

樟子松人工林生长对土壤碳氮磷化学计量的影响

李尧, 雷泽勇*, 于东伟, 张岩松, 白津宁 (辽宁工程技术大学, 辽宁阜新 123000)

摘要 以科尔沁沙地不同生长期(幼林、中龄林、成熟林、过熟林)的樟子松人工林为对象, 研究0~100 cm层土壤碳氮磷化学计量随林龄的变化规律。结果表明: 樟子松人工林土壤C/N含量表现为过熟林>中龄林>幼林龄>成熟林, C/P含量表现为过熟林>幼林龄>中龄林>成熟林, N/P随着林龄增加先降低后升高, C/P、C/N、N/P含量最低值均出现在生长速度最快的成熟林, 最高值均出现在过熟林。表明沙地樟子松人工林在成熟林以前, 土壤磷含量满足樟子松人工林的生长需求。在过熟林阶段碳含量出现累积, 土壤磷增长量低于碳增长量, 致使过熟林时期樟子松人工林增长速率下降, 磷成为过熟林时期樟子松生长限制因子。

关键词 樟子松; 林龄; 土壤; 化学计量

中图分类号 S 791.253 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)02-0091-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.02.026



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effect of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Plantation Growth on Stoichiometry of Soil Carbon, Nitrogen and Phosphorus

LI Yao, LEI Ze-yong, YU Dong-wei et al (Liaoning Technology University, Fuxin, Liaoning 123000)

Abstract Based on the *Pinus sylvestris* plantation in different growth stages (young forest, middle-aged forest, mature forest and over-mature forest) in Horqin Sandy Land, the change rules of soil carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry with forest age in the 0-100 cm layer were investigated in this paper. The results demonstrated that the value of C/N in the *P. sylvestris* plantation soil was over-mature forest>middle-aged forest>young forest>mature forest, the value of C/P was over-mature forest>young forest>middle-aged forest>mature forest, and N/P firstly decreased and then increased with the forest age. The lowest C/P, C/N and N/P ratios appeared in the mature forest stage, and the highest ratios in the over-mature forest stage, suggesting that before the mature forest stage, soil phosphorus contents can meet the growth needs of the *P. sylvestris* plantation. In the over-mature forest stage, carbon content accumulated and the growth of phosphorus was lower than that of carbon, which led to the decline in the growth rate of *P. sylvestris* plantation. Therefore, phosphorus became the growth-limiting factors of *P. sylvestris* at the over-mature forest stage.

Key words *Mongolica*; Forest age; Soil; Stoichiometry

土壤有机质和碳氮磷比是衡量生态系统中土壤碳素、氮素、磷素总结合的变异性比值, 是衡量土壤有机质的组成和影响土壤生态系统质量的重要指标。该变异性指标很好地综合了土壤在生态系统中各种功能的变异性, 易于科学测量, 而且有助于科学研究确定土壤生态过程对于全球气候变化的响应, 因而氮磷成为科学研究确定和预测土壤有机质和碳素系统中氮磷的平衡稳定性特征的一个重要参数^[1]。1968年Reiner集合了前人的大量科学研究和结果, 提出了生态统计化学理论和计量生态学理论在我国生态学研究中的重要应用——生态化学属于计量学, 并且首次结合生态统计化学理论和计量生态学的理论模型提出了计量生态学理论的重要理论和模型。曾德慧等^[2]率先将这一重要理论模型引进到国内, 并系统地阐明了我国生态统计化学的理论起源、基本概念、应用及前景, 随后这一新兴科学拓展到了生态学、森林学、水文学的研究方面。目前, 国内学者对不同人工林生态系统内化学计量学研究较多, 主要集中在不同季节^[3]、物种^[4-5]、器官^[6-7]的生态化学计量特征变化研究。森林土壤是森林生态系统的重要组成部分和元素储库^[8], 土壤元素含量作为反映土壤肥沃程度的重要指标, 也是植物生长所需养分的重要来源, 发挥着重要的生态功能^[9], 其碳氮磷之间的耦合关系可以反映土壤养分循环

和养分平衡, 因此研究林地土壤碳氮磷的生态化学计量特征对于揭示林地土壤养分的有效性和限制性、实现森林生态系统服务功能的完善具有重要意义。

樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)天然分布区为中国黑龙江大兴安岭海拔400~900 m山地及海拉尔以西、以南一带沙丘地区, 该物种于20世纪50年代被成功地引种到辽宁省阜新市彰武县章古台(科尔沁沙地东南前缘), 并以其适应性强、抗逆性强、耐瘠薄、生长快、成材早的特性, 成为我国北方荒漠化地区造林的首选树种。自引种以来, 研究主要集中在樟子松林的固沙效益^[10]、适应性^[11]、林分稳定性^[12]、病虫害危害性^[13]、水分利用效率^[14]、微生物活性^[15]等方面, 而樟子松生长对土壤碳氮磷化学计量影响方面的研究报道较少^[16], 仅有的几篇文献针对的是农地造林后林分生长对化学计量变化的影响, 而草地营造樟子松林后对土壤化学计量的影响与农地造林有很大的不同。为了弄清沙质草地造林后林分生长对土壤碳氮磷化学计量的影响, 以辽宁章古台地区不同生长期(幼林、中龄林、成熟林、过熟林)的樟子松人工林为对象, 研究0~100 cm层土壤碳氮磷化学计量随林龄的变化规律, 以期对樟子松人工林可持续经营、荒漠化治理提供理论依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况 研究区位于辽宁省沙地治理与利用研究所章古台试验基地(42°39'~42°43'N, 122°23'~122°33'E), 平均海拔约225 m。该地区地处中温带, 大陆性季风气候, 年均气温4.6~6.3℃, 极端最低气温-33.4℃, 极端最高气温43.2℃。年均降水量500 mm左右, 降水主要集中于6—8月,

基金项目 国家自然科学基金项目(31570709)。

作者简介 李尧(1993—), 男, 山东蓬莱人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤化学计量。*通信作者, 教授, 硕士, 从事林业生态工程研究。

收稿日期 2020-02-27

年蒸发量平均为 1 600 mm 左右。多年平均无霜期为 154 d, 年平均风速 4.5 m/s, 冬夏两季长, 春秋两季短, 春季多大风、扬沙天气。土壤主要类型为风沙土, 包括生草风沙土和流动风沙土 2 个亚类, 流动风沙土以沙粒为主, 占 97.74%, 物理黏粒占 5.26%, 有机质含量 0.64 g/kg, 全氮含量 0.17 g/kg, 全磷含量 0.07 g/kg。包括流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘和平缓沙地等地貌类型, pH 为 6.7 左右。代表性植物有中华委陵菜 (*Potentilla anserina*)、中华隐子草 (*Cleistogenes chinensis*)、胡枝子 (*Lespedeza daurica*)、盐蒿 (*Artemisia halodendron*)、大果榆 (*Ulmus macrocarpa*)、黄柳 (*Salix gordejewii*) 和蒺藜梗 (*Agriophyllum squarrosum*) 等^[10]。研究区营建樟子松固沙林前为固定半固定沙地。

1.2 试验地选择与土壤样品采集 试验标准地的选取遵循以下原则: ①标准地要尽可能覆盖樟子松固沙林不同的林分年龄; ②标准地间的距离不少于 50 m, 避免紧靠道边、农田, 排除混交林。依据以上原则总共选取了 37 块标准地, 标准地的面积均为 20 m×20 m。从 37 块标准地中筛选出立地条件一致(平坦沙地)、林龄不同的 20 块林地进行研究, 其中幼龄林(13 年)5 块、中龄林(25 年)5 块、成熟林(44 年)6 块和过熟林(56 年)4 块。每个林龄就近选择天然草地作为对照样地。2016 年 5 月对标准地进行每木检尺, 2016 年 8 月进行土壤样品采集, 在各标准地内距标准木 1 m 处分别挖掘深度为 100 cm 的土壤剖面, 选取 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 共 6 个层次, 用环刀(容积 200 cm³)收集原状土, 测定土壤容重, 每层 3 个重复。在每块标准地内随机布设 5 个样点, 每个样点收集 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 层土壤样品, 除去样品中的植物根系和石块, 同层次的土壤样品充分混匀后用四分法留取 500 g

样品, 室温风干处理后粉碎过筛用于土壤化学性质指标的测定。

1.3 土壤理化因子测定方法 土壤容重及土壤孔隙度测定采用环刀法, 土壤有机碳含量测定采用重铬酸钾容量法-外加热法, 土壤全氮含量测定采用半微量开氏法, 土壤水解氮含量测定采用碱解扩散法, 土壤全磷含量测定采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法, 土壤有效磷含量测定采用 NaHCO₃ 法, 土壤全钾含量测定采用 NaOH 熔融-火焰光度法, 土壤有效钾含量测定采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法, 土壤 pH 测定采用电位法。各土壤理化因子测定方法及计算见土壤农业化学分析^[16]。

1.4 数据处理 采用 Excel 和 SPSS 19.0 进行数据处理分析。采用 LSD 法比较各指标在不同林地与不同土层间的差异性, 采用 Pearson 相关性分析化学计量比与其他土壤因子的相关性。

2 结果与分析

2.1 沙地樟子松人工林土壤氮磷化学计量变化 由表 1 可知, 造林后 0~10 cm 的 N/P 随林分年龄的增加逐渐升高, 13 年时低于草地, 其余林龄均高于草地, 增加的幅度随林龄增加而加大。10~20 cm 土层则表现为幼林、中龄林、成熟林均高于草地, 但过熟林低于草地。幼林 20~40 cm 层的 N/P 和草地持平, 但中龄林和过熟林远低于草地, 成熟林稍高于草地。幼林 40~100 cm 土层显著高于草地, 成熟林则稍高于或与草地近似, 而中龄林和过熟林显著低于草地。4 种林龄樟子松林土壤的 N/P 随着林龄增加呈现先降低后增加, 56 年表层土壤樟子松林 N/P 显著高于其他林分, 除表层土壤(0~10 cm)外, 随土层的加深, 13~25 年樟子松人工林土壤 N/P 均大于原始草地, 44~56 年樟子松人工林土壤 N/P 均小于原始草地。

表 1 沙地樟子松人工林 N/P 随林龄、土层的变化

Table 1 Changes of N/P with age and soil layer of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in sandy land

年龄 Age	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm
13 a	0.38±0.07 Aa	0.36±0.05 Aab	0.26±0.03 Aabc	0.25±0.03 Aabc	0.24±0.04 Abc	0.21±0.02 Ac
13 a 对照 13 a control	0.45	0.24	0.25	0.11	0.15	0.11
25 a	0.40±0.08 Aa	0.26±0.06 Aab	0.22±0.04 Ab	0.15±0.03 Bb	0.17±0.04 ABb	0.16±0.05 Ab
25 a 对照 25 a control	0.33	0.18	0.95	0.79	0.72	0.65
44 a	0.38±0.02 Aa	0.26±0.03 Ab	0.20±0.02 Abc	0.19±0.03 ABbc	0.13±0.02 Cc	0.12±0.02 Ac
44 a 对照 44 a control	0.23	0.15	0.15	0.13	0.11	0.13
56 a	0.46±0.10 Aa	0.27±0.02 Ab	0.23±0.02 Ab	0.20±0.01 Bab	0.22±0.02 ABb	0.18±0.03 Ab
56 a 对照 56 a control	0.24	0.83	0.44	0.37	0.43	0.30

注: 不同小写字母表示不同土层间差异显著 ($P<0.05$); 不同大写字母表示不同林龄间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different small letters indicated significant differences among different soil layers ($P<0.05$); different capital letters indicated significant differences among different forest ages ($P<0.05$)

2.2 沙地樟子松人工林土壤碳氮化学计量变化 由表 2 可知, 4 种林龄樟子松林土壤的 C/N 随着林龄的增加稳定增加, 随土层的加深, 13 年与 56 年土壤 C/N 均大于天然草地, 25 年与 44 年时随土层的加深均小于天然草地。同一土层不同林龄, 0~100 cm 土层 C/N 在 44 年时显著低于各个林龄, 0~10 cm 土层 25 年土壤 C/N 与 56 年差异显著, 44 年土壤 C/N 与 56 年差异显著; 10~20 cm 土层 13 年土壤 C/N 与 56

年差异显著, 44 年土壤 C/N 与 56 年差异显著; 20~40 cm 土层 13、25、44 年土壤 C/N 与 56 年土壤 C/N 差异显著。不同土层同一林龄, C/N 随着土层的加深而增加, 13 年 60~80 cm 土层土壤 C/N 与 0~10、10~20、20~40、40~60 cm 土层土壤差异显著; 25 年 0~10 cm 土层土壤 C/N 与 80~100 cm 土层土壤差异显著; 其余年间土层间无显著差异。

表 2 沙地樟子松人工林 C/N 随林龄、土层的变化

Table 2 Changes of C/N with age and soil layer of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in sandy land

年龄 Age	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm
13 a	20.36±2.47 ABb	21.43±2.03 BCb	22.1±3.21 Bb	21.81±4.88 BCb	32.08±4.25 Ba	28.71±2.63 Bab
13 a 对照 13 a control	17.88	9.12	9.92	6.53	16.51	22.83
25 a	16.54±1.46 ABb	27.17±8.91 ABab	20.86±1.98 Bab	36.10±6.51 ABab	34.25±9.29 ABab	41.45±7.74 ABa
25 a 对照 25 a control	55.24	67.43	48.66	50.30	87.00	72.62
44 a	10.66±1.66 Ba	12.08±3.07 Ca	17.67±6.56 Ba	18.18±5.02 Ca	25.53±7.13 Ba	21.87±10.16 Ba
44 a 对照 44 a control	13.57	16.77	16.09	12.12	11.56	9.06
56 a	40.99±17.56 Aa	38.48±2.85 Aa	52.64±6.16 Aa	51.14±6.25 Aa	52.83±3.92 Aa	57.56±6.70 Aa
56 a 对照 56 a control	12.75	6.90	43.80	21.06	29.72	8.37

注:不同小写字母表示不同土层间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示不同林龄间差异显著($P<0.05$)

Note: Different small letters indicated significant differences among different soil layers ($P<0.05$); different capital letters indicated significant differences among different forest ages ($P<0.05$)

2.3 沙地樟子松人工林土壤碳磷化学计量变化 由表 3 可知,4 种林龄樟子松林土壤的 C/P 随着林龄的增加呈先降低再增高趋势,56 年生樟子松林 C/P 显著高于其他林分,随着林龄的增加表层土壤(0~10 cm)13~44 年樟子松人工林土壤 C/P 均小于天然草地,56 年大于天然草地。(10~100 cm)13~56 年樟子松人工林基本上都是 C/P 大于天然草地。同一土层不同林龄,0~100 cm 土层 C/P 在 44 年显著低于各个林龄,0~10 cm 土层 13 年土壤 C/P 与 56 年土壤差异显著,25 年土壤 C/P 与 56 年土壤差异显著,27 年土壤 C/P 与 44 年土壤差异显著,44 年土壤 C/P 与 56 年土壤差异显著;10~20 cm

土层 13 年和 25 年土壤 C/P 与 44 年土壤差异显著,13、25 年土壤 C/P 与 56 年土壤差异显著;20~40 cm 土层 13 年土壤 C/P 与 25、44、56 年土壤差异显著,25、44 年土壤 C/P 与 56 年土壤差异显著;40~60 cm 土层 25、44 年土壤 C/P 与 56 年土壤差异显著;60~80 cm 土层 25、44 年土壤 C/P 与 56 年土壤差异显著;80~100 cm 土层 13、25、44 年土壤 C/P 与 56 年土壤差异显著。不同土层同一林龄,56 年 0~10 cm 土层土壤 C/P 与 10~20、40~60、80~100 cm 土层土壤差异显著,其余年份土层间无显著差异。

表 3 沙地樟子松人工林 C/P 随林龄、土层的变化

Table 3 Changes of C/P with age and soil layer of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in sandy land

年龄 Age	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm
13 a	7.09±0.46 Ba	7.46±0.42 Ba	5.48±0.35 Ba	5.71±0.43 Ba	7.47±1.55 Ba	6.11±0.80 Ba
13 a 对照 13 a control	8.13	2.16	2.45	7.50	2.53	7.62
25 a	6.32±0.8 Ba	5.76±0.61 Ba	4.35±0.59 Ba	4.92±0.29 BCa	5.11±0.85 BCa	5.63±1.29 BCa
25 a 对照 25 a control	18.22	12.2	4.67	4.17	6.33	4.74
44 a	3.99±0.47 Ca	3.00±0.74 Ca	3.30±1.02 Ba	3.05±0.85 Ca	3.30±1.19 Ca	2.56±1.05 Ca
44 a 对照 44 a control	31.42	24.65	23.67	15.37	12.32	11.99
56 a	13.76±0.88 Aa	10.11±0.85 Ab	11.81±1.33 Aab	9.85±0.66 Ab	11.45±0.73 Aab	9.63±0.99 Ab
56 a 对照 56 a control	3.10	5.74	19.37	7.7	12.71	2.54

注:不同小写字母表示不同土层间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示不同林龄间差异显著($P<0.05$)

Note: Different small letters indicated significant differences among different soil layers ($P<0.05$); different capital letters indicated significant differences among different forest ages ($P<0.05$)

3 讨论

土壤 C/N 和 C/P 通常是评价有机质矿化快慢和土壤磷有效性的重要指标,其中 C/N 越低说明土壤有机层的有效氮含量较高^[17]。该研究结果表明,樟子松人工林土壤 C/N 含量表现为过熟林>中林龄>幼林龄>成熟林的趋势。过熟林 C/N 最高的原因在于土壤碳含量随林分生长而积累,到过熟林相对最高,而氮含量在过熟林时相对成熟林在降低。王凯等^[18]研究表明土壤有机碳积累与植被群落年龄存在正相关。有研究表明,土壤微生物每分解 25 份碳素就需要 1 份氮素组成自己的身体,即微生物需要 C/N 约为 25:1 的底物来满足它们的需氮量^[19]。在 C/N 较高时,微生物需要输入氮来满足它们的生长,在 C/N 比较低时氮超过微生物生长所需的部分就会释放到凋落物和土壤中^[19],因此 C/N 低

的植物残体矿化和腐殖化都较易进行,分解快,形成的腐殖质量少,而干枯老化 C/N 高的植物残体则相反。有机碳的累积致使过熟林阶段氮含量无法满足土壤微生物分解,生长速率变慢,C/N 升高。在成熟林阶段,林分郁闭度增大,凋落物逐渐增多^[20],在水热条件和土壤微生物的作用下,凋落物、根系分泌物以及动植物残体、残根等发生一系列生物化学反应,使其中的氮逐渐归还到土壤中,另外造林对林下土壤进行改良,使得土壤含水量增加,土壤氮素在水的运移作用下,使下层土壤全氮得到补偿,含量逐渐增加,C/N 降低。土壤微生物量 C/P 可作为衡量微生物矿化土壤有机物质释放磷或从环境中吸收固持磷素潜力的一种指标^[21]。该研究中,樟子松人工林土壤 C/P 含量表现为过熟林>幼林龄>中林龄>成熟林的趋势。磷含量以成熟林相对最高,而微生物

量的C/P一般在7~30变化,C/P小说明微生物在矿化土壤有机质中释放磷的潜力较大,土壤微生物量磷对土壤有效磷库有补充作用,C/P高则说明土壤微生物对土壤有效磷有同化趋势,易出现微生物与作物竞争性吸收土壤有效磷的现象,具有较强的固磷潜力^[22]。磷主要受土壤母质风化的影响,而岩石风化是一个漫长的过程。说明在成熟林之前樟子松生长对土壤磷含量起到累积作用,致使C/P含量逐渐降低。过熟林时期C/P升高,除了碳含量增加外,磷含量随成熟林到过熟林阶段逐渐降低,因此过熟林时期C/P高于成熟林更多的是磷降低的结果。

4 结论

沙地营造樟子松人工林后,土壤C/N表现为过熟林>中林龄>幼林龄>成熟林的趋势,土壤C/P表现为过熟林>幼林龄>中林龄>成熟林的趋势。最大值均出现在过熟林时期,表明沙地樟子松人工林在成熟林以前,土壤磷含量满足樟子松人工林生长需求,且樟子松生长对土壤磷含量起到累积作用。过熟林阶段磷增长量低于碳增长量,致使过熟林时期樟子松人工林增长速率下降,磷成为过熟林时期樟子松生长限制因子。

参考文献

- [1] 程滨,赵永军,张文广,等.生态化学计量学研究进展[J].生态学报,2010,30(6):1628-1637.
- [2] 曾德慧,陈广生.生态化学计量学:复杂生命系统奥秘的探索[J].植物生态学报,2005,29(6):1007-1019.
- [3] 赵亚芳,徐福利,王涓玲,等.华北落叶松针叶碳、氮、磷含量及化学计量比的季节变化[J].植物营养与肥料学报,2015,21(5):1328-1335.
- [4] HAN W X, FANG J Y, GUO D L, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. New phytologist,

2005, 168(2):377-385.

- [5] 陈亚梅,刘洋,张健,等.巨桉混交林不同树种C、N、P化学计量特征[J].生态学报,2015,34(8):2096-2102
- [6] 王娜,程瑞梅,肖文发,等.三峡库区马尾松根和叶片的生态化学计量特征[J].林业科学研究,2016,29(4):536-544.
- [7] 赵维俊,刘贤德,金铭,等.祁连山青海云杉林叶片-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征[J].土壤学报,2016,53(2):477-489.
- [8] 曹娟,闫文德,项文化,等.湖南会同3个林龄杉木人工林土壤碳、氮、磷化学计量特征[J].林业科学,2015,51(7):1-8.
- [9] 韩瑞芸,陈哲,杨世琦.秸秆还田对土壤氮磷及水土的影响研究[J].中国农学通报,2016,32(9):148-154.
- [10] 邢兆凯,焦树仁.章古台固沙造林技术与效益评价[J].中国沙漠,1999,19(2):179-183.
- [11] 李胜利.樟子松沙地适应性的初步研究[J].中国沙漠,1994,14(1):60-67.
- [12] 曾德慧,姜凤岐,范志平,等.樟子松人工固沙林稳定性的研究[J].应用生态学报,1996,7(4):337-343.
- [13] 周晏平,雷泽勇,赵国军,等.病虫害对沙地樟子松树高生长的影响[J].干旱区研究,2018,35(3):653-661.
- [14] 褚建民,邓东周,王琼,等.降雨量变化对樟子松生理生态特性的影响[J].生态学报,2011,30(12):2672-2678.
- [15] 于德良,雷泽勇,张岩松,等.沙地樟子松人工林土壤酶活性及其影响因子[J].干旱区研究,2019,36(3):621-629.
- [16] 淑敏,姜涛,王东丽,等.科尔沁沙地不同林龄樟子松人工林土壤生态化学计量特征[J].干旱区研究,2018,35(4):789-795.
- [17] 王维奇,徐玲琳,曾从盛,等.河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征[J].生态学报,2011,31(23):7119-7124.
- [18] 王凯,宋立宁,张成龙,等.科尔沁沙地典型林分土壤有机碳储量与根际效应的关系[J].水土保持学报,2013,27(6):221-225.
- [19] CHAPIN F S III, MATSON P A, MOONEY H A. Principles of terrestrial ecosystem ecology[M]. New York: Springer, 2011:231-243.
- [20] 罗青红,宁虎森,陈启民.准噶尔盆地南缘人工梭梭林土壤理化特性时空动态研究[J].水土保持研究,2016,23(6):309-315.
- [21] 彭佩钦,张文菊,童成立,等.洞庭湖湿地土壤碳、氮、磷及其与土壤物理性状的关系[J].应用生态学报,2005,16(10):1872-1878.
- [22] 潘复静,张伟,王克林,等.典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物C:N:P生态化学计量特征[J].生态学报,2011,31(2):335-343.

(上接第76页)

5.559 X_4 。该回归方程的 R^2 为0.808,说明回归平方和占总变异量的80.8%,所选性状对体重有较大作用,该模型具有较大的参考价值。但剩余因子 $1-R^2=0.192$,说明此次测定指标不够全面,还有一些对体重有影响的因素尚未考虑,需要进一步研究。

笔者对郟县红牛成年母牛体尺、体重的通径分析结果表明,胸围、体长、坐骨端宽对体重的直接影响较大,而管围、体长、坐骨端宽对体重的间接影响较大。这与王丹等^[12]、李鸿康等^[13]、周正奎等^[14]、王永奇等^[15]的研究结果相似。因此,在郟县红牛母牛选育过程中,首先要考虑胸围、体长、坐骨端宽3个因素,体高和管围对体重的直接影响较小,但通过胸围对体重的间接影响较大,因此在选育过程中仍要考虑这2个因素。

参考文献

- [1] 魏成斌,吴姣,蔺萍,等.郟县红牛种质资源个性描述[J].中国牛业科学,2013,39(1):54-57.
- [2] 马桂变,李志刚.关于郟县红牛产业发展的思考[J].中国牛业科学,2009,35(2):65-67.

- [3] 郭俊清,周靖航,刘丽元,等.新疆褐牛生长发育规律分析[J].畜牧与兽医,2017,49(2):10-14.
- [4] 周振勇,张杨,蔺宏凯,等.基于主成分逐步回归法的新疆褐牛体重预测模型研究[J].中国牛业科学,2012,38(1):1-4.
- [5] TOLENKHOMBA T C, SINGH N S, KONSAM D S. Principal component analysis of body measurements of bulls of local cattle of Manipur, India[J]. The Indian journal of animal sciences, 2013, 83(3):281-284.
- [6] 宇传华.SPSS与统计分析[M].北京:电子工业出版社,2007:243-248.
- [7] 田亚磊,高腾云,白继武,等.河南小尾寒羊体尺与体重的相关性分析[J].中国畜牧兽医,2009,36(11):200-202.
- [8] 田亚磊,常中克,孙宇,等.伏牛白山羊体尺与体重的相关性分析[J].浙江农业科学,2009,50(5):1023-1025.
- [9] 敬艳辉,邢留伟.通径分析及其应用[J].统计教育,2006(2):24-26.
- [10] 杜家菊,陈志伟.使用SPSS线性回归实现通径分析的方法[J].生物学报,2010,45(2):4-6.
- [11] 殷满财,马进寿,保广才,等.大通牦牛青年母牦牛体重与体尺相关性分析[J].中国畜牧杂志,2019,15(12):59-60.
- [12] 王丹,周靖航,刘丽元,等.新疆褐牛体尺体重相关性及其主成分分析[J].中国畜牧杂志,2017,53(9):38-41.
- [13] 李鸿康,赵寿保.大通牦牛体重、体尺相关性分析[J].青海畜牧兽医杂志,2016,46(4):37-39.
- [14] 周正奎,李姣,姬爱国,等.鲁西黄牛成年母牛体重与体尺指标的相关回归分析[J].安徽农业科学,2008,36(1):214,224.
- [15] 王永奇,苟潇,刘文华,等.大额牛体尺性状指标与体重的主成分分析[J].江西农业大学学报,2009,31(4):589-593.