

贺兰山东麓不同种植年限葡萄地 土壤生态化学计量特征

贺 婧¹, 魏琪琪¹, 钟艳霞², 罗玲玲¹

(1. 宁夏大学资源环境学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学科技处, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以宁夏贺兰山东麓葡萄产区不同种植年限(1 a、7 a、20 a)葡萄地土壤为研究对象,未开垦的荒漠草原为对照(CK),采集 0~100 cm 土层土壤,分析不同种植年限、不同土层深度土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)含量及其生态化学计量特征。结果表明:(1)该地区土壤贫瘠,土壤 C、N、P 含量均值分别为 $4.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,均低于全国平均水平(11.12 、 $1.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),土壤 K 含量均值为 $28.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,高于全国水平($16.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。各年限土壤 SOC 均值变化范围为 $3.93 \sim 5.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,TN 均值变化范围为 $0.39 \sim 0.73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,TP 均值变化范围为 $0.21 \sim 0.37 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,TK 均值变化范围为 $27.88 \sim 30.16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。随荒漠草原的开垦及种植年限的增加,土壤 C、N 含量呈现先降低后增加的趋势,土壤 P 含量逐渐增加,土壤 K 含量虽表现为逐渐减少但各年限之间并无显著性差异。(2)土地利用方式及植被覆盖的转变对土壤生态化学计量特征的影响程度各有不同。研究区土壤 C:N 均值变化范围为 $8.70 \sim 10.60$,C:P 均值变化范围为 $16.78 \sim 33.29$,C:K 均值变化范围为 $0.14 \sim 0.22$ 。随种植年限的增加,土壤 C:P、C:K、N:P 都呈现先降低后增加的趋势,土壤 C:N 虽趋于降低,但不同种植年限之间差异未达显著水平。不同种植年限葡萄地土壤 N:P 在 $1.66 \sim 3.61$ 之间,低于我国土壤 N:P 的平均值(5.2),表明贺兰山东麓葡萄生长主要受 N 的限制。在宁夏贺兰山东麓地区酿酒葡萄的种植过程中,应考虑合理匹配不同营养元素和适当增施有机肥,防止土壤肥力的下降。

关键词:葡萄地;种植年限;生态化学计量特征;贺兰山东麓

中图分类号:S663.1;S153.6 **文献标志码:**A

Eco-stoichiometry characteristics of grape fields with different planting years in the east foothills of Helan Mountain

HE Jing¹, WEI Qiqi¹, ZHONG Yanxia², LUO Lingling¹

(1. School of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Science and Technology Department, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: This paper took the vineyard soil of different planting ages (1 a, 7 a, and 20 a) in the east foothills of Helan Mountain in Ningxia as the research object, and took the uncultivated desert grassland as the control, collected the soil of 0~100 cm layer, measured the organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK) content, and the characteristics of the ecological stoichiometry of soil under different planting years and different soil depths, in order to provide the basis for the judgment of limited nutrient and the control mechanism of nutrient element balance of the grape growing area in the east foothills of Helan Mountain. The results showed that: (1) The soil was impoverishment in this area with the average value of soil C, N, and P at 4.88 , $0.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively, which were less than the national levels (11.12 , $1.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), but the average value of soil K was $28.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, higher than the national level ($16.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). The soil SOC varied from $3.93 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $5.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, the TN varied from $0.39 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $0.73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, the TP varied from $0.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $0.37 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, the TK varied from $27.88 \sim 30.16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ with increasing plant-

ing years. The contents of C and N in soil first decreased and then increased, the content of P gradually increased, the content of K gradually decreased, but there was no significant difference among years. (2) The changes of land use patterns and the vegetation coverage provided different effects on the soil ecological stoichiometry character. The soil C : N ratios varied from 8.7 to 10.6, C : P varied from 16.78 to 33.29, C : K varied from 0.14 to 0.22. With increasing of the planting years, the C : P, C : K, and N : P of soil showed a decrease trend in the first and then increased, although the C : N of soil gradually decreased, but the difference was not significant. The N : P of soil was between 1.66~3.61, and less than the national average of 5.2, showed that the grape growth in the east foothills of Helan Mountain was mainly restricted by N. In the process of grape planting in the east foothills of Helan Mountain in Ningxia, properly matched the application proportion of various nutrient elements and organic fertilizer should be considered to prevent the decline of soil fertility.

Keywords: vineyard; planting years; eco-stoichiometry character; east foothills of Helan Mountain

生态化学计量学作为研究多种化学元素平衡问题的一门科学,近年来,在陆地生态系统的研究中取得了巨大的进展^[1-3]。其研究领域广泛涉及到各种陆地生态系统^[3-4]、微生物^[5-6]、不同植物及植物器官^[7-13]、植物凋落物^[14-17]及土壤生态化学计量学,包含了物种之间的生物关系,群落的结构变化与养分的动态平衡,生态过程与生物地球化学循环过程,并从不同年限^[18-20]、不同空间分布^[21]、不同纬度^[22-23]对土壤生态化学计量特征展开研究。土壤作为人类赖以生存和发展最基本、最重要的环境要素,其中的碳、氮、磷、钾等元素是评价土壤质量的重要指标^[24],进行土壤生态化学计量特征的研究能够反映土壤内部碳、氮、磷、钾等元素的循环特征,研究分析土壤养分元素间相互作用与制约的变化规律,对促进自然资源的可持续利用具有重要的现实意义。

贺兰山东麓酿酒葡萄产区作为我国最大的酿酒葡萄原料基地之一,拥有得天独厚的自然资源、气候、地理环境条件,具有极大的发展潜力^[25]。自 20 世纪以来,大面积的荒漠草原被开垦为酿酒葡萄种植地,由于土地利用及地表植被覆盖的转变,贺兰山东麓葡萄产地的土壤理化性质发生了巨大的改变^[26],所以,获取并分析土壤生态化学计量特征尤为重要。杨海江等^[27]对不同种植区的酿酒葡萄产地土壤的生态化学计量进行了研究,结果表明贺兰山东麓不同种植区土壤碳、氮、磷含量差异明显,总体含量均低于全国平均水平;但不同年限、不同土层的酿酒葡萄种植区土壤碳、氮、磷、钾含量及其生态化学计量特征尚不清楚。因此,研究不同土层的土壤养分随种植年限的增加而变化的规律及其生态化学计量特征,可为贺兰山东麓葡萄种植区生态系统养分受限元素判断和元素平衡调控机制研究提供依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

贺兰山东麓葡萄产区 (105° 45' ~ 106° 47' E, 37° 43' ~ 39° 05' N) 地处温带大陆性干旱、半干旱气候区,该地区日照时间长,昼夜温差大,年均气温 8.5℃,全年日照时数为 2 851 ~ 3 106 h,昼夜温差 10 ~ 15℃,日照率 67%,年降水量 180 ~ 200 mm,无霜期 170 d;在葡萄生长季节日照充足、热量丰富,在成熟季节雨量偏少、温度稳定,为葡萄生长提供了良好的气候条件。该地土壤类型以灰钙土为主,并包含风沙土、灌淤土、淡灰钙土、砾质砂土和少量灰漠土等多种土壤类型,表层土壤沙面多孔,底层土壤紧密、松软,pH 值 7.8 ~ 8.5,钾含量较高,磷含量较低,有利于酿酒葡萄的生长。20 世纪 90 年代后期,葡萄酿酒业被列为宁夏回族自治区农业六大优势产业之一,贺兰山东麓葡萄酿酒业得到了极大的发展,2017 年该区葡萄种植面积达 $3.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$,为宁夏干旱区的水土保持、节水增效、生态旅游等做出了极大的贡献,实现了荒山荒滩向绿水青山再向金山银山的转变,极大地推动了当地经济的发展,并促进当地经济与生态效益达到平衡^[25]。

贺兰山东麓葡萄产区“赤霞珠”品种按行距 3 m,株距 1 m 的密度种植,栽植葡萄约 3 450 棵 · hm^{-2} 。整理架面、出土期施尿素 120 ~ 150 kg · hm^{-2} 、磷酸二铵 150 ~ 225 kg · hm^{-2} ,复合肥 75 ~ 120 kg · hm^{-2} ,同时配施 15 ~ 30 kg · hm^{-2} 的多元微量元素肥料,根据土壤肥力和树势强弱调节施肥量。生育期常规施肥 3 次,花后第 1 次施肥,施尿素 90 ~ 120 kg · hm^{-2} 、磷酸二铵 90 ~ 150 kg · hm^{-2} 、复合肥 75 ~ 90 kg · hm^{-2} ;果实膨大前第 2 次施肥,施尿素 75 ~ 90 kg · hm^{-2} 、磷酸二铵 120 ~ 180 kg · hm^{-2} 、复

合肥 $75 \sim 90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 转色前第 3 次施肥, 施尿素 $30 \sim 45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、磷酸二铵 $45 \sim 75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、硫酸钾 $150 \sim 180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。秋季采收后在葡萄的定植带或定植沟一侧用施肥机施尿素 $90 \sim 120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、磷酸二铵 $90 \sim 150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、复合肥 $75 \sim 90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、腐熟牛羊粪 $30 \sim 75 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 或者有机肥 $6\,000 \sim 9\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 施肥深度 20 cm 以下, 或者开沟施肥, 开沟宽度 40 cm, 深度 50 cm, 均匀回填; 次年改到另一侧施肥, 依次交替进行。施肥后沟灌灌水 1 次, 单次灌水量 $1\,200 \sim 1\,500 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.2 样品采集与处理

本文重点考虑随种植年限的增加, 贺兰山东麓葡萄产区土壤生态化学计量特征的变化情况, 在没有长期定位的条件下, 采用空间梯度代替时间梯度的方法, 根据实地调查, 选择年限不同、立地条件尽可能一致的葡萄种植基地作为采样区域。结合研究区的实际情况, 选择种植年限分别为 1、7、20 a 的“赤霞珠”葡萄地和原生荒漠草原 (CK) 为研究对象。在每个种植年限的样区内, 选择 3 个 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 的样地, 按对角线选取 5 个取样点, 采样点选取时避开马路边缘, 用土钻分别采集 1 m 深土壤剖面 0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80 cm 及 80~100 cm 的土壤样品。每个样地内的 5 个样点按照土壤分层进行混合, 土壤样品采用四分法, 取 1~2 kg 装于自封袋内带回实验室后自然风干, 剔除根系、凋落叶等杂物, 经立式行星磨仪 (PBM-1A) 研磨后, 分别过 0.9 mm 和 0.25 mm 标准筛, 用于土壤有机碳 (SOC) 及土壤养分的测量。

1.3 样品分析

土壤养分的测定参照《土壤农化分析》^[28] 的方法。土壤全氮 (TN) 采用凯氏定氮法测定; 全磷 (TP) 采用氢氧化钠熔融—钼锑抗比色分光光度法测定; 全钾 (TK) 采用氢氧化钠熔融—火焰光度计法测定; 土壤有机碳 (SOC) 采用重铬酸钾容量法—外加热法测定。

1.4 统计分析

采用 Excel (2016) 软件进行数据处理, 运用 SPSS 19.0 软件对数据进行单因素方差分析, 检验不同年限、不同土层土壤 C、N、P、K 含量及其生态化学计量比的差异显著性, 显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$; 之后运用 Pearson 相关分析法对土壤 C、N、P、K 含量及其生态化学计量比进行相关性分析。使用 Origin 2018 进行相关图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限葡萄地土壤 SOC、TN、TP 和 TK 质量分数的变化

有机碳作为土壤的基本属性和物质特征, 是评价土壤肥力的基本指标^[29]。贺兰山东麓葡萄产地由荒漠草原开垦而来, 其土地利用方式的转变及耕作的扰动对土壤有机碳含量存在显著的影响。由表 1 可知, 研究区内土壤有机碳 (SOC) 含量变化范围为 $3.93 \sim 5.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 随着荒漠草原的开垦与种植年限的延长, 呈现先降低后增加的趋势, 不同种植年限间无显著性差异。由图 1A 可知, 在同一土层不同样地之间, 0~10 cm、10~20 cm 及 40~100 cm 土层有机碳含量未呈显著性差异; 20~30 cm 及 30~40 cm 土层种植葡萄 7 a 的土壤, 其有机碳含量与其他年限之间呈显著差异。整体上, 表层土壤有机碳含量大于深层, 且呈现随着土层深度的增加而波动下降的趋势。

氮作为植物生长发育所必需的重要元素之一, 是植物生长的主要养分来源, 土壤中氮元素含量直接影响作物长势及产量, 也表明了土壤的肥力状况, 现代农业中氮的重要来源是施肥^[24]。由表 1 可知, 研究区内土壤全氮 (TN) 含量变化范围为 $0.39 \sim 0.73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 随着种植年限的增加呈现先降低后增大的趋势, 具体表现为: $20 \text{ a} > \text{CK} > 1 \text{ a} > 7 \text{ a}$ 。1 a 土壤 TN 与对照无显著性差异, 但 7 a 与 20 a 之间土壤 TN 含量呈现显著差异。由图 1B 可知, 在同一土层不同样地之间, 10~20 cm 土层 TN 含量表现出对照土壤与 20 a 土壤显著高于 7 a 土壤; 20~30 cm 土层 TN 含量则表现出 7 a 土壤显著低于其他样地; 30~40 cm 土层 TN 含量在 20 a 土壤与 7 a 土壤之间呈现显著差异。在同一样地不同土层之间, 对照土壤以 0~10 cm 土层最高, 与 30~100 cm 各土层均存在显著性差异。

磷作为植物生长发育所必需的重要元素之一, 是植物体内许多有机化合物的组分, 同时参与植物体内多种代谢过程, 在现代农业中多以施加磷肥的方式来增加土壤中磷含量^[24]。由表 1 可知, 研究区内土壤全磷 (TP) 含量变化范围为 $0.16 \sim 0.37 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 随种植年限的增加呈升高的趋势, 1 a、7 a 与对照土壤 TP 含量显著低于 20 a 土壤。由图 1C 可知, 在 0~40 cm 土层, 20 a 土壤与其他样地之间 TP 含量呈现显著差异。在同一样地不同土层之间, 7 a 土壤与对照土壤 TP 含量在不同土层之间未表现出显著性差异, 1 a 土壤 TP 含量在 0~40 cm 土层与 40~

100 cm 土层之间呈现显著差异。

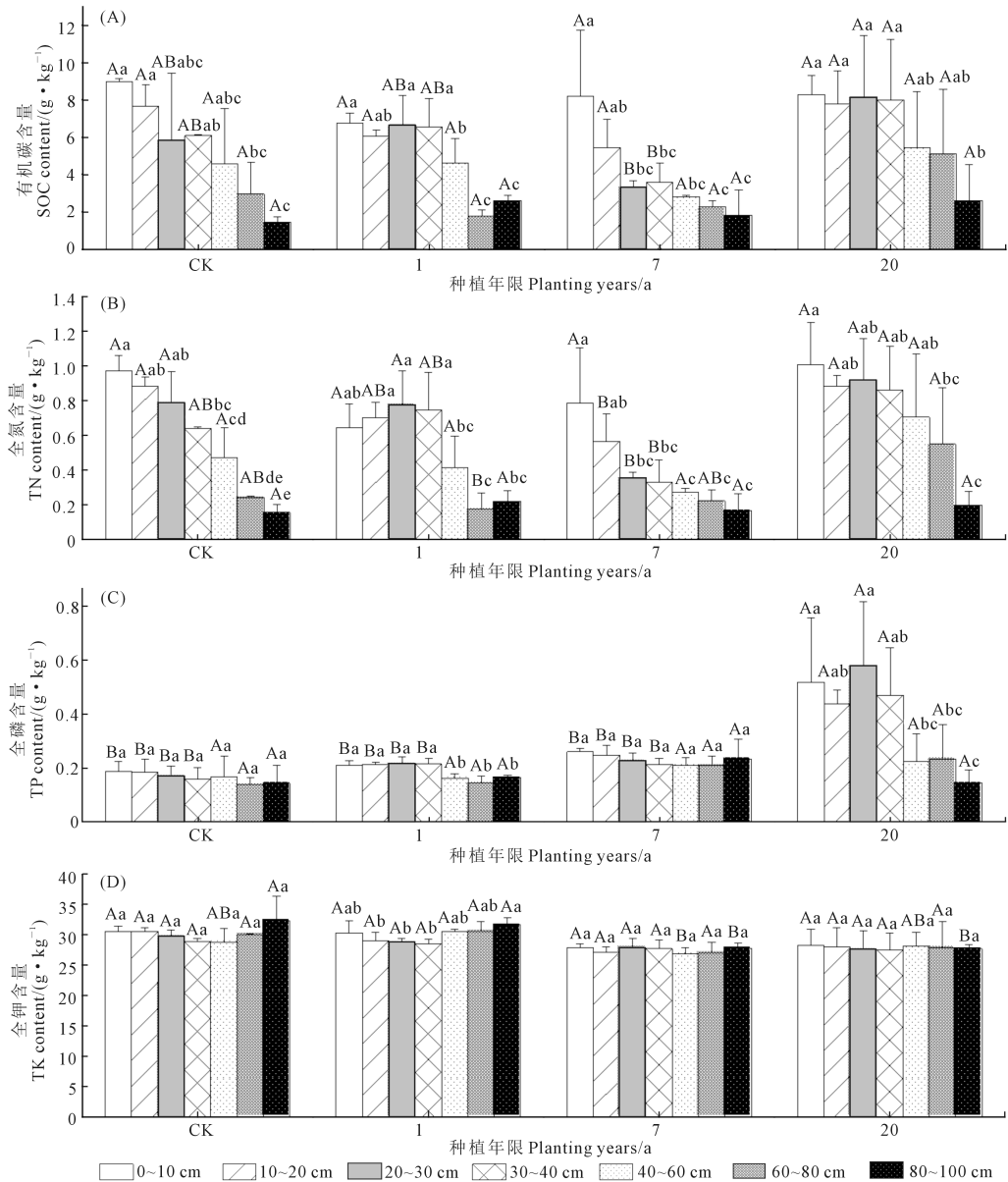
土壤钾含量主要受土壤矿物质种类的影响,还受成土母质的影响,另外土地利用方式的转变也会对土壤矿物的风化产生影响,最终影响土壤钾含量^[24]。由表 1 可知,研究区内,土壤全钾(TK)含量变化范围为27.88~30.16 g·kg⁻¹,总体呈现随着年限的增加而逐渐降低的趋势,各个样地之间土壤 TK 含量的平均值无显著性差异。由图 1D 可知,在同一样地不同土层之间,对照土壤、7 a 和 20 a 土壤 TK 含量的各个土层之间无显著性差异;1 a 土壤 TK

表 1 不同种植年限样地 0~100 cm 土层土壤养分含量/(g·kg⁻¹)

Table 1 Soil nutrient content of 0~100 cm soil layer in sample plots with different planting years				
年限 Year/a	SOC	TN	TP	TK
CK	5.36±2.88a	0.59±0.31ab	0.16±0.04b	30.16±1.78a
1	4.99±2.14a	0.53±0.27ab	0.19±0.03b	29.96±1.53a
7	3.93±2.49a	0.39±0.24b	0.23±0.04b	27.50±1.10a
20	5.23±0.98a	0.73±0.34a	0.37±0.21a	27.88±2.46a

注:数值为平均值±标准差,同列不同小写字母表示不同样地差异显著($P<0.05$),下同。

Note: The values in the table are mean ± standard deviation, and different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different sample plots ($P<0.05$), the same below.



注:误差线为标准误($n=3$);不同大写字母表示同一土层不同种植年限样地间差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示同一种植年限样地不同土层深度间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: The error line is the standard error ($n=3$). Different capital letters in the same column indicate significant differences between different years of the same soil depth ($P<0.05$); Different lowercase letters indicate significant differences between different soil depths of the same year ($P<0.05$). The same below.

图 1 不同种植年限葡萄地不同深度土壤 SOC、TN、TP 和 TK 的含量变化

Fig.1 Changes of soil SOC, TN, TP and TK content in different soil depths of grape fields with different planting years

含量表现为 30~40 cm 土层与 80~100 cm 土层之间呈现显著差异。在同一土层不同样地之间,0~40 cm 土层 TK 含量在各个样地间无显著性差异,40~60 cm 土层 TK 含量在 1 a 土壤与 7 a 土壤之间呈现显著差异;80~100 cm 土层 TK 含量表现为对照土壤与 1 a 土壤无显著性差异,7 a 土壤与 20 a 土壤无显著差异,但对照土壤、1 a 土壤与 7 a、20 a 土壤之间呈现显著差异;其他土层 TK 含量在不同样地之间无显著性差异。

2.2 不同种植年限葡萄地土壤 SOC、TN、TP 和 TK 的化学计量比

C : N、C : P、C : K 是衡量土壤营养平衡状态的重要指标,也是衡量土壤微生物矿化有机物释放 N、P 的重要指标,一般认为 C : N、C : P 值与有机物分解矿化速率成反比^[2-4]。研究区土壤 C : N 均值变化范围为 8.70~10.60,随着荒漠草原的开垦与种植年限的延长呈现先增加后降低的趋势(表 2)。由图 2A 分析发现,在同一样地不同土层之间,20 a 土壤 C : N 表现为 80~100 cm 土层显著高于 0~10、40~60 cm 土层,其他样地各土层间土壤 C : N 无显著性差异。在同一土层不同样地之间,0~10、40~60 cm 土层 C : N 表现为 1 a 土壤显著高于 20 a 土壤;10~20、30~40、60~100 cm 土层 C : N 在各个样地之间未达显著性差异。

研究区土壤 C : P 均值变化范围为 16.78~33.29,整体呈现随着荒漠草原的开垦与种植年限的延长而逐渐降低的趋势(表 2)。由图 2B 可知,在同一样地不同土层之间,对照土壤与 20 a 土壤的 C : P 在各个土层之间无显著性差异,1 a 土壤在 60~80 cm 与 80~100 cm 土层的 C : P 显著低于其他土层,7 a 土壤在 0~10 cm 土层的 C : P 显著高于其他土层,其他土层之间未呈现显著性差异。在同一土层不同样地之间,0~40 cm 各土层 C : P 值均表现出随年限增加而逐渐降低的趋势,20 a 土壤 C : P 在 0~40 cm 土层均显著低于对照土壤,40~100 cm 各层的 C : P 值则表现出先降低后增加的趋势,但不同样地之间差异不显著。

由表 2 可知,研究区土壤 C : K 均值变化范围为 0.14~0.23,随着荒漠草原的开垦与种植年限的延长呈先降低后增加的趋势。由图 2C 分析发现,在同一样地不同土层之间,表层土壤与底层土壤间存在显著性差异,如对照土壤 C : K 值在 0~10 cm 与 60~100 cm 土层间存在显著性差异,1 a 土壤 C : K 值在 0~10 cm 与 40~100 cm 土层间存在显著

性差异,7 a 土壤 C : K 值则表现为 0~10 cm 土层显著高于其他各土层。在同一土层不同样地之间,仅在 20~30 cm、30~40 cm 土层中,7 a 土壤与 20 a 土壤 C : K 呈现显著性差异,其他各土层在不同样地之间均未呈现显著性差异。

N : P 能够在一定程度上反映植物生长的主要限制因子,一般来说,氮沉降将提高植物的 N : P,磷富集将降低植物的 N : P^[1]。由表 2 可以看出,研究区土壤 N : P 均值变化范围为 1.66~3.61,随着荒漠草原的开垦与种植年限的延长呈现先降低后增加的趋势。由图 2D 可知,对于同一样地不同的土层,对照土壤与 7 a 土壤 N : P 均呈现随土层加深而逐渐降低的趋势。对照土壤 0~30 cm 各土层与 60~100 cm 土层存在显著性差异,7 a 土壤 N : P 值则表现为除 0~10 cm 土层显著高于 20~100 cm 土层,10~20 cm 土层显著高于 80~100 cm 土层外,其余各层之间差异不显著;1 a 土壤 N : P 值则是 20~30 cm 土层与 40~100 cm 土层存在显著性差异;20 a 土壤 N : P 则表现为 40~60 cm 土层显著高于除 60~80 cm 外各土层,其他各土层之间差异不显著。对于同一土层不同样地,0~60 cm 土层 N : P 值均表现为对照土壤显著高于 1 a、7 a 及 20 a;80~100 cm 土层 N : P 在各个样地之间无显著差异。

2.3 土壤 SOC、TN、TP 和 TK 质量分数及其化学计量比之间的相关性

相关性分析表明(表 3),SOC、TN、TP 彼此之间均呈现极显著正相关性,SOC、TN、TP 均与 C : N 呈现极显著或显著负相关性,SOC、TN 与 C : P、C : K、N : P 之间均呈现极显著正相关性,TP 与 C : K 之间存在极显著的正相关性。C : N 与 C : K、N : P 之间呈现极显著负相关性,而 C : P 与 C : K、N : P 之间则存在着极显著的正相关性,C : K 与 N : P 之间也存在着极显著的正相关性。可见,土壤养分对葡萄地土壤化学计量的贡献表现出一定差异性。

表 2 不同种植年限葡萄地 0~100 cm 土层土壤生态化学计量比

Table 2 Soil ecological stoichiometry ratio of 0~100 cm soil layer of grape field in sample plots with different planting years				
化学计量比 Stoichiometric ratio	年限 Year/a			
	CK	1	7	20
C : N	9.42±1.57a	10.60±1.96a	10.28±0.58a	8.70±1.42a
C : P	33.29±12.59a	25.39±7.8a	16.78±7.96b	17.81±2.58b
C : K	0.18±0.09a	0.17±0.07a	0.14±0.08b	0.23±0.08a
N : P	3.61±1.61a	2.62±1.01b	1.66±0.78c	2.11±0.5b

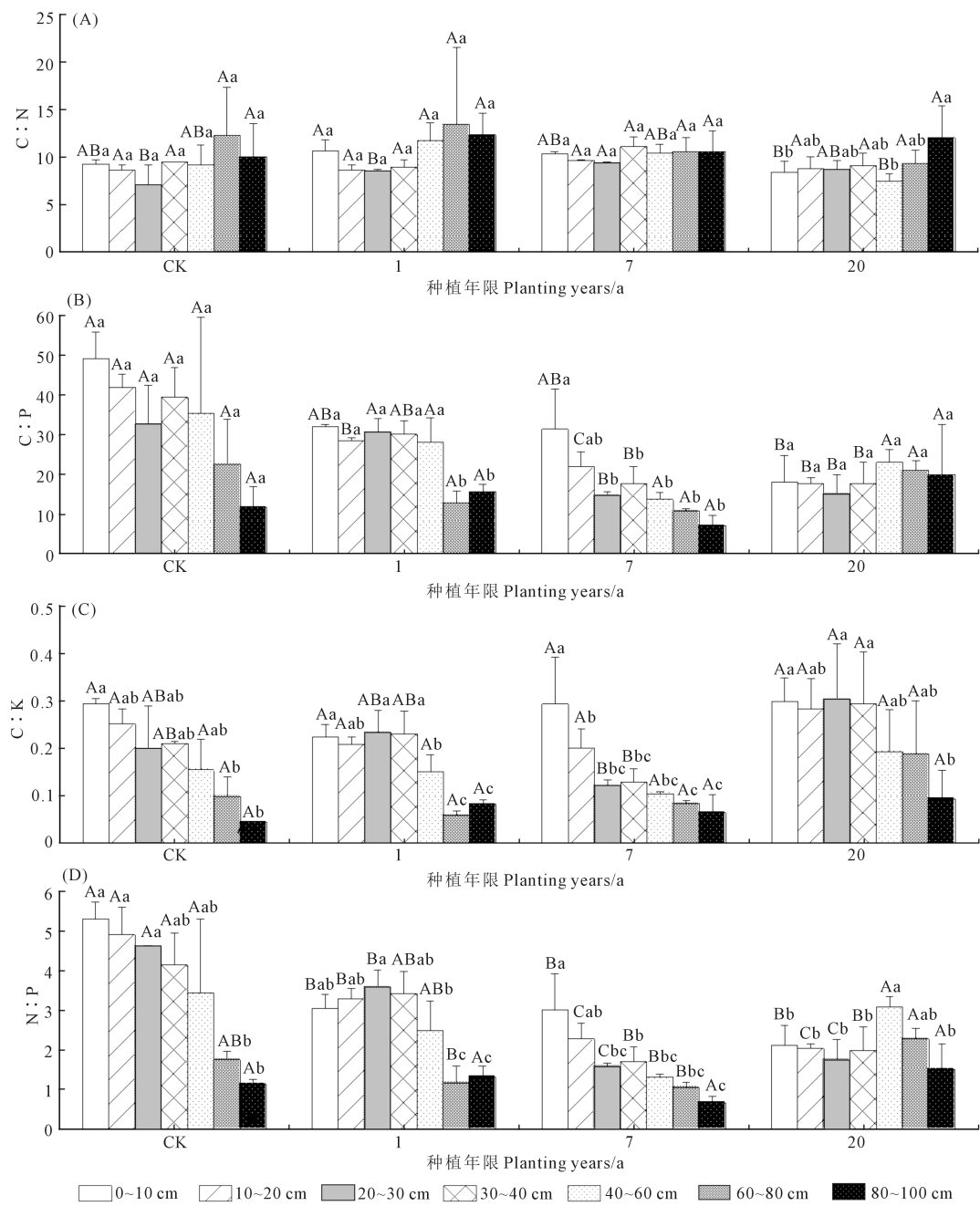


图 2 不同种植年限葡萄地土壤生态化学计量比变化

Fig.2 Changes of soil ecological stoichiometry ratio in grape fields with different planting years

表 3 土壤各元素质量分数及化学计量的相关性

Table 3 Correlation of mass fractions and stoichiometry of soil elements

元素 Element	C	N	P	K	C : N	C : P	C : K	N : P
C	1	0.977 **	0.579 **	-0.131	-0.631 **	0.603 **	0.994 **	0.664 **
N		1	0.591 **	-0.129	-0.747 **	0.564 **	0.975 **	0.680 **
P			1	-0.455 *	-0.409 *	-0.259	0.640 **	-0.158
K				1	0.262	0.301	-0.211	0.24
C : N					1	-0.347	-0.641 **	-0.561 **
C : P						1	0.532 **	0.955 **
C : K							1	0.603 **
N : P								1

注：“**”表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关；“*”表示在 $P<0.05$ 水平显著相关。
Note: “**” means significant correlation at $P<0.01$ level; “*” means significant correlation at $P<0.05$ level.

3 讨论

3.1 不同种植年限葡萄地土壤有机碳及养分含量

不同种植年限酿酒葡萄地的土壤 C、N、P 含量平均值 ($4.88, 0.56, 0.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 远低于全国 ($11.12, 1.06, 0.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 水平^[30], 表明该地区土壤 C、N、P 含量较贫乏。此外, 本研究中土壤 K 含量平均值 ($28.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 远高于全国 ($16.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 水平^[31], 这可能是由于土壤 K 元素主要受成土母质影响所致。研究表明, 土壤 C、N、P 含量不仅受到自然环境的影响, 还受到土地利用方式转变、农业管理措施的显著影响^[32], 草地转化为农田会降低土壤有机碳、全氮含量^[33]。随荒漠草原的开垦及种植年限的增加, 土壤 SOC、TN 含量呈现先降低后增加的趋势, 这与以往的研究结论有所不同^[18-19], 可能由于在未开垦时期, 原始荒漠草原上地表植物较多, 且地下根系发达, 土壤中植物的凋落叶及根系的归还可以累积一定数量的 SOC 和 TN; 但荒漠草原开垦为葡萄地, 一方面在开垦初期, 土壤经过深翻整地, 土壤结构被破坏, 土壤各层次之间养分含量波动较大, 另一方面是开垦后, 葡萄一般为行距 3 m, 株距 1 m 的栽植密度, 密度较低; 同时因为整地破坏、地表裸露, 初期葡萄苗较小, 根系及落叶归还量都比较少, 加之人为耕作、翻土使得土壤孔隙度增加, 土壤养分分解速率加大, 尽管有氮肥及有机肥料的施入, 但在种植初期仍呈现有机碳与氮的含量逐渐降低的趋势。随着种植年限的增加, 土壤扰动的减少、葡萄藤枝的生长、根系及凋落物归还量的增加以及人工施肥^[34]等原因, 土壤有机碳和全氮含量恢复上升趋势。与郭其强^[31]对于马尾松林土壤的研究结果不同, 随荒漠草原的开垦和种植年限的增加, 土壤 TP 含量呈现持续增长趋势, 这可能是由于贺兰山东麓土壤磷含量本身较低, 加之磷的性质与有机碳、氮不同, 不易分解, 因此土壤磷含量随着有机肥及其他肥料的逐渐施入而增加。

与多数研究结论一致^[9-13], 本研究中土壤表层 C、N 含量大于底层, 随土层的加深, 土壤 C、N 含量整体呈波动式下降的趋势。人为扰动导致土壤 SOC、TN 含量在垂直方向上出现了差异变化^[33]。在葡萄地管理过程中, 种植户为保障葡萄健康生长, 在土壤深度约为 30~40 cm 深的土层处进行有机肥填埋, 因此可能造成各年限土壤 SOC 含量在 30~40 cm 深度有小幅增加, 而继续向土壤深处时, 植物对土壤养分吸收利用大于供给, 因此呈不断下降的趋势。

3.2 不同种植年限葡萄地土壤有机碳及养分的生态化学计量特征

土壤 C : N 是衡量土壤营养平衡状态的指标, 一般认为土壤 C : N 越低, 有机质分解速率越高^[4]。本研究中, 不同种植年限的土壤 C : N 在 8.70~10.60 之间, 基本上低于我国土壤 C : N 平均值 10~12^[27], 各样地之间整体呈随着土层深度的加深而上升的趋势, 这与淑敏等^[19]在研究樟子松人工林中所得结论一致, 这可能是由于北方葡萄生产需要埋土、出土操作, 耕翻频繁, 导致上层土壤有机质分解的能力加快, 释放养分的能力更强, 同时日常管理中仅秋后施有机肥一次, 其他时期均施用尿素、磷酸二铵及复合肥, 这也造成有机碳的积累速度低于土壤氮的积累速度, 因而上层土壤 C : N 较低; 但是随着种植年限的增加, 葡萄根系向土壤深处延伸使其对氮的吸收加强, 而下层土壤扰动较少, 有机碳积累逐渐增加, 进而导致 C : N 有所增加。

本研究中, 不同年限的土壤 C : P 在 16.78~33.29 之间, 远低于我国 C : P 平均值 105^[31], 较低的 C : P 表明该地区土壤 P 的有效性相对较高, P 的矿化速率也相对较高, 微生物分解有机质过程中受 P 限制的可能性较小^[35]。这可能是由于在葡萄管理过程中多次施用磷酸二铵, 除部分被葡萄吸收利用外, 其余磷在土壤中累积; 有机肥的施用及矿化也进一步增加了土壤磷含量。与大多数研究结论相一致^[34-35], 随着土层深度的加深 C : P 整体呈下降的趋势, 表明表层土壤对 P 的固持能力要高于底层土壤^[35], 由于 TP 含量相对稳定, C : P 的高低主要受土壤有机碳的影响, 土壤有机碳含量随着土层的加深而逐渐下降导致 C : P 随之变化。

土壤 N : P 是反映 N 养分供应状况的重要指标, 一般认为在 $N : P < 14$ 时, 植物生长受 N 元素的限制; 在 $N : P > 16$ 时, 植物生长受 P 元素的限制, 当 $14 < N : P < 16$ 时, 植物生长受到 N 和 P 的共同限制^[36]。在本研究中, 不同年限的土壤 N : P 在 1.66~3.61 之间, 低于我国土壤 N : P 的平均值 5.2^[31], 表明在贺兰山东麓葡萄产地, 葡萄的生长主要受 N 的限制。

4 结论

1) 总体而言, 宁夏贺兰山东麓地区土壤贫瘠, 土壤 C、N、P 含量均低于全国水平, 土壤 K 含量高于全国水平。土地利用方式、植被覆盖的转变及施肥管理对土壤肥力水平存在较大影响。随荒漠草原的开垦及种植年限的增加, 土壤 C、N 含量呈现先降

低后增加的趋势,土壤 P 含量逐渐增加,土壤 K 含量虽逐渐减少但各年限之间并无显著性差异。

2) 土地利用方式及植被覆盖的转变对土壤生态化学计量特征的影响程度各有不同。土壤 C : P, C : K, N : P 都呈现先降低后增加的趋势,土壤 C : N 虽整体趋于降低,但是差异未达显著水平。不同年限葡萄地的土壤 N : P 在 1.66~3.61 之间,低于我国土壤 N : P 的平均值 5.2,贺兰山东麓葡萄生长主要受 N 的限制。在宁夏贺兰山东麓地区酿酒葡萄的种植过程中,需考虑合理匹配不同营养元素和适当增施有机肥,以防止土壤肥力的下降。

参 考 文 献:

[1] 孙连伟,陈静文,邓琦.全球变化背景下陆地植物 N/P 生态化学计量学研究进展[J].热带亚热带植物学报,2019,27(5):534-540.

[2] 林永静,武梦娟,卢同平,等.中国生态化学计量学研究热点的可视化分析[J].生物学杂志,2018,35(2):63-66.

[3] 程瑞梅,王娜,肖文发,等.陆地生态系统生态化学计量学研究进展[J].林业科学,2018,54(7):130-136.

[4] 杨文高,字洪标,陈科宇,等.青海森林生态系统中灌木层和土壤生态化学计量特征[J].植物生态学报,2019,43(4):352-364.

[5] 周正虎,王传宽.生态系统演替过程中土壤与微生物碳氮磷化学计量关系的变化[J].植物生态学报,2016,40(12):1257-1266.

[6] 胡培雷,王克林,曾昭霞,等.喀斯特石漠化地区不同退耕年限下桂牧 1 号杂交象草植物-土壤-微生物生态化学计量特征[J].生态学报,2017,37(3):896-905.

[7] 郝玉琢,王树力.水曲柳人工纯林与混交林土壤生态化学计量特征的比较[J].东北林业大学学报,2018,46(3):54-58.

[8] 曾全超,李鑫,董扬红,等.黄土高原延河流域不同植被类型下土壤生态化学计量学特征[J].自然资源学报,2016,31(11):1881-1891.

[9] 王璐,喻阳华,邢容容,等.喀斯特高原山地区主要人工林土壤生态化学计量特征[J].南方农业学报,2017,48(8):1388-1394.

[10] 许宇星,王志超,竹万宽,等.雷州半岛 3 种速生人工林下土壤生态化学计量特征[J].浙江农林大学学报,2018,35(1):35-42.

[11] 饶丽仙,沈艳,聂明鹤.宁夏典型草原不同退耕年限草地植物-土壤生态化学计量特征[J].草业学报,2017,26(4):43-52.

[12] 高德新,张伟,任成杰,等.黄土高原典型植被恢复过程土壤与叶片生态化学计量特征[J].生态学报,2019,39(10):3622-3630.

[13] 叶柳欣,张勇,蒋仲龙,等.不同林龄杨梅叶片与土壤的碳、氮、磷生态化学计量特征[J].安徽农业大学学报,2019,46(3):454-459.

[14] 王宝荣,曾全超,安韶山,等.黄土高原子午岭林区两种天然次生林植物叶片-凋落叶-土壤生态化学计量特征[J].生态学报,2017,37(16):5461-5473.

[15] 向云,程曼,安韶山,等.延河流域不同立地条件下植物-枯落物-土壤生态化学计量学特征[J].自然资源学报,2015,30(10):

1642-1652.

[16] 淑敏,王东丽,王凯,等.不同林龄樟子松人工林针叶-凋落叶-土壤生态化学计量特征[J].水土保持学报,2018,32(3):174-179.

[17] 张萍,章广琦,赵一婷,等.黄土丘陵区不同森林类型叶片-凋落物-土壤生态化学计量特征[J].生态学报,2018,38(14):5087-5098.

[18] 何佳,胡玉福,舒向阳,等.川西北高寒沙地不同年限高山柳土壤生态化学计量及储量变化特征[J].草业学报,2018,27(4):27-33.

[19] 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.

[20] 曹小玉,李际平,杨静,等.不同龄组杉木林土壤碳、氮、磷的生态化学计量特征[J].土壤,2019,51(2):290-296.

[21] 卓志清,李勇,兴安,等.东北旱作区土壤碳氮磷生态化学计量特征及其影响因素[J].农业机械学报,2019,50(10):259-268,336.

[22] 曾全超,李鑫,董扬红,等.陕北黄土高原土壤性质及其生态化学计量的纬度变化特征[J].自然资源学报,2015,30(5):870-879.

[23] 刘颖,宫渊波,李瑶,等.川西高寒灌丛草地不同海拔梯度土壤化学计量特征[J].四川农业大学学报,2018,36(2):167-174.

[24] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:29-30.

[25] 宋振威,孙美莹,杨荣金,等.宁夏贺兰山东麓葡萄产业生态系统服务功能价值评估[J].应用生态学报,2019,30(3):979-985.

[26] 王志秀,贺婧,陈锋.贺兰山东麓葡萄产地不同种植年限土壤养分特征研究[J].中国土壤与肥料,2019,(3):15-21.

[27] 杨海江,钟艳霞,赵亚峰,等.银川市西夏区贺兰山东麓葡萄种植区土壤 C、N、P 化学计量特征[J].浙江农业学报,2018,30(1):144-149.

[28] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:14-112.

[29] Gregorich E G, Carter M R, Angers D A, et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils [J]. Canada Journal of Soil Science, 1994, 74(4):367-385.

[30] 刘愿,陈云明,梁思琦,等.陕北黄土丘陵区刺槐人工林土壤生态化学计量特征[J].水土保持研究,2019,26(4):43-49.

[31] 郭其强,盘金文,李慧娥,等.贵州高原山地马尾松人工林土壤碳、氮、磷生态化学计量特性[J].水土保持学报,2019,33(4):293-298.

[32] 张祎,李鹏,肖列,等.黄土高原丘陵区地形和土地利用对土壤有机碳的影响[J].土壤学报,2019,56(5):1140-1150.

[33] 巩杰,王玉川,谢余初,等.基于 Meta-analysis 的中国干旱半干旱区土地利用变化的土壤碳氮效应研究[J].安徽农业科学,2011,39(14):8408-8411,8419.

[34] 宋亚辉,艾泽民,乔磊磊,等.施肥对黄土高原农地土壤碳氮磷生态化学计量比的影响[J].水土保持研究,2019,26(6):38-45,52.

[35] 高君亮,罗凤敏,高永,等.农牧交错带不同土地利用类型土壤碳氮磷生态化学计量特征[J].生态学报,2019,39(15):5594-5602.

[36] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. Journal of Applied Ecology, 1996, 33(6):1441-1450.