https://doi.org/10.1017/S0030605302000728>.
- [24] M. R. Frisina and Y. Onon, "Population status of mongolian argali *Ovis ammon* with reference to sustainable use management," 2007.
- [25] K. Suryawanshi, M. Khanyari, K. Sharma, P. Lkhagvajav, and C. Mishra, "Sampling bias in snow leopard population estimation studies," *Popul. Ecol.*, vol. 61, Feb. 2019, <https://doi.org/10.1002/1438-390X.1027>.
- [26] Xinkang Bao, Mengjie Lu, Pengzu Pei, Liang Wang, Jianliang Li, and Jiaqi Li, "Investigation of bird and mammal diversity in the Gansu Anxi Extreme-arid Desert National Nature Reserve using infrared camera traps." Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.biodiversity-science.net/EN/abstract/abstract60955.shtml>
- [27] C. Odonjavkhlan *et al.*, "Factors affecting the spatial distribution and co-occurrence of two sympatric mountain ungulates in southern Mongolia," *J. Zool.*, vol. 314, no. 4, pp. 266–274, Aug. 2021, <https://doi.org/10.1111/jzo.12889>.



Тойм өгүүлэл

<https://doi.org/10.5564/pib.v39i1.3146>

PROCEEDINGS OF
PIB
THE INSTITUTE OF BIOLOGY

Төв Азийн туурайтан амьтдын нягтшилыг тооцоолох судалгааны аргазүйг стандартчилах тухай

Одонжавхлан ЧАГСАЛДУЛАМ¹ ба Муниб ХАНЫРИ²

¹Монгол Улс, Улаанбаатар, Шинжлэх ухааны академи, Биологийн хүрээлэн

²Бүгд Найрамдах Энэтхэг Улс, Майсор, Байгаль хамгаалах сан

³Бүгд Найрамдах Энэтхэг Улс, Ирвэс хамгаалах сан

*Холбоо барих зохиогч: chagsaldulam_o@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0002-7333-5261>

Хураангуй. Бид энэхүү системчилсэн тоймдоо цоохор ирвэсийн гол идэш тэжээлийг бүрдүүлдэг янгир ямаа (*Capra sibirica*), аргаль хонь (*Ovis ammon*), хөх хонь (*Pseudois nayaur*)-ы тоо толгойн элбэгшил, нягтшилыг тооцоолох аргазүйг нэгтгэн дүгнэхийг зорив. Бид эдгээр гурван туурайтны зүйлийн нягтшилын тооцоог 1960-2023 оны хооронд хэвлэгдсэн 126 өгүүлээс судлагдсан улс, газрын нэр, судалгаанд хамрагдсан талбайн хэмжээ, судалгаа хийсэн улирал, он жил, судалгааны арга (зайны тандалт, нийт тоо, хос ажиглалт гэх мэт), тусгай хамгаалалттай газар эсэх, өндөршил, цоохор ирвэстэй зэрэг мэдээллийг цуглуулсан. Үр дүнгээс үзэхэд хөх хонь (тархалт = 0.1-9.3 бодгаль/km²), янгир ямаа (тархалт = 0.006-6 бодгаль/km²), аргаль хонь (тархалт = 0.008-8 бодгаль/km²) байв. Эдгээр туурайтан амьтдын нягтшил нь байгалийн хүчин зүйлээс хамаарч өндөр хэлбэлзэлтэй байв. Регрессийн загвар (Regression model)-ийн үр дүн нь өндөршил, тусгай хамгаалалттай газар нутаг, судалгааны аргазүйгээс хамаараад хөх хонины нягтшил нь хэлбэлзэж байгааг харуулж байна. Янгир ямааны нягтшилын хувьд судалгааны талбайн хэмжээ, улирлаас хамааралтай байсан бол аргаль хонины нягтшилыг тогтооход өндөршил, улирал, судалгааны арга болон цоохор ирвэсээс хамаарч байна. Эдгээр үр дүн нь цоохор ирвэсийн гол идэш болох янгир ямаа (*Capra sibirica*), аргаль хонь (*Ovis ammon*), хөх хонь (*Pseudois nayaur*) туурайтны нягтшилыг тооцоход тулгарч буй асуудлуудыг шийдэхэд эергээр нөлөөлж, нягтшилыг тооцох олон ялгаатай аргазүйг нэгтгэх ойлголт өгч, цаашлаад байгаль хамгаалах үйл хэрэгт үнэтэй хувь нэмэр оруулна гэж үзэж байна.

Түлхүүр үгс: Янгир ямаа, аргаль хонь, хөх хонь, Төв Ази, нягтшилын тооцоолол, туурайтан

Хүлээн авсан 2023.10.31; хянан тохиолдуулсан 2023.11.02; зөвшөөрсөн 2023.11.13

© 2023 Зохиогчид. [CC BY-NC 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Оршил

Дэлхий даяар том биетэй өвсөн тэжээлтэн (>15 кг) амьтад нь амьдрах орчны хомсдол ба хуваагдал, хулгайн ан агнуурын улмаас тоо толгой буурч тархалт нь хумигдаж байна [1]. Туурайтан амьтад нь ургамал, шим тэжээлийн эргэлт, экологийн суваргын идэш тэжээлийн гинжин хэлхээнд нөлөөлж эрүүл экосистемийг хадгалахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг [2]. Мөн туурайтан амьтад нь махан идэшт ховордсон амьтдын гол идэш тэжээл тул тэдгээрийг хамгаалах нь байгаль хамгааллын хувьд чухал ач холбогдолтой.

Тиймээс туурайтан амьтдын хамгаалах, тэдэнд учруулах аюул заналыг ойлгох нь байгаль хамгаалалд нэн чухал асуудал юм [3]. Төв Ази болон Гималайн бүсэд хэд хэдэн ховор, нэн ховор янгир ямаа, аргаль хонь, хар сүүлт, илжиг, тахь, сарлаг, хавтгай, бөхөн, хөх хонь, маркор, чиру зэрэг 12 туурайтан амьтад оршдог [4]–[6]. Эдгээр зүйлүүд нь хуурай, тал хээрийн бэлчээрийг хадгалахаас гадна цоохор ирвэс, чоно зэрэг ховордож буй махчдын идэш тэжээл болдог [7], [8]. Сүүлийн 30 жил байгаль хамгаалах үйл ажиллагаа хүчтэй хөгжиж байгаа ч Төв Азийн

зэрлэг туурайтан амьтдад малын бэлчээр [9], [10], ноолууран бүтээгдэхүүний хэрэглээний өсөлт [11], хууль бус ан агнуур [12], амьдрах орчны хуваагдал [13], халдварт өвчин [14] зэрэг хүчин зүйлүүд сөргөөр нөлөөлж байна.

Ер нь аливаа амьтдын элбэгшил, нягтшил, популяцийн динамикийг мэдсэнээр тухайн амьтныг зүйлийн түвшинд хамгаалж чадна. Алслагдсан, хүрч очих боломжгүй бартаа саад ихтэй, эрс тэс уур амьсгалтай Төв Ази болон Гималайн нуруудын орчимд зүйлийн тархалт, элбэгшил, нягтшилыг нарийн судлан тогтооход тун бэрхшээлтэй байдаг.

Амьтдын популяцийн нягтшил нь байгаль хамгаалалд маш чухал параметр болдог. Гэвч туурайтан амьтдын тухайд өндөр уулын бүсийн бартаа саадтай газарт байршин, сүрэглэн амьдардаг, нягтшил багатай, нүүдэллэдэг зэргээс болж тэдгээрийн нягтшилыг үнэн бодитой тооцоолоход бэрхшээл учирдаг. Судлаачид зэрлэг туурайтан амьтдын популяцийн нягтшилыг тооцоолоходоо автомат камер, зайнаас тандан түүвэрлэх, мөрөөр шинжин судлах, хос ажиглалтын аргаар тоолох зэрэг хэд хэдэн арга зүй боловсруулан хэрэглэдэг. Эдгээр аргагүй нь туурайтан амьтдын нягтшилыг ихэвчлэн цоохор ирвэсийн идэш тэжээлтэй холбож л судалсан байдаг.

Сүүлийн үед судлаачид илрүүлэлтийг алдааг харгалзан үзэж хээрийн судалгааны аргыг стандартчилах гэж хичээж байгаа[15].

Аргаль хонь, янгир ямаа, хөх хонины экологи, биологийн талаарх ойлголт хангалттай байгаа хэдий ч тоо толгой, нягтшилыг судлах судалгааны аргагүйг тоймлон улам боловсронгуй болгох шаардлагатай байна.

Иймд бид цоохор ирвэсийн идэш тэжээл болдог 3 зүйл туурайтан сонгон, тэдгээрийн нягтшилыг тооцсон судалгааны аргагүй, судалгааны талбайн хэмжээ, өндөршил, улирал гэх мэт хүчин зүйлтэй уялдуулан, туурайтан амьтдыг судлах судалгааны аргагүйн өнөөгийн байдал, мэдлэг, судалгааны чиг хандлагыг тоймлов. Бидний гол зорилго нь цоохор ирвэсийн идэш болдог амьтдын нягтшилыг олон янзын аргагүйгээр тооцсон тооцооллыг нэгтгэн, судалгааны аргагүйд нөлөөлж буй нөлөөллийг үнэлэх, цаашид судалгааны аргагүйг стандартчилах ойлголтыг нэмэгдүүлэх явдал юм. Олон улсын ирвэс хамгаалах сангаас 2014 онд Ирвэс Хамгаалах Стратегийн хүрээнд хос ажиглалтын стандарт аргагүйг нэвтрүүлэх зөвлөмж гаргасан юм. Бидний таамаглалаар 2013 оноос хойш туурайтан амьтад дээр хийсэн судалгаанууд нь хос ажиглалтын аргагүйг судалгаандаа нэвтрүүлэн ашиглах боломж нэмэгдэж байгаа гэж үзэж байна.

Судалгааны материал, аргазүй

Мэдээлэл цуглуулах

Бид цоохор ирвэсийн гол гурван идэш тэжээл болох аргаль хонь, янгир ямаа болон хөх хонины тархалт, нягтшилын тооцооллыг тоймлов. 1959-2023 оны хооронд Web of Science-аас дараах түлхүүр үг ашиглан хайлт хийсэн: Аргаль хонь БА хамгаалал ЭСВЭЛ аюул занал БА статус БОЛОН популяци ЭСВЭЛ элбэгшил ЭСВЭЛ аргаль хонь, янгир ямаа, хөх хонины нягтшил. Дараа нь бид эдгээр гурван зүйлийн тархалт, нягтшилыг дурдсан, судалгаа хийсэн, иш татсан өгүүллүүдэд шүүлт хийсэн. Бид өгүүллээ сонгоходоо англи хэл дээр хэвлэгдсэн аргаль хонь, янгир ямаа, хөх хонины нягтшил болон тархалтыг тодорхойлсон, бүх өгүүллийг сонгосон. Нийтдээ Web of Science-аас 212 өгүүлэл цуглуулснаас 126 өгүүллийг сонгож, өгүүлэл тус бүрээс дараах мэдээллийг цуглуулсан. Үүнд: судлагдсан газар, улсын нэр, тусгай хамгаалалттай газар эсэх, судалгааны цаг хугацаа, улирал, аргазүй (зайнаас тандалт, нийт тоо, хос ажиглалт), талбайн хэмжээ, нягтшил, элбэгшил, өндөршил, цоохор ирвэстэй эсэх мэдээллүүд орсон. Хэрвээ өгүүлэлд нягтшилыг дурдаагүй бол бид популяцийн хэмжээг тухайн судалгааны нийт талбайд хувааж гаргаж авлаа.

Мэдээлэл боловсруулалт

Бидний сонгож авсан хувьсагч нь тоон шинж чанартай учраас нягтшилд нөлөөлж буй хүчин зүйлсийг загварчилж ойлгохын тулд шугаман регрессийг хэрэглэв. Аргаль хонь, янгир ямаа, хөх хонь тус бүр дээр сонгосон хувьсагчийг тайлбарлах боломжит 15 загвар (нэг буюу олонлог) зохиосон. Загварын коэффициентуудын үр нөлөөг тайлбарлах, загвар хооронд нь харьцуулахын тулд бүх хувьсагчдыг стандартчилав. Мөн Пирсоны корреляцийг ашиглан таамаглагч хувьсагчдын хоорондын хамаарлыг үнэлсэн. Ижил загварт хамааралтай ковариантуудыг (Pearson's $|r| > 0.7$) оруулаагүй [16]. Бүх загваруудаа Akaike мэдээллийн шалгуур (AIC) дээр үндэслэн эрэмбэлсэн [17]–[19]. $\Delta AIC < 2$ -той загваруудыг статистикийн хувьд ялгаатай гэж үзсэн. Бүх статистик боловсруулалтыг R 3.4.2 (R Development Core Team, 2017) -оор боловсруулав.

Үр дүн

Хөх хонь

Бидний судалгааны үр дүнд 1979-2023 оны хооронд хийсэн 45 судалгааны Бутан, Пакистан, Непал, Энэтхэг болон Хятад гэсэн 5 улсын хөх хонины нягтшилын мэдээлэл цуглуулсан. Нийт

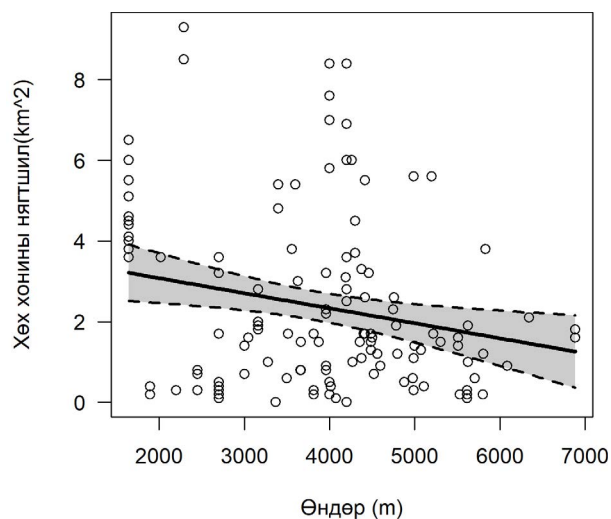
140 цэгэн мэдээлэл авсан. Эдгээр судалгаанууд хос ажиглалт, зайн тандалт болон нийт тоо гэсэн аргазүйг ашигласан байсан. Нийт өгүүллийн 90 орчим хувь нь 2004-2023 онд хэвлэгдсэн байна. Хамгийн их магадлалд суурилсан загварыг сонгоход хөх хонины нягтшилыг өндөршил болон аргазүй нь хамгийн сайн тайлбарлаж байв (хүснэгт 1, AIC жин =0.61). Хөх хонины нягтшил нь өндөршилтэй сөрөг хамааралтай ($\beta_{elev}(SE)=-0.008(0.0001)$) байна (1-р зураг). Харин тусгай хамгаалалттай газартай эерэг хамааралтай байна ($\beta_{pa}(SE)= 0.95(0.67)$).

Судалгааны аргазүйн хувьд хос ажиглалтын аргазүй нь нийт тоо болон зайнаас тандалтын аргазүйгээс илүү өндөршил нягтшилыг ($\beta_{DO}(SE)= 5.4(1.4)$) тооцоолон гаргасан байна. Хөх хонины нягтшилыг улирлаар авч үзвэл намрын улирал ($\beta_{autumn}(SE)= 2.6(0.4)$) нь нягтшилтай эерэг, өвөл, хавар, зуны улирал нь сөрөг хамааралтайг олж тогтоолоо.

Янгир ямаа

Янгир ямааны нягтшилд 1950-2023 оны хооронд хэвлэгдсэн 38 өгүүллээс 148 цэгэн мэдээлэл авсан бөгөөд Орос, Узбекистан, Туркменистаны янгир ямааны судалгааны мэдээлэл шаардлага хангахгүй байв. Хамгийн их магадлал суурилсан загварын үр дүнгээс харахад янгир ямааны

нягтшил нь судалгааны талбайн хэмжээ болон улирлаас ихээхэн хамааралтай байна (хүснэгт 2, AIC жин =0.45%). Нягтшил нь судалгааны талбайн хэмжээтэй сөрөг хамааралтай ($B_{area}(SE)=-0.2(2.7)$) байсан ч статистикийн хувьд ач холбогдолгүй байв. Мөн үүнтэй ижил цоохор ирвэс нь янгир ямааны нягтшилын тооцооллоотой сөрөг хамааралтай ($B_{snow leopard}(SE)=-0.3(0.28)$) хэдий ч статистикийн хувьд мөн



1-р зураг. Хөх хонины нягтшил ба өндөршлийн хамаарал

1-р хүснэгт. Хөх хонины *Pseudois nayaur* нягтшилын хамаарлын загварчлал

Хөх хонь	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt	ModelLik
elev+method	5	497.45	0	0.61	0.61
elev+area+method	6	498.64	1.19	0.34	0.95
elev+season+method	8	502.83	5.39	0.04	0.99
elev+pa+sl	5	505.56	8.11	0.01	1

Akaike's information criteria (AIC), difference in AIC (delta AIC), Akaike жин, параметрийн тоо (K) and хазайлт (Maximum likelihood) зэргийг хүснэгтэд үзүүлэв. Товчилсон үгс: өндөршил(elev), аргазүй (method), судалгааны газрын хэмжээ (area), тусгай хамгаалалттай газар (pa), and цоохор ирвэс (sl).

2-р хүснэгт. Янгир ямааны *Capra sibirica* нягтшилын хамаарлын загварчлал

Янгир ямаа	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt	ModelLik
area+season	6	227.94	0	0.45	0.45
area+season+pa+method	9	228.92	0.97	0.27	0.72
area+season+pa	7	229.82	1.88	0.17	0.9
area+season+pa+meth+elev	10	231.33	3.39	0.08	0.98
area+season+pa+meth+elev+sl	11	233.93	5.98	0.02	1

Akaike's information criteria (AIC), difference in AIC (delta AIC), Akaike жин, параметрийн тоо (K) and хазайлт (Maximum likelihood) зэргийг хүснэгтэд үзүүлэв. Товчилсон үгс: өндөршил(elev), аргазүй (method), судалгааны газрын хэмжээ (area), тусгай хамгаалалттай газар (pa), and цоохор ирвэс (sl).

3-р хүснэгт. Аргаль хонины *Capra sibirica* нягтшилын хамаарлын загварчлал

Аргаль хонь	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt	ModelLik
pa+area+season+method	9	228.92	0	0.36	0.36
area+elev+season	7	229.52	0.6	0.27	0.63
area+sl+season	7	230.3	1.38	0.18	0.81
pa+area+season+method	8	230.97	2.05	0.13	0.94
null	2	232.57	3.65	0.06	1

Akaike's information criteria (AIC), difference in AIC (delta AIC), Akaike жин, параметрийн тоо (K) and хазайлт (Maximum likelihood) зэргийг хүснэгтэд үзүүлэв. Товчилсон үгс: өндөршил(elev), аргазүй (method), судалгааны газрын хэмжээ (area), тусгай хамгаалалттай газар (pa), and цоохор ирвэс (sl).

л ач холбогдолгүй байна. Судалгааны аргазүйн хувьд нийт тооллогын аргазүйгээр янгир ямааны нягтрал өндөр тооцоологдсон байна. Судалгааны газар нь тусгай хамгаалалттай байгаа эсэх нь янгир ямааны нягтшилд төдийлөн нөлөө үзүүлээгүй. Харин нягтшил нь улирлаас хамаарч байгаа нь ажиглагдав. Топ загвараас үзэхэд намар янгир ямааны нягтшилтай эерэг (β_{autumn} (SE)= 1.6(0.3)) харин бусад улирлууд нь сөрөг хамааралтай байв.

Аргаль хонь

1960-2023 оны хооронд хэвлэгдсэн 43 өгүүлээс 144 цэгэн мэдээлэл цуглуулсан. Афганистан, Пакистан, Энэтхэг, Непал, Монгол, Хятад, Казакстан, Тажикстан зэрэг орны янгир ямааны мэдээллийг нэгтгэв. Аргаль хонины нягтшилын топ загвар нь тусгай хамгаалалттай газар нутаг, судалгааны талбайн хэмжээ, улирал, аргазүй юм (**хүснэгт 3**, $AIC_{\text{жин}} = 0.36\%$). Аргаль хонины нягтшил нь өндөршил (β_{elev} (SE)= -8.5(7.3)) ба цоохор ирвэс (β_{sl} (SE)= -0.3(0.4))-тэй сөрөг хамааралтай байна. Улирлын хувьд авч үзвэл хавар (β_{spring} (SE) = 0.3(0.3)) хамгийн бага нягтшил тооцоологдсон хэдий ч өвөл (β_{winter} (SE)=1.6(0.3) болон намар (β_{aut} (SE)= 0.5(0.1)) нягтшил өндөртэй байв. Мөн тусгай хамгаалалттай ба тусгай хамгаалалтад ороогүй газар нутагт нягтшил нь ялгаатай байсан боловч статистикийн хувьд ач холбогдолгүй байна. Үүнээс гадна, хос ажиглалтын аргазүй нь аргаль хонины нягтшилтай эерэг хамааралтай байна.

Хэлэлцүүлэг

Бид цоохор ирвэсийн идэш тэжээл болох аргаль хонь, янгир ямаа ба хөх хонины тархац, нягтшилын мэдээг хэвлэлийн мэдээ баримтаас цуглуулан нэгтгэж, боловсруулав. Үүний үр дүнд гурван туурайтны нягтшил нь тархац нутгаас хамаараад өөр өөр байгааг олж тогтоолоо (**2-р зураг**). Нягтшилд

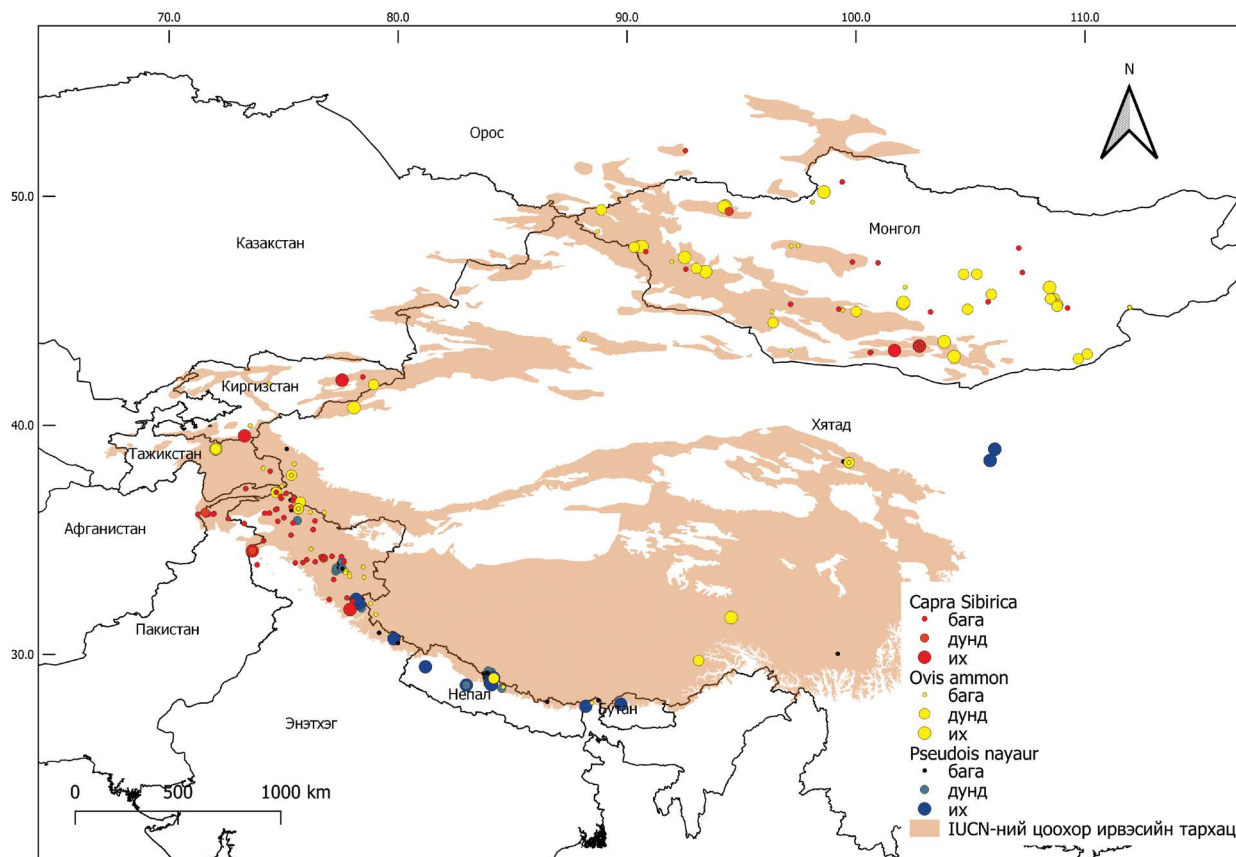
нөлөөлж буй хүчин зүйлс болон судалгааны аргазүйг стандартчилах, тэдгээрийг хамгаалах хамгааллын талаар доор хэлэлцүүлэв.

Хөх хонь

Судалгаанд ашигласан аргазүй, өндөршил нь хөх хонины нягтшилын хэлбэлзэлд нөлөөлж байв (Хүснэгт 1). Ялангуяа хос ажиглалтын аргазүй нь хөх хонины нягтшилтай шууд хамааралтай байна. Хос ажиглалтын аргазүйгээр илрүүлэлтийн алдааг тооцдог тул хуурамч сөрөг гарах магадлалыг бууруулдаг байх боломжтой юм [15]. Цэгэн тооллого, харах цэгийн тоо зэрэг судалгааны аргууд нь илрүүлэлтийн алдааг тооцдоггүй учир сүрэг, бодгалийг орхих магадлал маш өндөр. Мөн хээрийн судалгааны үед газрын хэвгий, өндөршил, уулын бартаа, үзэгдэх орчин, судлаачийн туршлага зэргээс хамаараад популяци дахь бүх бодгалийг тоолох боломжгүй [20]. Jigme Dorji байгалийн цогцолборт газарт хөх хонины тооллогыг хос ажиглалтын аргазүйгээр хийсэн судалгаагаар өвөл 8.51 бодгаль/km² ба зун 9.32 бодгаль/km² [21] гэж тогтоосон нь Хятадын Хелен Уулын бүс орчимд хийсэн судалгаанаас илүү өндөр тооцоологдсон байна[22]. Үүнээс үзэхэд, хөх хонины нягтшил нь өндөршил нэмэгдэх тусам багасаж байна. Энэ нь магадгүй 4500 метрээс дээш оршдог Түвдийн өндөрлөг бартаа саад ихтэй, өвөл цас ордгоос хамаардаг байж болох юм. Мөн намар хөх хонины нягтшил илүү тохиолдсон нь цаг уурын тааламжтай, тааламжгүй байдал нь улирлаар нягтшил хэлбэлзэхэд нөлөөлж болох юм.

Аргаль хонь

Аргаль хонины тухайд АIC шалгуурт үндэслэсэн топ загварт улирал, тусгай хамгаалалттай газар, судалгааны арга, өндөрлөг, цоохор ирвэс зэрэг хувьсагч багтсан. Хос ажиглалтын аргазүй, намар, тусгай хамгаалалттай газар нутаг зэрэг нь хөх хонины нягтшилын тооцоололд ажиглагдсан



2-р зураг. Аргаль хонь (*Ovis ammon*), янгир ямаа (*Capra sibirica*) болон хөх хонины (*Pseudois nayaur*) нягтшилыг үзүүлэв.

шиг өндөр нягтшилтай байнга холбоотой байна. Пакистаны Биг Памирд шууд ажиглалтын аргаар хийсэн судалгаагаар аргаль хонины нягтшил нь зундаа 0.1 бодгаль/ km^2 , өвөлдөө 0.2 бодгаль/ km^2 [23] байхад Монголын Их Нарт Байгалийн нөөц газарт 5.5 бодгаль/ km^2 их нягтшилтай байсан [24]. Гэсэн хэдий ч өндөршил нэмэгдэхэд аргаль хонины нягтшил буурч байна. Энэ нь мөн адил уулын өндөршил, цаг уур, улирлын онцлогоос хамаарах бүрэн боломжтой юм.

Янгир ямаа

Янгир ямааны хувьд улирал, судалгааны талбайн хэмжээ чухал хүчин зүйл болж байв. Судалгааны талбайн хэмжээ нэмэгдэхэд янгир ямааны нягтшил буурч байгаа ч 95 % -ийн үнэмшил нь тэгтэй давхцаж байгаа нь тодорхойгүй хүчин зүйлс их гэдгийг илтгэж байна. Цоохор ирвэсийн энэ төрлийн судалгаанд үүнтэй ижил үр дүн гарч байв [25]. Gansu Anxi Extreme-Arid Desert Байгалийн цогцолборт газрын 8.4 km^2 талбайд цэгэн тооллогын аргаар янгир ямааны нягтшилыг үзэхэд 4.3 бодгаль/ km^2

байсан[26]. Энэ нь мөн судалгааны талбайн хэмжээ нь янгир ямааны нягтшилд нөлөөлж байгааг харуулж байна.

Нягтшилыг тооцоолох аргазүйн асуудлууд

Аливаа амьтдын популяцийн нягтшилыг тооцоолох нь бэрхшээлтэй юм. Ялангуяа өндөр уулын, нүүдэллэж амьдардаг амьтдын нягтшилыг тооцоолоход нэн хүндрэлтэй байдаг. Жишээлбэл: халуун орны туурайтан амьтдыг судалдаг зайнаас тандалтын аргазүй нь янгир ямаа, аргаль хонь, хөх хонь зэрэг өндөр уулын бүсэд амьдардаг туурайтан амьтдыг судлахад ашиглах боломжгүй юм. Учир нь өндөр уулын бүс нь үзэгдэх зах хязгаарлагдмал, бартаа саад ихтэй учир хүрэх боломж хомс зэргээс хамаараад илрүүлэлтийн алдаа маш өндөр гарна.

Иймд судлаачид судалгааны зорилго, зорилт, хээрийн судалгааны логистик, судалгаа хийх улирал, талбайн онцлог дээр үндэслэн судалгааны загвар төлөвлөгөөгөө боловсруулах нь чухал юм [15].

Ер нь нийт тоо, хос ажиглалт, зайнаас тандалт хэмээх судалгааны аргууд нь амьтдын нягтшилын

тооцооллыг нэлээд зөрүүтэй гаргаж байна. Үүнээс хос ажиглалтын аргазүйг авч үзвэл тус аргазүй нь тухайн популяци хаалттай байх, аль болох богино цаг хугацааг зарцуулах гэх мэт үндсэн мөрдөх судалгааны загвар төлөвлөгөөтэй байдаг. Мөн ажиглагчийн илрүүлэлтийн алдааг тооцдог ороо судалгааны нийт өгөгдлийн өгөгдсөн түвшинд хамгийн бага хазайлттай байхаар тооцоог гаргаж өгдөг онцлогтой юм.

Илрүүлэлтийн алдаа нь улирал, цаг хугацаа, ажиглагчийн туршлага, газарзүйн онцлог шинж чанар, өндөршил, тухайн амьтны биологийн онцлог зэргээс хамаардаг [5]. Үүнтэй нэгэн адил судалгааны талбайн хэмжээ бага бөгөөд тухайн амьтны амьдрах таатай орчин сонгон судалгаа хийх нь бодит нягтаршлыг хэтрүүлэн өсгөж магадгүй тул санамсаргүй буюу түүврийн аргаар судалгааны талбайг сонгох нь зүйтэй юм.

Нягтшилыг тооцоолоход хүрээлэн буй орчны нөлөөлөл

Хүрээлэн буй орчны олон хүчин зүйлс туурайтан амьтдын нягтшилыг тооцоход нөлөөлдөг болохыг тогтоолоо. Хөх хонины нягтшил нь өндөршилтэй шууд хамааралтай байгаа нь тэд нам дор газрыг илүүд үздэг байж болохыг харуулж байна. Үүнээс гадна газрын саад бартаа, хүн хүрэх боломжгүй байдал зэргээс шалтгаалан хөх хонийг илрүүлэх магадлал бага байгаагаас шалтгаалж болно. Статистикийн хувьд ач холбогдол багатай ч гэсэн тусгай хамгаалалттай газарт хийсэн судалгаанд хөх хонины нягтшил нь өндөр байв. Улмаар хөх хонины нягтшил нь улирлын шинж чанартай тэр дундаа намар илүү нягтшилтай байсан. Үүний нэгэн адил цоохор ирвэс, газрын өндөршил нь аргаль хонины нягтшилд сөрөг нөлөөлж байна. Магадгүй нам дор газар нь тус амьтны хувьд идэш тэжээлийн илүү таатай нөхцөлтэй[27], махчин амьтдын эрсдэл бага[7] байхтай холбоотой байж болох юм. Улирлаар аргаль хонины нягтшил хэлбэлзэж байгаа нь идэш тэжээлийн нөөц, махчин амьтдын идэвх зэргээс шалтгаалж байгаа нь илт байв.

Дээрх гурван зүйлийн туурайтны нягтшилд хүрээлэн буй орчны нөлөөлөл их байна. Ялангуяа улирлаас маш их хамааралтай байлаа. Бидний үр дүнгээр намар нягтшилын судалгааг хийвэл илүү үр дүнтэй гэж гарлаа. Энэ нь судлаачдын судалгаа хийсэн улирал, тухайн амьтдын сүрэлгэх, үржлийн үетэй давхцадагтай холбоотой байж болох юм.

Судалгааны хязгаарлагдмал байдал

Энэхүү тоймд эмхэтгэсэн нягтшилын хэлбэлзэл нь тухайн судлаачдын тооцоолоогүй хүчин зүйлээс

шалтгаалж байж болно. Бид нягтшилыг стандарт регрессийн загварыг ашиглан судалгаа бүрд дурдсан хүчин зүйлийг оруулахыг хичээж загварчиллаа. Гэсэн хэдий ч нягтшилын тооцоо нь судалгааны аргазүй, талбайн хэмжээнээс шууд шалтгаалж байлаа. Мөн эдгээр хүчин зүйлсийг хооронд нь ялгах бараг боломжгүй боловч, энэ системчилсэн тоймоороо судалгааны аргазүй, судалгааны талбай, улирал гэх мэт хүчин зүйлтэй нягтшил нь хэрхэн холбогдож байгаа талаар ойлголт өгөхийг зорьсон.

Байгаль хамгаалал ба менежмент

Цоохор ирвэс тархалттай газар нутгийн ихэнх хэсэгт туурайтан амьтад амьдардаг. Эдгээр амьтдын тоо толгой нь гэрийн малын амьдрах орчны давхцал, өвчин, ан агнуур, уул уурхай гэх мэт хүчин зүйлсээс хамаарч байна. Иймээс туурайтан амьтдын тоо толгой ба нягтшилыг үнэн зөв мэдээллийг олж тогтоож байх нь хамгааллын төлөвлөгөө, менежментэд чухал юм. Төрөл зүйлийн тархцыг хамгаалах, төлөвлөгөө боловсруулах цаашид удирдан чиглүүлэхийн тулд судалгааны аргазүйг стандартчилах, гарын авлага гаргах нь нэн тэргүүний чухал асуудал байна. Энэхүү үр дүнгээрээ бид цоохор ирвэсийн гол гурван идэш тэжээлт амьтад болох аргаль хонь, янгир ямаа хөх хонины популяцийн нягтшилаар хийсэн судалгааг нэгтгэх, тэдгээрийг экологи, байгаль орчны хүчин зүйлээр тайлбарлахыг хичээлээ. Нягтшилыг үнэнд ойрхон тооцоолон гаргах нь тэдгээрийн амьдрах орчин, хамгаалах зөв арга, төлөвлөгөө боловсруулахад ач холбогдолтой юм. Иймд судалгаа, тооцооллын нэгдсэн аргазүйтэй байх шаардлагатайг харуулж байна. Судалгааны нэгдсэн аргазүйг боловсруулахдаа тухайн зүйлийн тархац нутаг, газарзүйн ялгаатай шинж чанар гэх мэт нийтлэг байдлыг харгалзан үзэх нь зүйтэй.

Талархал

Энэхүү системчилсэн тоймыг бичих аргазүйг зааж сургасан Оксфордын Их Сургуулийн Амьтан судлалын тэнхимийн эрхлэгч, Prof. Dr. Tim Coulson, болон тусалж дэмжиж байдаг багш Kulbhushan Suryawanshi, Gopal Khanal, Алтанчимэг Доржсүрэн нартаа талархал илэрхийлье.

Кембрижийн их сургуулийн Амьтан судлалын тэнхим, SCCS Cambridge хамт олонд, SCCS Miriam Rothschild Travel Bursary Programme хамт олонд талархал илэрхийлж байна.

Ашигласан бүтээл

[1] W. J. Ripple *et al.*, “Collapse of the world’s largest

- herbivores,” *Sci. Adv.*, vol. 1, no. 4, p. e1400103, May 2015, <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400103>
- [2] R. J. Hobbs, “Habitat Networks and Biological Conservation,” in *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*, K. J. Gutzwiller, Ed., New York, NY: Springer, 2002, pp. 150–170. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0059-5_9.
- [3] K. U. Karanth and M. E. Sunquist, “Prey Selection by Tiger, Leopard and Dhole in Tropical Forests,” *J. Anim. Ecol.*, vol. 64, no. 4, pp. 439–450, 1995, <https://doi.org/10.2307/5647>.
- [4] J. L. Fox, C. Nurbu, and R. S. Chundawat, “The mountain ungulates of Ladakh, India,” *Biol. Conserv.*, vol. 58, no. 2, pp. 167–190, Jan. 1991, [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(91\)90118-S](https://doi.org/10.1016/0006-3207(91)90118-S).
- [5] N. J. Singh and E. J. Milner-Gulland, “Monitoring ungulates in Central Asia: current constraints and future potential,” *Oryx*, vol. 45, no. 1, pp. 38–49, Jan. 2011, <https://doi.org/10.1017/S0030605310000839>.
- [6] G. B. Schaller, “Mountain Mammals in Pakistan,” *Oryx*, vol. 13, no. 4, pp. 351–356, Jul. 1976, <https://doi.org/10.1017/S0030605300014071>.
- [7] Ö. Johansson, T. McCarthy, G. Samelius, H. Andrén, L. Tumursukh, and C. Mishra, “Snow leopard predation in a livestock dominated landscape in Mongolia,” *Biol. Conserv.*, vol. 184, pp. 251–258, Apr. 2015, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.02.003>.
- [8] S. Lyngdoh, S. Shrotriya, S. P. Goyal, H. Clements, M. W. Hayward, and B. Habib, “Prey Preferences of the Snow Leopard (*Panthera uncia*): Regional Diet Specificity Holds Global Significance for Conservation,” *PLoS ONE*, vol. 9, no. 2, p. e88349, Feb. 2014, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088349>.
- [9] S. Bagchi, C. Mishra, and Y. V. Bhatnagar, “Conflicts between traditional pastoralism and conservation of Himalayan ibex (*Capra sibirica*) in the Trans-Himalayan mountains,” *Anim. Conserv.*, vol. 7, no. 2, pp. 121–128, 2004, <https://doi.org/10.1017/S1367943003001148>.
- [10] C. Mishra, S. E. Van Wieren, P. Ketner, I. M. A. Heitkönig, and H. H. T. Prins, “Competition between domestic livestock and wild bharal *Pseudois nayaur* in the Indian Trans-Himalaya,” *J. Appl. Ecol.*, vol. 41, no. 2, pp. 344–354, Apr. 2004, <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00885.x>.
- [11] J. Berger, B. Buuveibaatar, and C. Mishra, “Globalization of the Cashmere Market and the Decline of Large Mammals in Central Asia,” *Conserv. Biol.*, vol. 27, no. 4, pp. 679–689, Aug. 2013, <https://doi.org/10.1111/cobi.12100>.
- [12] R. M. Jackson, G. G. Ahlborn, P. Avenue, and M. Gurung, “Reducing livestock depredation losses in the Nepalese Himalaya,” 1996.
- [13] J. Haider, M. Z. Khan, M. Anwer, S. Ali, and H. Ali, “Population status and migration trends of Marco Polo argali (*Ovis ammon polii*) in Pakistan,” *Mammalia*, vol. 82, no. 5, pp. 481–485, Sep. 2018, <https://doi.org/10.1515/mammalia-2017-0121>.
- [14] M. Khanyari *et al.*, “Investigating parasite dynamics of migratory ungulates for sustaining healthy populations: Application to critically-endangered saiga antelopes *Saiga tatarica*,” *Biol. Conserv.*, vol. 266, p. 109465, Feb. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109465>.
- [15] K. R. Suryawanshi, Y. V. Bhatnagar, and C. Mishra, “Standardizing the double-observer survey method for estimating mountain ungulate prey of the endangered snow leopard,” *Oecologia*, vol. 169, no. 3, pp. 581–590, Jul. 2012, <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2237-0>.
- [16] C. F. Dormann *et al.*, “Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance,” *Ecography*, vol. 36, no. 1, pp. 27–46, Jan. 2013, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>.
- [17] D. R. Anderson and K. P. Burnham, “Avoiding Pitfalls When Using Information-Theoretic Methods,” *J. Wildl. Manag.*, vol. 66, no. 3, pp. 912–918, 2002, <https://doi.org/10.2307/3803155>.
- [18] D. I. MacKenzie and L. L. Bailey, “Assessing the fit of site-occupancy models,” *J. Agric. Biol. Environ. Stat.*, vol. 9, no. 3, pp. 300–318, Sep. 2004, <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1440-8>.
- [19] S. B. MacKenzie and P. M. Podsakoff, “Common Method Bias in Marketing: Causes, Mechanisms, and Procedural Remedies,” *J. Retail.*, vol. 88, no. 4, pp. 542–555, Dec. 2012, <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2012.08.001>.
- [20] D. I. MacKenzie, J. D. Nichols, J. A. Royle, K. H. Pollock, L. Bailey, and J. E. Hines, *Occupancy estimation and modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Elsevier, 2017.
- [21] Lekki, P. Thinley, R. Rajaratnam, and R. Shrestha, “Establishing baseline estimates of blue sheep (*Pseudois nayaur*) abundance and density to sustain populations of the vulnerable snow leopard (*Panthera uncia*) in Western Bhutan,” *Wildl. Res.*, vol. 45, no. 1, p. 38, 2018, <https://doi.org/10.1071/WR16218>.
- [22] Z. Liu, X. WANG, L. TENG, and L. CAO, “Food habits of blue sheep, *Pseudois nayaur* in the Helan Mountains, China,” *Folia Zool.*, vol. 56, Jan. 2007.
- [23] R. B. Harris and D. H. Pletscher, “Incentives toward conservation of argali *Ovis ammon*: a case study of trophy hunting in western China,” *Oryx*, vol. 36, no. 04, Oct. 2002, <https://doi.org/10.1017/S0030605302000728>.
- [24] M. R. Frisina and Y. Onon, “Population status of mongolian argali *Ovis ammon* with reference to sustainable use management,” 2007.
- [25] K. Suryawanshi, M. Khanyari, K. Sharma, P. Lkhagvajav, and C. Mishra, “Sampling bias in snow leopard population estimation studies,” *Popul. Ecol.*, vol. 61, Feb. 2019, <https://doi.org/10.1002/1438-390X.1027>.
- [26] Xinkang Bao, Mengjie Lu, Pengzu Pei, Liang Wang, Jianliang Li, and Jiaqi Li, “Investigation of bird and mammal diversity in the Gansu Anxi Extreme-arid Desert National Nature Reserve using infrared camera traps.” Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.biodiversity-science.net/EN/abstract/abstract60955.shtml>
- [27] C. Odonjavkhan *et al.*, “Factors affecting the spatial distribution and co-occurrence of two sympatric mountain ungulates in southern Mongolia,” *J. Zool.*, vol. 314, no. 4, pp. 266–274, Aug. 2021, <https://doi.org/10.1111/jzo.12889>.