

海拔和坡向对伊犁河谷草地土壤理化性质的影响

尼加提·乃合买提¹, 艾克拜尔·伊拉洪^{1*}, 张文太¹, 赛牙热木·哈力甫²

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆土壤与植物生态过程自治区级重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052; 2. 东北林业大学, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 [目的]研究海拔和坡向对伊犁河谷草地土壤性质的影响。[方法]以新疆伊犁昭苏和察布查尔县海拔1 400~2 800 m不同剖面草地土壤为研究对象,探讨海拔和坡向对草地土壤性质的影响。[结果]南坡不同海拔全氮(0.33~3.24 g/kg)在1 400~2 000 m随海拔升高而增加,其后在2 200~2 800 m显著降低($P<0.05$),硝态氮(1.43~76.33 mg/kg)、铵态氮(22.84~110.17 mg/kg)在1 400~2 800 m随海拔升高而显著降低($P<0.05$),与海拔呈显著负相关($P<0.05$)。北坡不同海拔全氮(0.08~1.13 g/kg)在1 400~2 800 m随海拔升高而降低。铵态氮(27.96~132.73 mg/kg)在1 400~1 800 m随海拔升高而显著增加($P<0.05$),其后在2 000~2 800 m显著降低($P<0.05$)。硝态氮(0.73~13.8 mg/kg)在1 400~2 800 m随海拔升高而增加。除北坡相同海拔相同土层铵态氮大于南坡外,全氮、硝态氮及其他理化性质均呈南坡大于北坡。南坡海拔与含水量、全氮呈正相关,北坡海拔与含水量、容重、硝态氮呈正相关。[结论]该研究对伊犁草原生态保护、土壤氮循环和退化生态系统恢复重建具有一定的理论意义和实践指导价值。

关键词 无机态氮;海拔;坡向;土层厚度;土壤物理性质

中图分类号 S 153 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)19-0129-08

Effect of Elevation and Slope Direction on Soil Physical and Chemical Properties of Grassland in Yili Valley

Nijati · Naihemaitei, Aikebaier · Yilahong*, ZHANG Wen-tai et al (College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Xinjiang Key Laboratory of Soil and Plant Ecological Process Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830052)

Abstract [Objective] To study effect of elevation and slope direction on soil properties of grassland in Ili Valley. [Method] Grassland soil samples were collected at altitudes of 1 400~2 800 m of Zhaosu and Chabuchar county, Ili, Xinjiang, were analyzed the effect of different altitude and slope to properties of gassland soil. [Result] The TN of south slope (0.33~3.24 g/kg) increased with the increasing of the altitude from 1 400 to 2 000 m, and then decreased with increasing of the altitude from 2 200 to 2 800 m. Nitrate nitrogen (1.43~76.33 mg/kg) and ammonium nitrogen (22.84~110.17 mg/kg) decreased with the increasing of altitude from 1 400 m to 2 800 m, and negative correlated with elevation. The TN of north slope (0.08~1.13 g/kg) decreased with the increasing of altitude from 1 400 m to 2 800 m. Ammonium nitrogen (27.96~132.73 mg/kg) increased with increasing of altitude from 1 400 m to 1 800 m, and then decreased with increasing of altitude from 2 000 m to 2 800 m. Nitrate nitrogen of north slope (0.73~13.8 mg/kg) increased with increasing of altitude from 1400 m to 2800. Except from the ammonium nitrogen at same altitude and soil depth of north slope higher than south slope, the TN, nitrate nitrogen and other physical and chemical properties of south slope were higher than north slope. According to the correlation analysis, in south slope the elevation was positively correlated with WC and TN, in north slope the elevation was positively correlated with WC, bulk density and nitrate nitrogen. [Conclusion] The study has certain theoretical significance and practical guiding value for ecological protection, soil nitrogen cycle and restoration and reconstruction of degraded ecosystem in Yili grassland.

Key words Inorganic nitrogen; Altitude; Soil layers; Slope; Soil physical properties

土壤作为生态系统中重要的生态因子,在水平及垂直地带性上受外界不同环境的影响,无机态氮与理化性质空间异质性明显^[1]。土壤氮含量是土壤肥力的因素之一,影响地上植物的生长发育、数量、多样性及土壤中的微生物量及土壤酶活性。土壤有机质和全氮量的多少,直接影响草地的产草量,从而间接地影响草地载畜能力^[2],因此草原土壤氮含量的降低也是引起草原退化的因素之一。草地是地球上分布最广的植被类型之一^[3],由于草地生态系统是最重要的陆地生态系统,并低的氮输入和部分人为干扰,成为研究自然生态系统氮循环的重要场所^[4-6]。根据土壤化学原理,土壤氮分为两大形态:有机态氮和无机态氮^[7]。无机态氮包括铵态氮和硝态氮,由于无机态氮直接被植物吸收利用,且易受外界环境的影响,因此研究无机态氮与土壤物理性质之间的相关性成为主要研究课题^[8]。随着计算机技术的进步,运算能

力增强,模型的广泛应用,对土壤空间异质性的研究越来越重视^[9]。王政权等^[10]研究表明,土壤无机态氮与理化性质空间异质性受气候、母岩、地形、植被、坡向、动物以及区域差异的影响^[11-13]。草地生态系统中地上、地下资源的有效性呈高度的时空异质性,存在很强的空间异质性规律^[14]。

新疆天然草地面积辽阔,资源丰富,总面积 5 725.87 万 hm^2 ,占全国草地总面积的 14.60%,占新疆国土总面积的 34.44%,居全国第 3 位^[15-16]。昭苏县天然草地面积为 527 991.7 hm^2 ,是全疆的优质牲畜种源基地。察布查尔锡伯自治县是新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州直属县之一^[17],草地面积为 266 824.53 hm^2 。察布查尔县和昭苏县具有不同的降雨量、植被类型、土壤类型、温度等环境条件。因此按照不同坡向来研究无机态氮与理化性质空间异质性以及它们之间的相关性,可能呈现明显的差异性。笔者选择昭苏与察布查尔县草地土壤为研究对象,研究了土壤无机态氮与理化性质空间异质性及它们之间的相关性,分析伊犁草地土壤无机态氮与理化性质在不同海拔高度、坡向、土壤剖面层次下垂直分布特征与趋向,以期对伊犁草原生态保护、土壤氮循环和退化生态系统恢复重建提供理论依据和实践价值。

基金项目 国家自然科学基金项目“新疆典型草原土壤厚度空间变异和退化程度关系与原因”(41461048)。**作者简介** 尼加提·乃合买提(1990—),男,维吾尔族,新疆伊宁人,硕士研究生,研究方向:土壤生态学。*通讯作者,教授,博士,从事土壤化学与植物营养学研究。**收稿日期** 2018-04-12

1 材料与方

1.1 研究区概况 试验在伊犁草原区域上进行(昭苏县和察布查尔县为主)(图1)。昭苏县位于新疆伊犁哈萨克自治州西南部,特克斯—昭苏盆地西段($80^{\circ}08' \sim 81^{\circ}30' E, 43^{\circ}09' \sim 43^{\circ}15' N$)。昭苏盆地年均气温 $2.0 \sim 2.5^{\circ}C$, 年均降水量 $500 \sim 650 mm$, 其中 60% 集中于 6—8 月, 年蒸发量 $1\ 000 mm$ 左右, 干燥度 1.0。察布查尔县($80^{\circ}31' \sim 81^{\circ}43' E, 43^{\circ}17' \sim 43^{\circ}57' N$)属于大陆性北温带温和干旱气候, 年均气温 $7.9^{\circ}C$, 年均降水量 $206 mm$ 。昭苏县和察布查尔县天然草地面积分别为 $527\ 991.70, 266\ 824.53\ hm^2$, 是全疆优质牲畜种源基地, 以游牧方式利用草地资源, 因草地载畜量过重、草地利用和管理措施不当而引起不同程度草地的退化。研究区物种组成见表 1。

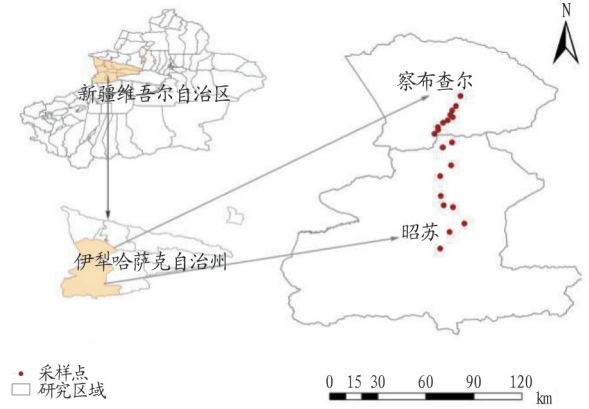


图 1 研究区采样点分布

Fig. 1 The distribution map of sampling points

表 1 研究区物种组成

Table 1 Introduction of sample plots

采样地点 Sampling points	植被类型 Vegetation types	地理坐标 Geographical coordinates	海拔高度 Altitude Grassland//m	草地土壤类型 Soil types
荒漠草原 Desert grassland	小山蒜 <i>Allium pallasii</i> Murray. 角果黎 <i>Ceratocarpus arenarius</i> Linn. 伊犁绢蒿 <i>Seriphidium transiliense</i> 葶苈 <i>Draba nemorosa</i>	$43^{\circ}11'46''N$ $81^{\circ}7'38''E$	1 400~1 700	山地草原土
典型草原 Typical grassland	老鹳草 <i>Erodium wilfordii</i> Maxim. 灰绿黎 <i>Chenopodium glaucum</i> L. 车前 <i>Plantago asiatica</i> L. 野草莓 <i>Fragria vesca</i> L. 野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> 细叶鸢尾 <i>Iris tenuifolin</i> Pall. 雨衣草 <i>Alchemilla japonica</i> N& H. 铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i> . 箭头唐松草 <i>Thalictrum simplex</i> L. 千叶蓍 <i>Achillea millefolium</i> . 鹤虱 <i>Carpesium abrotanoides</i> L. 沙生针茅 <i>Stipa glareosa</i> P. Smirn.	$42^{\circ}44'10''N$ $81^{\circ}3'98''E$	1 700~2 200	森林草原土
高寒草原 Alpine grassland	伊犁绢蒿 <i>Seriphidium terrae</i> Poljak. 葶苈 <i>Draba nemorosa</i> 苔草 <i>Carex moorcroftii</i> Falc. 红三叶 <i>Trifolium pretense</i> L. 洽草 <i>Koeleria cristata</i> (L)Pers. 蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i> Hand.	$43^{\circ}36'22''N$ $81^{\circ}01'78''E$	2 200~2 800	亚高山草甸土

1.2 野外采样与分析 2016年7—8月通过查阅大量相关文献、卫星地图搜索、信息咨询以及野外踏查和GPS定位等手段,在伊犁昭苏(南坡)和察布查尔县(北坡)草地上从1 400~2 800 m每200 m设置采样地,各坡向共设置8个采样地,共挖48个草地土壤剖面。每个剖面按从下往上40~60、20~40、0~20 cm土层分别收集土样并剔除植物根系、石块、新侵入体后混匀,通过4分法将1 kg左右混合土样装入布袋,带回实验室风干后,过1.00(18目)、0.25 mm(60目)筛用于各氮素形态的测定。

土壤全氮采用凯氏定氮法(自动凯氏定氮仪K9840)测定;土壤硝态氮采用酚二磺酸比色法测定;土壤铵态氮采用靛酚蓝比色法测定^[16]。

1.3 数据处理 试验数据采用Microsoft Excel 2017进行初

步整理;经过SPSS 20.0统计分析软件进行不同海拔和坡向各氮素形态的单因素方差分析(ONE-WAY ANOVA),LSD多重比较法进行差异显著性分析,Pearson相关系数评价相关因子之间的关系。按每一个样点的地理位置,通过ArcGIS 10.2进行统计,并制作采样点分布图。

2 结果与分析

2.1 海拔和坡向对伊犁草地土壤理化性质垂直变化的影响 由表2~4可知,南坡草地土壤含水量、容重、pH随海拔梯度的变化:0~20 cm土层时,分别为10.89%~33.03%、0.53~1.61 g/cm³、6.14~8.42;20~40 cm土层时,分别为11.2%~33.55%、0.75~1.35 g/cm³、6.25~8.5;40~60 cm土层时,分别为9.17%~41.62%、0.81~1.4 g/cm³、6.72~8.26。北坡草地土壤含水量、容重、pH随海拔梯度的变化:0~20 cm

土层时,分别为 10.54%~22.09%、1.12~1.48 g/cm³、5.46~8.55;20~40 cm 土层时,分别为 9.32%~22.39%、0.91~1.31 g/cm³、5.12~8.5;40~60 cm 土层时,分别为 6.96%~22.66%、0.61~1.27 g/cm³、6.15~8.55。

0~20 cm 土层时,除南坡海拔 1 400、1 800、2 200 m 处草地土壤含水量显著小于北坡外($P<0.05$),其余海拔草地土壤含水量呈南坡显著大于北坡($P<0.05$)。除南坡海拔 1 400、2 000、2 400、2 600、2 800 m 处草地土壤容重显著小于北坡外,其余海拔草地土壤容重呈南坡显著大于北坡。除南坡海拔 1 400、2 200、2 800 m 处草地土壤 pH 小于北坡外,其余海拔草地土壤 pH 呈南坡大于北坡。

20~40 cm 土层时,除南坡海拔 1 800、2 000 m 处草地土

壤含水量显著小于北坡外,其余海拔含水量呈南坡大于北坡。在海拔 1 400~1 800 m 处南坡草地土壤容重大于北坡,在海拔 2 000~2 800 m 处南坡草地土壤容重显著小于北坡。除南坡海拔 1 400、2 200、2 800 m 处草地土壤 pH 小于北坡外,其余海拔草地土壤 pH 呈南坡显著大于北坡。

40~60 cm 土层时,在海拔 1 800~2 200 m 处南坡草地土壤含水量显著小于北坡,其余海拔草地土壤含水量呈南坡显著大于北坡。在海拔 1 400~2 000 m 处南坡草地土壤容重显著大于北坡,海拔 2 200~2 800 m 南坡草地土壤容重小于北坡。除南坡海拔 1 400、1 800、2 000、2 800 m 处草地土壤 pH 显著小于北坡外,其余海拔草地土壤 pH 呈南坡显著大于北坡($P<0.05$)。

表 2 南北坡草地 0~20 cm 土层土壤理化性质垂直分布特征

Table 2 Spatial variability of soil physical properties of south and north slope at 0~20 cm

海拔 Altitude	含水量 Water content//%		容重 Bulk density//g/cm ³		pH	
	南坡	北坡	南坡	北坡	南坡	北坡
	South slope	North slope	South slope	North slope	South slope	North slope
1 400	10.89±0.38 aB	15.45±0.02 cA	1.23±0.12 bcA	1.33±0.04 bcA	7.82±0.01 cB	8.55±0.01 eA
1 600	12.50±0.35 abA	10.54±0.01 aB	1.61±0.11 cA	1.12±0.01 aB	8.42±0.00 dA	8.39±0.02 eA
1 800	13.97±0.43 bA	14.14±0.09 bA	1.35±0.17 cA	1.17±0.02 aA	7.92±0.00 cA	7.51±0.03 cB
2 000	20.58±0.15 cA	18.16±0.15 dB	0.86±0.04 abB	1.48±0.05 cA	8.30±0.00 dA	5.46±0.03 ab
2 200	12.49±0.40 abB	17.93±0.02 bA	1.25±0.01 bcA	1.24±0.01 abA	6.99±0.00 bB	8.47±0.00 eA
2 400	23.52±0.36 dA	13.83±0.03 bB	0.53±0.01 aB	1.36±0.03 bcA	7.10±0.06 bA	6.43±0.05 bB
2 600	29.98±0.39 eA	14.14±0.14 bB	0.84±0.03 abB	1.35±0.02 bcA	8.38±0.00 dA	8.06±0.04 dB
2 800	33.03±0.03 fA	22.09±0.11 eB	0.82±0.02 abB	1.13±0.02 aA	6.14±0.18 aB	8.16±0.01 dA

注:同列不同小写字母表示不同海拔土壤物理性质之间差异显著($P<0.05$)

Notes: The different small letters in the same column represent the significant difference between soil physical properties of different altitudes ($P<0.05$)

表 3 南北坡草地 20~40 cm 土层土壤理化性质垂直分布特征

Table 3 Spatial variability of soil physical properties of south and north slope at 20~40 cm

海拔 Altitude	含水量 Water content//%		容重 Bulk density//g/cm ³		pH	
	南坡	北坡	南坡	北坡	南坡	北坡
	South slope	North slope	South slope	North slope	South slope	North slope
1 400	11.20±0.08 aA	9.32±0.02 aB	1.35±0.08 dA	0.91±0.03 aB	7.76±0.05 bB	8.48±0.02 fA
1 600	15.46±0.38 bA	10.04±0.02 bB	1.06±0.10 bcdA	1.05±0.03 abcA	8.50±0.00 eA	8.50±0.01 fA
1 800	12.20±0.12 aB	13.58±0.08 dA	1.16±0.02 bcdA	1.11±0.07 abcA	8.23±0.02 dA	7.38±0.01 bB
2 000	11.58±0.24 aB	21.05±0.05 fA	1.21±0.03 cdA	1.31±0.02 abcA	8.19±0.01 dA	5.12±0.01 ab
2 200	12.93±0.40 aA	11.83±0.03 cA	1.02±0.08 abcA	1.03±0.08 abB	7.96±0.05 cB	8.44±0.01 fA
2 400	33.55±0.27 dA	17.44±0.02 eB	0.75±0.04 aB	1.19±0.05 bcA	7.65±0.10 bA	6.28±0.01 bB
2 600	32.60±0.78 cdA	13.58±0.08 dB	0.95±0.02 abcA	1.02±0.01 abA	8.23±0.01 dA	7.24±0.01 cB
2 800	30.76±0.63 cA	22.39±0.15 gB	0.86±0.03 abB	1.11±0.06 abcA	6.25±0.00 aB	8.05±0.01 eA

注:同列不同小写字母表示不同海拔土壤物理性质之间差异显著($P<0.05$)

Notes: The different small letters in the same column represent the significant difference between soil physical properties of different altitudes ($P<0.05$)

表 4 南北坡草地 40~60 cm 土层土壤理化性质垂直分布特征

Table 4 Spatial variability of soil physical properties of south and north slope at 40~60 cm

海拔 Altitude	含水量 Water content//%		容重 Bulk density//g/cm ³		pH	
	南坡	北坡	南坡	北坡	南坡	北坡
	South slope	North slope	South slope	North slope	South slope	North slope
1 400	12.62±0.82 bA	6.96±0.04 aB	1.40±0.04 eA	1.12±0.01 bcdB	8.02±0.01 dB	8.36±0.01 fA
1 600	16.03±0.21 cA	9.01±0.01 bB	1.12±0.01 cdA	1.07±0.03 bcA	8.24±0.03 eB	8.51±0.03 gA
1 800	9.30±0.13 aB	12.53±0.10 cA	1.35±0.02 eA	0.94±0.04 bB	8.20±0.03 eA	7.46±0.01 cB
2 000	9.17±0.13 aB	22.66±0.05 gA	1.38±0.01 eA	1.27±0.03 dA	7.85±0.01 cB	8.03±0.05 eA
2 200	13.45±0.25 bB	19.18±0.11 eA	0.98±0.02 bcB	1.23±0.02 cdA	8.24±0.05 eA	7.70±0.01 dB
2 400	41.62±0.75 fA	18.00±0.06 dB	0.81±0.01 aB	1.10±0.04 bcdA	8.26±0.01 eA	6.15±0.01 ab
2 600	23.67±0.40 eA	22.09±0.11 fB	0.90±0.01 abB	1.00±0.05 bA	7.13±0.04 bA	7.13±0.01 bA
2 800	20.76±0.19 dA	19.55±0.17 eB	1.26±0.05 deA	0.61±0.04 aB	6.72±0.02 aB	7.96±0.01 eA

注:同列不同小写字母表示不同海拔土壤物理性质之间差异显著($P<0.05$)

Notes: The different small letters in the same column represent the significant difference between soil physical properties of different altitudes ($P<0.05$)

2.2 海拔和坡向对草地土壤全氮垂直变化的影响 由图2可知,0~20、20~40、40~60 cm土层时,南坡草地土壤全氮含量在1 400~2 200 m随海拔升高而显著上升($P<0.05$),且在2 200 m处达到最大,分别为3.24、1.76、1.12 g/kg,随后在2 400~2 800 m全氮含量随海拔升高显著下降($P<0.05$),并在2 800 m处降至最小,分别为1.15、0.70、0.33 g/kg。

0~20 cm土层时,北坡草地土壤全氮含量在1 400~1 800 m随海拔升高而增加,且在1 800 m处达到最大,为1.13 g/kg,其后在2 000~2 800 m随海拔升高而下降,且在2 800 m处降至最小值0.38 g/kg。

20~40 cm土层时,北坡草地土壤全氮含量在1 400~1 600 m随海拔升高而升高,并在1 600 m处达到最大值0.87 g/kg,随后在2 000~2 800 m全氮含量随海拔升高而下降,且在2 800 m处降至最小值0.22 g/kg。

40~60 cm土层时,北坡草地土壤全氮含量在1 400~2 800 m随海拔升高而下降,且从1 400 m处的最大值0.47 g/kg降至2 800 m处的最小值0.08 g/kg。

除0~20 cm土层时,海拔1 400 m处北坡全氮含量大于南坡外,其余海拔全氮含量均为南坡大于北坡。

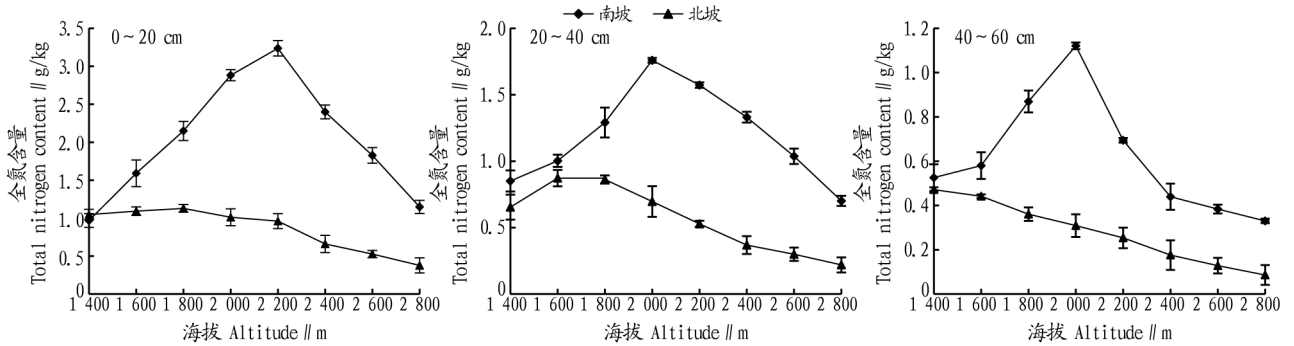


图2 南北坡不同海拔与不同土层草地土壤全氮含量

Fig.2 Grassland soil total nitrogen of sunny and shady slope among different altitudes

2.3 海拔和坡向对草地土壤铵态氮垂直变化的影响 由图3可知,0~20 cm土层时,除北坡1 800、2 000、2 200 m处草地土壤铵态氮大于南坡外,其余海拔草地土壤铵态氮呈南坡大于北坡。南坡草地土壤铵态氮(41.07~110.17 mg/kg)在1 400~2 800 m随海拔升高而降低($P<0.05$)。北坡草地土壤铵态氮在1 400~2 800 m随海拔升高先增加后降低,且在1 800 m处达到最大值132.73 mg/kg,在2 800 m处降至最小值30.84 mg/kg。

20~40 cm土层时,除南坡1 400、2 400、2 800 m处草地土壤铵态氮大于北坡外,其余海拔草地土壤铵态氮呈北坡大于南坡。南坡草地土壤铵态氮(30.84~84.90 mg/kg)在

1 400~2 800 m随海拔升高而降低。北坡草地土壤铵态氮随海拔升高先增加后降低,并在1 800 m处达到最大值100.57 mg/kg,在2 800 m处降至最小值28.76 mg/kg。

40~60 cm土层时,除南坡1 400 m处草地土壤铵态氮大于北坡外,其余海拔草地土壤铵态氮呈北坡大于南坡。南坡草地土壤铵态氮(27.64~81.86 mg/kg)在1 400~2 800 m随海拔升高而下降。北坡草地土壤铵态氮在1 400~1 800 m随海拔升高而上升,且在1 800 m处达到最大值83.3 mg/kg,其后在2 000~2 800 m随海拔升高而下降,并在2 800 m处降至最小值27.96 mg/kg。

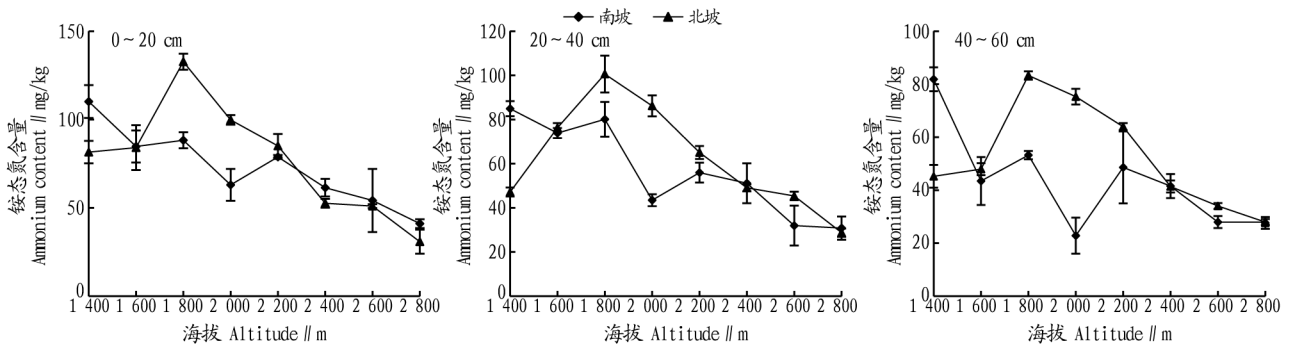


图3 南北坡不同海拔与不同土层草地土壤铵态氮含量

Fig.3 Grassland soil ammonium nitrogen of sunny and shady slope among different altitudes

2.4 海拔和坡向对草地土壤硝态氮垂直变化的影响 由图4可知,0~20、20~40、40~60 cm土层时,南坡草地土壤硝态氮在1 400~2 800 m随海拔升高而显著降低,且在海拔1 400 m处出现最大值分别为5.21、2.73、1.49 mg/kg,在2 800 m处出现最小值,分别为76.33、45.44、21.42 mg/kg。

北坡草地土壤硝态氮在1 400~2 800 m随海拔升高而增加,且在海拔1 400 m处出现最小值,分别为2.46、1.43、0.94 mg/kg,在海拔2 800 m处达到最大值,分别为13.8、11.48、6.07 mg/kg。各层土壤硝态氮在海拔1 400~2 600 m呈南坡大于北坡。

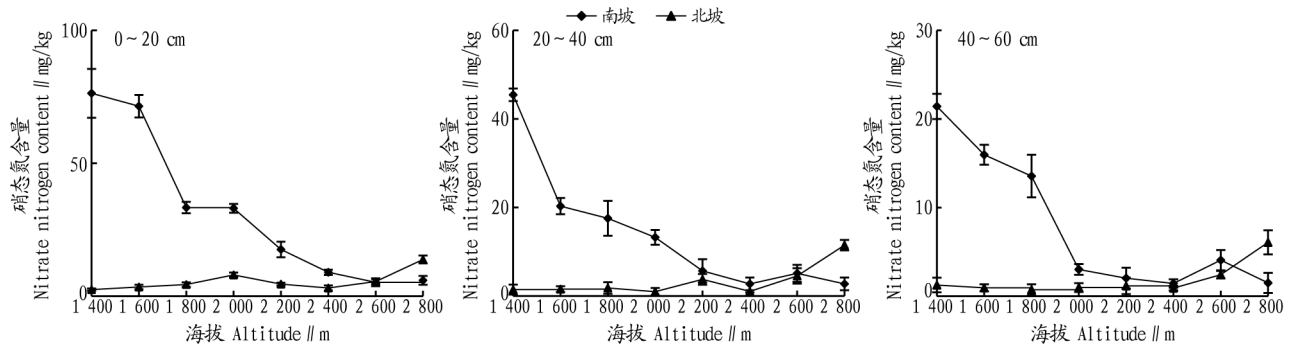


图4 南北坡不同海拔与不同土层土壤硝态氮含量

Fig. 4 Soil nitrate nitrogen content comparison of the different soil layers at the different altitudes

2.5 南坡草地土壤无机态氮与理化性质的相关性 由表5~7可知,0~20 cm土层时,硝态氮、铵态氮、容重、有机质与海拔呈负相关,即随海拔的升高而降低,铵态氮、硝态氮随海拔增加而显著下降($P < 0.01, r = -0.929^{**}, -0.936^{**}$),含水量与海拔呈正相关($P < 0.01, r = 0.896^{**}$),即随海拔升高而显著上升。铵态氮、硝态氮与含水量呈显著负相关($r = -0.920^{**}, r = -0.756^{*}$),与pH、容重呈正相关。20~40 cm土层时,海拔与铵态氮、硝态氮呈显著负相关($r = -0.914^{**}, r = -0.766^{*}$),与有机质、pH、全氮、容重呈负相关,即上述指

标随海拔升高而下降。含水量与容重呈负相关($P < 0.01, r = -0.862^{**}$),与海拔呈正相关($P < 0.05, r = 0.818^{*}$),与pH、全氮、铵态氮、硝态氮呈负相关。有机质与含水量、pH呈负相关,与容重、全氮、铵态氮、硝态氮呈正相关。40~60 cm土层时,海拔与有机质、铵态氮、硝态氮呈负相关,即随海拔升高而显著下降($r = -0.854^{**}, r = -0.717^{*}, r = -0.711^{*}$),有机质与含水量呈负相关,与容重、pH、全氮、铵态氮、硝态氮呈正相关。含水量与容重、pH、全氮、铵态氮、硝态氮呈负相关,铵态氮与硝态氮呈正相关($P < 0.01, r = 0.874^{**}$)。

表5 南坡0~20 cm土层无机态氮与理化性质的相关性

Table 5 The correlation of soil inorganic nitrogen and physical and chemical properties of south slope at soil depth 0~20 cm

项目 Items	海拔 Altitude	有机质 SOM	含水量 WC	容重 BD	pH	全氮 TN	铵态氮 AN	硝态氮 NN
有机质 SOM	-0.220							
含水量 WC	0.896 ^{**}	-0.461						
容重 BD	-0.724 [*]	0.171	-0.761 [*]					
pH pH	-0.562	0.198	-0.368	0.380				
全氮 TN	0.13	0.877 ^{**}	-0.178	-0.135	0.054			
铵态氮 AN	-0.929 ^{**}	0.114	-0.920 ^{**}	0.701	0.397	0.135		
硝态氮 NN	-0.936 ^{**}	-0.010	-0.756 [*]	0.724 [*]	0.498	0.382	0.830 [*]	

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著相关

Note: * and ** represent 0.05 and 0.01 significance levels, respectively

表6 南坡20~40 cm土层无机态氮与理化性质的相关性

Table 6 The correlation of soil inorganic nitrogen and physical and chemical properties of south slope at soil depth 20~40 cm

项目 Items	海拔 Altitude	有机质 SOM	含水量 WC	容重 BD	pH	全氮 TN	铵态氮 AN	硝态氮 NN
有机质 SOM	-0.057							
含水量 WC	0.818 [*]	-0.359						
容重 BD	-0.810 [*]	0.015	-0.862 ^{**}					
pH pH	-0.577	0.589	-0.474	0.417				
全氮 TN	-0.076	0.940 ^{**}	-0.375	0.108	0.495			
铵态氮 AN	-0.914 ^{**}	-0.05	-0.696	0.632	0.443	0.049		
硝态氮 NN	-0.766 [*]	-0.464	-0.527	0.775 [*]	0.132	0.328	0.703	

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著相关

Note: * and ** represent 0.05 and 0.01 significance levels, respectively

2.6 北坡草地土壤无机态氮与理化性质的相关性 由表8~10可知,0~20 cm土层时,海拔与含水量、容重、硝态氮呈正相关,与有机质、pH、全氮、铵态氮呈负相关,即全氮与铵态氮随海拔升高而显著下降($r = -0.911^{**}, r = -0.707^{*}$)。

除有机质与pH、硝态氮呈负相关外,其余指标呈正相关,含水量与硝态氮呈正相关($P < 0.05, r = 0.814^{*}$),铵态氮与全氮呈正相关,即随全氮的增加而显著上升($P < 0.01, r = 0.895^{**}$)。20~40 cm土层时,海拔与有机质、pH、全氮、铵

态氮呈负相关,与含水量、容重、硝态氮呈正相关。全氮随海拔升高而显著下降($P < 0.01, r = -0.881^{**}$)。有机质与含水量、全氮、铵态氮呈正相关,与容重、硝态氮呈负相关。容重与pH呈负相关($P < 0.01, r = -0.869^{**}$),与含水量正相关($P < 0.05, r = 0.776^*$)。全氮与铵态氮呈正相关($P < 0.01, r = 0.856^{**}$),与硝态氮呈负相关。40~60 cm土层时,海拔与含水量、硝态氮呈正相关,与有机质、容重、pH、全

氮、铵态氮呈负相关,即含水量、全氮随海拔升高而显著下降($r = 0.812^*, r = -0.997^{**}$)。除有机质与硝态氮呈负相关外,与其余指标呈正相关。含水量与容重、pH、全氮、铵态氮呈负相关,与硝态氮呈正相关,即全氮随含水量增加而显著下降($P < 0.05, r = -0.812^*$)。全氮与铵态氮呈正相关,与硝态氮呈负相关。容重与硝态氮呈显著负相关($P < 0.01, r = -0.844^{**}$)。

表7 南坡40~60 cm土层无机态氮与理化性质的相关性

Table 7 The correlation of soil inorganic nitrogen and physical and chemical properties of south slope at soil depth 40~60 cm

项目 Items	海拔 Altitude	有机质 SOM	含水量 WC	容重 BD	pH	全氮 TN	铵态氮 AN	硝态氮 NN
有机质 SOM	-0.052							
含水量 WC	0.534	-0.675						
容重 BD	-0.516	0.457	-0.773*					
pH pH	-0.699	0.487	-0.090	-0.052				
全氮 TN	-0.443	0.835**	-0.635	0.504	0.462			
铵态氮 AN	-0.717*	0.133	-0.218	0.284	0.516	0.071		
硝态氮 NN	-0.711*	0.132	-0.314	0.508	0.222	0.068	0.874**	

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著相关

Note: * and ** represent 0.05 and 0.01 significance levels, respectively

表8 北坡0~20 cm土层无机态氮与理化性质的相关性

Table 8 The correlation of soil inorganic nitrogen and physical and chemical properties of north slope at soil depth 0~20 cm

项目 Items	海拔 Altitude	有机质 SOM	含水量 WC	容重 BD	pH	全氮 TN	铵态氮 AN	硝态氮 NN
有机质 SOM	-0.675							
含水量 WC	0.524	-0.482						
容重 BD	0.018	-0.284	0.055					
pH pH	-0.120	-0.100	-0.090	-0.673				
全氮 TN	-0.911**	0.795*	-0.459	0.006	-0.039			
铵态氮 AN	-0.707*	0.875**	-0.329	0.012	-0.184	0.895**		
硝态氮 NN	0.646	-0.332	0.814*	-0.178	-0.108	-0.613	-0.440	

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著相关

Note: * and ** represent 0.05 and 0.01 significance levels, respectively

表9 北坡20~40 cm土层无机态氮与理化性质的相关性

Table 9 The correlation of soil inorganic nitrogen and physical and chemical properties of north slope at soil depth 20~40 cm

项目 Items	海拔 Altitude	有机质 SOM	含水量 WC	容重 BD	pH	全氮 TN	铵态氮 AN	硝态氮 NN
有机质 SOM	-0.648							
含水量 WC	0.664	-0.438						
容重 BD	0.293	-0.013	0.776*					
pH pH	-0.223	0.211	-0.631	-0.869**				
全氮 TN	-0.881**	0.849**	-0.489	0.004	0.061			
铵态氮 AN	-0.556	0.763*	-0.191	0.355	-0.281	0.856**		
硝态氮 NN	0.705	-0.408	0.486	-0.105	0.316	-0.673	-0.624	

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著相关

Note: * and ** represent 0.05 and 0.01 significance levels, respectively

3 讨论

3.1 土壤无机态氮与理化性质随土层厚度变化 研究表明,土壤理化性质在垂直地带性上存在明显分异特征^[9]。该研究结果表明,0~20 cm土层土壤无机态氮与理化性质优于中层(20~40 cm)和深层(40~60 cm),这可能是表层土壤植

被根系发达,土壤中水分含量丰富,植被覆盖度高,年度凋落物量多,形成大量有机质,在微生物积极活动下表层中丰富的有机质转化无机态氮。同时,腐殖质层变厚,使表层土壤比深层土壤更为疏松,孔隙度较高。南坡低海拔处,含水量随土壤剖面加深而增加,而在中和高海拔处,含水量随土壤

剖面加深而显著降低 ($P < 0.05$)。原因可能是,低海拔处地下水水位高,且土壤剖面较深,使土壤水分保持在深层。南坡各海拔土壤容重随土壤剖面加深而增加,上层与底层土壤容重差异显著 ($P < 0.05$),中层与底层土壤容重相近 ($P > 0.05$),原因可能是上层土壤腐殖质层厚,土壤孔隙度较高,较疏松。南坡 pH 在 1 400~2 000 m 随土壤剖面加深而降低,上层与底

层土壤 pH 差异显著 ($P > 0.05$),而在 2 200~2 800 m pH 随土壤剖面加深而显著增加 ($P < 0.05$),原因可能是,高海拔处温度低,水分蒸发量少,因植被覆盖度小,即根系不发达而水分消耗量少。在土层深度上,除非毛管孔隙度、渗透性能外,其余各项指标均呈较强的分异特征。

表 10 北坡 40~60 cm 土层无机态氮与理化性质的相关性

Table 10 The correlation of soil inorganic nitrogen and physical and chemical properties of north slope at soil depth 40~60 cm

项目 Items	海拔 Altitude	有机质 SOM	含水量 WC	容重 BD	pH	全氮 TN	铵态氮 AN	硝态氮 NN
有机质 SOM	-0.726*							
含水量 WC	0.812*	-0.704						
容重 BD	-0.493	0.364	-0.012					
pH	-0.536	0.637	-0.446	-0.004				
全氮 TN	-0.997**	0.731*	-0.812*	0.473	0.586			
铵态氮 AN	-0.483	-0.104	-0.051	0.500	0.123	0.478		
硝态氮 NN	0.678	-0.287	0.322	-0.844**	0.112	-0.650	-0.632	

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著相关

Note: * and ** represent 0.05 and 0.01 significance levels, respectively

北坡 1 400~1 800 m 含水量随土壤剖面加深而显著降低 ($P < 0.05$), 2 000~2 800 m 含水量随土壤剖面加深而显著增加 ($P < 0.05$), 原因可能是阴坡降雨量少, 较干旱, 低海拔处温度高, 土壤蒸发较强, 而高海拔处温度较低, 土壤水分蒸发较弱。土壤容重在海拔 1 400~2 800 m 随土壤剖面加深而上升, 原因可能是表层土壤植物根系发达, 孔隙度高, 腐殖质层厚, 土壤较为疏松。北坡 pH 随土壤剖面加深而降低, 上层与底层 pH 差异显著 ($P < 0.05$), 中层与底层 pH 相近 ($P > 0.05$), 原因可能是, 北坡中和高海拔土壤含水量随土层厚度增加而增加, 含水量较高使 pH 低。由此可见, 在土层深度上, 南北坡无机态氮与物理指标与李明明^[18] 在黄土高原小流域上, 黄文娟等^[19] 在鼎湖山 5 种森林土壤上, 钟国辉等^[20] 在西藏米拉山区域土壤上, 王斌等^[21] 在贺兰山西坡不同海拔梯度土壤上进行的, 研究结果一致。

3.2 土壤无机态氮与物理性质沿海拔梯度变化 杨帆等^[22] 研究了迭部扎孔那地区山地土壤的垂直分带性, 认为扎孔那地区土壤山地特征非常明显, 随海拔升高呈规律性垂直分布特征, 何方永等^[23] 研究了岷江冷杉原始林土壤物理性质与海拔梯度的关系, 认为土壤物理性质随海拔梯度变化突出。目前, 土壤无机态氮与物理性质空间异质性研究大部分集中于森林土壤, 而草原土壤上进行的, 研究鲜见报道。该研究结果表明, 阳坡典型草原土壤, 同一土层厚度时, 除全氮随海拔升高呈先升高后降低趋势外, 硝态氮、铵态氮随海拔升高而减少, 且与海拔呈极显著负相关 ($P < 0.01$)。原因可能是随海拔升高南坡温度降低, 土壤水分含量增加而土壤通气性变差, 抑制植物根系的发达, 也抑制微生物和其他土壤动物的活动性而减少回归土壤的凋落物量, 降低土壤腐殖质转化成矿化氮的速度。北坡草地土壤, 同一土层厚度时, 全氮和铵态氮低海拔处随海拔升高而上升, 但中和高海拔处随海拔升高而降低, 且与海拔呈显著负相关 ($P < 0.05$), 这可能是北坡中海拔处土壤水分不足, 土壤 pH 偏高, 抑制土壤微生物的生

长, 而表层土壤凋落物不能按时腐烂分解和转化无机态氮。高海拔处温度低, 空气稀少, 土壤湿度高而植物稀少等原因造成氮含量的下降。

南坡土壤物理性质中, 含水量与海拔呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 即随海拔升高而上升, 这是由于昭苏县年度降雨量较高所引起的, 且随海拔升高温度降低, 土壤水分蒸发速度较慢。容重与海拔呈显著负相关 ($P < 0.05$), 容重与含水量呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 这可能是随海拔升高温度降低, 植物群落变少, 植物根系不能长入土壤深层, 水分增加, 土壤孔隙度降低, 土壤动物变少等使土壤容重下降, 提高土壤紧密度, 而降低土壤通气性。pH 随海拔升高而减少, 且与海拔呈负相关, 这可能与土壤类型有关, 因为随海拔升高土壤类型也有变化, 不同土壤类型酸碱度有所不同。北坡土壤物理性质中, 含水量与海拔呈正相关, 即随海拔升高而上升, 这可能是察布查尔县降雨量较低, 但高海拔处因温度低而土壤水分蒸发速度比低海拔处更慢, 并降雨后能长期保持水分。土壤容重与海拔呈负相关, 即随海拔升高容重降低, 这可能是随海拔升高土壤表面上植被覆盖度降低, 表土层上植物根系变少, 表层土壤腐殖质层变薄, 土壤孔隙度变低等原因引起的。由此可知, 在海拔梯度上, 除南坡硝态氮、铵态氮、含水量垂直分异规律较强外, 其余各指标均呈一般的分异特征, 北坡除全氮、铵态氮、含水量垂直分异规律较强外, 其余各指标均呈一般的分布特征。南北坡草原土壤无机态氮与物理性质随海拔梯度垂直变化具有差异, 尤其是硝态氮垂直变化特征相反, 这可能昭苏县和察布查尔县不同的降雨量、气温、植被密度、气候等环境条件有关。这与朱建奎等^[24] 对太岳山种典型森林, 邓邦良等^[25] 对武功山山地草甸土壤, 黄群山等^[26] 对武夷山山地土壤中的研究结果一致。

4 结论

坡向、海拔、土层厚度等对土壤性质垂直分布特征的影响较大。0~20、20~40、40~60 cm 土层时, 南坡铵态氮与硝态

氮在海拔 1 400~2 800 随海拔升高而显著下降 ($P<0.05$),与海拔呈显著负相关 ($P<0.05$)。南坡 0~20、20~40 cm 土层土壤含水量随海拔升高而显著增加 ($r=0.896^{**}$ 、 $r=0.818^{*}$)。表层土壤铵态氮和硝态氮与含水量呈显著负相关 ($r=-0.920^{**}$ 、 $r=-0.756^{*}$)。表层土壤含水量对无机态氮垂直分布特征的影响大于中、底层。南坡草地土壤物理性质中含水量对无机态氮垂直分布特征的影响明显。

北坡全氮、铵态氮在 1 400~1 800 m 随海拔升高而上升,其后在 2 000~2 800 m 随海拔升高而显著下降 ($P<0.05$),并在 0~20 cm 土层时,全氮、铵态氮与海拔呈极显著负相关 ($r=-0.911^{**}$ 、 $r=-0.707^{*}$),有机质与全氮、铵态氮呈显著正相关 ($r=0.795^{*}$ 、 $r=0.875^{**}$)。北坡硝态氮在海拔 1 400~2 800 m 随海拔升高而增加,与海拔呈正相关。阴坡草地土壤物理性质对无机态氮垂直变化的影响不明显。

参考文献

- [1] 张晓霞,杨宗儒,查同刚,等.晋西黄土区退耕还林 22 年后林地土壤物理性质的变化[J].生态学报,2017,37(2):416-424.
- [2] 王婧.伊犁草原黑钙土理化特征及质量评价研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.
- [3] 余博.绢蒿属荒漠草地不同退化阶段土壤养分空间异质性的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2009.
- [4] 刘合满,曹丽花,张华,等.色季拉山山地酸性棕壤土壤氮素的分布特征[J].中南林业科技大学学报,2013,33(10):126-129,140.
- [5] 汪媛媛,杨忠芳,余涛.土壤质量评价研究进展[J].安徽农业科学,2011,39(36):22617-22622+22657.
- [6] 张爱宁,安沙舟,张蕊思,等.不同退化梯度下大尤尔都斯高寒草原植物种群生态位特征[J].草业科学,2017,34(2):302-309.
- [7] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2001:192-200.
- [8] 张焱华,吴敏,何鹏,等.土壤酶活性与土壤肥力关系的研究进展[J].安徽农业科学,2007,35(34):11139-11142.
- [9] 万丹,梁博,聂晓刚,等.西藏色季拉山土壤物理性质垂直地带性[J].生态学报,2018,38(3):1065-1074.
- [10] 王政权,王庆成.森林土壤物理性质的空间异质性研究[J].生态学报,2000,20(6):945-950.
- [11] 刘振东,李贵春,杨晓梅,等.我国农业废弃物资源化利用现状与发展趋势分析[J].安徽农业科学,2012,40(26):1306-1307,13076.
- [12] 高强伟,代斌,罗承德,等.蜀南竹海毛竹林土壤物理性质空间异质性[J].生态学报,2016,36(8):2255-2263.
- [13] 牛赞,刘贤德,敬文茂,等.祁连山北坡土壤特性与植被垂直分布的关系[J].山地学报,2013,31(5):527-533.
- [14] 王子敏.武夷山不同海拔土壤氮形态的空间异质性研究[D].福州:福建农林大学,2012.
- [15] 宋志伟,王晶,朱旭丽,等.秸秆资源综合利用现状及展望[J].安徽农业科学,2017,45(7):64-66,162.
- [16] 成慧霞,俞敏,翟向燕.新疆天然草地生态保护与利用[J].河南农业,2016(6):72.
- [17] 马鹏,李志忠.新疆伊犁察布查尔县农业生态系统服务价值变化分析[J].亚热带水土保持,2010,22(4):31-35.
- [18] 李明明.黄土高原小流域土壤有机碳、氮时空变异与动态模拟研究[D].北京:中国科学院,2013.
- [19] 黄文娟,刘菊秀,唐旭利,等.鼎湖山 5 种森林土壤的无机氮和有效磷含量[J].应用与环境生物学报,2009,15(4):441-447.
- [20] 钟国辉,钟政昌,田发益,等.西藏米拉山土壤主要养分元素垂直分布特征[J].山地学报,2007,25(1):108-113.
- [21] 王斌,陈亚明,周志宇.贺兰山西坡不同海拔梯度上土壤氮素矿化作用的研究[J].中国沙漠,2007,27(3):483-490.
- [22] 杨帆,黄来明,李德成,等.高寒山区地形序列土壤有机碳和无机碳垂直分布特征及其影响因素[J].土壤学报,2015,52(6):1226-1236.
- [23] 何方永,何飞,吴宗达,等.岷江冷杉原始林土壤物理性质的海拔梯度变化[J].西北师范大学学报(自然科学版),2015,51(5):92-98.
- [24] 朱建奎,韩海荣,伊力塔,等.山西太岳山典型森林群落土壤有机质及氮素研究[J].林业资源管理,2009(2):70-75.
- [25] 邓邦良,袁知洋,温卫华,等.武功山山地草甸土壤有机质、全氮及碱解氮分布格局及关系[J].江苏农业科学,2015,43(11):414-417.
- [26] 黄群山,叶源忠.浅析武夷山山地土壤理化性质的垂直分异[J].太原师范学院学报(自然科学版),2008,7(3):128-131.

(上接第 75 页)

6.2 结果

通过表格数据的对比分析,总体上来说,结合纹理特征增强算法的提取影像的纹理特征进而进行面向对象的影像分类的方法能够显著地提高高分辨率遥感影像分类的精度,尤其是对耕地这一拥有规则的纹理特征的植被类型的地表覆盖地类的影像分类的精度有很大提高。但是该试验也存在不足,由于试验位于农业牧业并存地区,人工草地同耕地 I 在影像分类成果中存在较多误分,即将大多数的人工牧草地分到了耕地 I 的地类中。造成这一现象的原因则是由于人工草地同耕地有着相似的纹理与植被系数,后续试验仍需改进。

参考文献

- [1] 陈小良.基于面向对象技术的土地利用/覆被分类研究[D].北京:中国地质大学,2009.
- [2] 陈启浩.面向对象的多源遥感数据分类技术研究及实现[D].武汉:中国地质大学,2007.
- [3] 明冬萍,邱玉芳,周文.遥感模式分类中的空间统计学应用:以面向对象的遥感影像农田提取为例[J].测绘学报,2016,45(7):825-833.

- [4] BLASCHKE T, STROBL J. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS [J]. GIS-Zeitschrift Für Geo-Information System, 2001, 14(6): 12-17.
- [5] 杨盼盼.基于高分辨率遥感影像纹理特征的面向对象植被分类方法研究[D].昆明:云南师范大学,2017.
- [6] 马莉,范影乐.纹理图像分析[M].北京:科学出版社,2009.
- [7] SINGH T R, SINGH R, ROY S, et al. A new local adaptive thresholding technique in binarization [J]. International journal of computer science issues, 2011, 8(6): 271-277.
- [8] DAI P Y. Overview of fingerprint verification technologies [J]. Journal of Xiamen University, 2002, 41(6): 750-755.
- [9] 楚亚蕴,詹小四,孙兆才,等.一种结合方向信息的指纹图像二值化算法[J].中国图象图形学报,2006,11(6):855-860.
- [10] HARALICK R M, SHANMUGAM K, DINSTEN I. Textural features for image classification [J]. Systems Man & Cybernetics IEEE Transactions on, 1973, 3(6): 610-621.
- [11] 刘龙飞,陈云浩,李京.遥感影像纹理分析方法综述与展望[J].遥感技术与应用,2003,18(6):441-447.
- [12] 高程程,惠晓威.基于灰度共生矩阵的纹理特征提取[J].计算机系统应用,2010,19(6):195-198.
- [13] 杨盼盼,孙兴齐,侯智庭.郑州市植被覆盖度动态监测与分析[J].平顶山学院学报,2015(5):83-89.
- [14] 兰明娟,魏虹,熊春妮,等.基于 TM 影像的重庆市北碚区地表植被覆盖变化[J].西南大学学报(自然科学版),2009,31(4):100-104.