

Analysis of Main Soil Nutrient Characteristics in Open-Field Orchards in the Suburbs of Yinchuan

Yanling Xie¹ Yongwei Chen¹ Wenli Ma¹ Hao Wang¹ Zhirong Yin²

1. Agricultural Technology Extension and Service Center of Ningxia Agricultural Reclamation, Yinchuan, Ningxia, 750002, China

2. Agricultural Resources and Research Institute, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia, 750002, China

Abstract

To investigate the soil nutrient characteristics and influencing factors in open-field orchards in the suburbs of Yinchuan, this study systematically analyzed soil physical structure, physicochemical properties, and microbial characteristics based on sampling data from the 0~40 cm soil layer of nine orchards. Soil quality was comprehensively evaluated using principal component analysis. The results indicate that the soil bulk density in the suburban orchards of Yinchuan is relatively high (0~20 cm: 1.32 g/cm³; 20~40 cm: 1.45 g/cm³), while porosity decreases with depth (0~20 cm: 50.24%; 20~40 cm: 45.30%), presenting a compact structure overall. The soil is weakly alkaline (pH 0~20 cm: 8.29; 20~40 cm: 8.45), with a total salt content of 0.22%, indicating mild salinization. In terms of nutrients, the organic matter content is 12.53 g/kg, rated at level 4 (moderate); total nitrogen content is 0.87 g/kg, also at level 4 (moderate); alkali-hydrolyzable nitrogen content is 50.91 mg/kg, indicating severe deficiency; available phosphorus is 24.52 mg/kg, at level 2 (abundant); and rapidly available potassium is 159.93 mg/kg, at level 2 (abundant). Among trace elements, the available contents of iron, zinc, and boron are at levels 4, 2, and 3, respectively. Principal component analysis revealed that four principal components cumulatively contributed 98.85% of the variance. Yongning County exhibited the highest comprehensive soil quality, followed by Helan, while Pingjibao had relatively poor soil health. The study suggests that soil compaction, low nitrogen conversion efficiency due to weak alkalinity, and insufficient availability of trace elements are the main limiting factors.

Keywords

Open-field orchard; Soil; Soil nutrients; Principal component analysis

基于主成分分析的银川城郊果园土壤肥力综合评价

解艳玲¹ 陈永伟¹ 马文礼¹ 王昊¹ 尹志荣²

1. 宁夏农垦农林牧技术推广服务中心, 中国·宁夏 银川 750002

2. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 中国·宁夏 银川 750002

摘要

为探究银川城郊露地果园土壤养分特征及其影响因素, 本研究基于9个果园0~40 cm土层采样数据, 系统分析土壤物理结构、理化性状及微生物特征, 结合主成分分析法综合评价土壤质量。结果表明: 银川城郊果园土壤容重较高(0~20 cm: 1.32 g/cm³; 20~40 cm: 1.45 g/cm³), 孔隙度随深度递减(0~20 cm: 50.24%; 20~40 cm: 45.30%), 整体呈现紧实结构。土壤呈弱碱性(pH 0~20 cm: 8.29; 20~40 cm: 8.45), 全盐含量0.22%, 属轻度盐渍化。养分方面, 有机质含量12.53 g/kg, 处于4级水平, 含量适中; 全氮含量0.87 g/kg, 处于4级水平, 含量适中; 碱解氮含量50.91 mg/kg, 严重不足; 有效磷24.52 mg/kg, 处于2级水平, 含量丰富; 和速效钾含量159.93 mg/kg, 处于2级水平, 含量丰富。微量元素中铁、锌、硼有效态含量分别处于4级、2级和3级水平。主成分分析显示, 4个主成分累计方差贡献率达98.85%, 永宁县土壤综合质量最优, 贺兰次之, 平吉堡土壤健康状况较差。土壤紧实化、弱碱性导致的氮素转化效率低下及微量元素有效性不足是主要限制因子。

关键词

露地果园; 土壤养分; 土壤肥力评价; 主成分分析

1 引言

银川市城郊主要包括兴庆区、金凤区、西夏区外围, 以及永宁县、贺兰县和灵武市部分区域。这些区域是银川市农业生产的核心地带, 主要种植经济作物包括果树、酿酒葡萄、蔬菜(如番茄、辣椒)等。据统计, 银川市果树种植面积约62万亩^[1], 是宁夏特色农业的重要组成部分。

【基金项目】宁夏农业高质量发展和生态保护科技创新示范项目(项目编号: NGSB-2021-11-02)。

【作者简介】解艳玲(1979-), 女, 中国宁夏贺兰人, 硕士, 农艺师, 从事农林业技术推广与研究。

银川城郊土壤以灌淤土、潮土和风沙土为主。为摸清城郊快速城市化与农业转型下的土壤资源本底,特对银川城郊土壤开展调查与评价,明确果园土壤物理结构、养分和微生物特征以及障碍因子空间分布,为特色农业精准施肥、盐渍化治理和产品品质提升提供针对性改良依据,促进城郊农业与城市发展的协调共生。

2 材料与方法

2.1 研究区概况

银川市位于宁夏平原中部、黄河上游,东与盐池县接壤,西依贺兰山,与内蒙古自治区

阿拉善盟为邻;南与同心县、吴忠市利通区、青铜峡市相连;北接平罗县与内蒙古自治区鄂托克旗相邻(以明长城为界)。其地域范围在北纬 $37^{\circ} 29' \sim 38^{\circ} 53'$ 、东经 $105^{\circ} 49' \sim 106^{\circ} 53'$,总面积 9491.0km^2 ,地表水资源丰富,湖泊湿地较多,属中温带大陆性气候,昼夜温差大,雨雪稀少,蒸发强烈。平均年降水量为 $150 \sim 200\text{mm}$,降雨多集中在6~9月,约占全年降雨量的60%~70%。年平均气温约 8.5°C ,年平均日照时数 $2800 \sim 3000\text{h}$,无霜期 $150 \sim 170\text{d}$ 。

2.2 土壤采集

选择银川城郊西夏区、永宁县、贺兰县9个具有代表性的果园为调查采样地点。9个基地均以20亩以上大果园为主,树龄3~15年。采用多点混合法,即每个采样点采集5个土样,制作成混合样作为1个样品,三个基地依次采集0~20cm、20~40cm土壤样品各3份,采样时间为2024年3月果树施肥灌水前。将样品分成两份,一份土壤样品带回实验室风干,去除植物根系等异物,研磨过筛备用。另外一份鲜样用保鲜袋封装后放入4~8°C冰箱冷藏。

2.3 测定指标

土壤容重采用环刀法测定;孔隙度=(1-容重/ 2.65) $\times 100\%$;土壤pH检测参照《土壤pH的测定》(NY/T1377-2007);全盐的测定参照《森林土水溶性盐分分析》(LY/T1251—1999);有机质的测定参照《土壤有机质测定法》(GB9834-88);土壤全氮含量采用凯氏定氮仪法测定;碱解氮的测定参照《森林土壤氮的测定》(LY/T1228-2015);有效磷的测定参照《石灰性土壤有效磷测定方法》(GB12297-90);速效钾的测定参照《土壤速效钾测定DB13/T844-2007》;铁、锌、硼等微量元素含量采用原子吸收分光光度法测定^[2]。土壤微生物用平板稀释计数法;土壤脲酶活性用酚蓝比色法,蔗糖酶活性用3,5-二硝基水杨酸比色法,磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法。

2.4 数据分析

用WPS2010进行数据整理,用SPSS22.0进行统计和差异显著性分析,采用LSD法进行多重比较($P<0.05$),用WPS2010制表,用Origin26制图。

3 结果与分析

3.1 调查区域土壤结构性状及养分特征

3.1.1 容重及孔隙度

由图1可知,调查区域土壤容重表土层(0~20cm)平均 1.32g/cm^3 ,亚表层(20~40cm)平均 1.45g/cm^3 ,土壤紧实。土壤孔隙度表土层(0~20cm)平均50.24%,亚表层(20~40cm)平均45.30%,表层比亚表层土壤疏松。

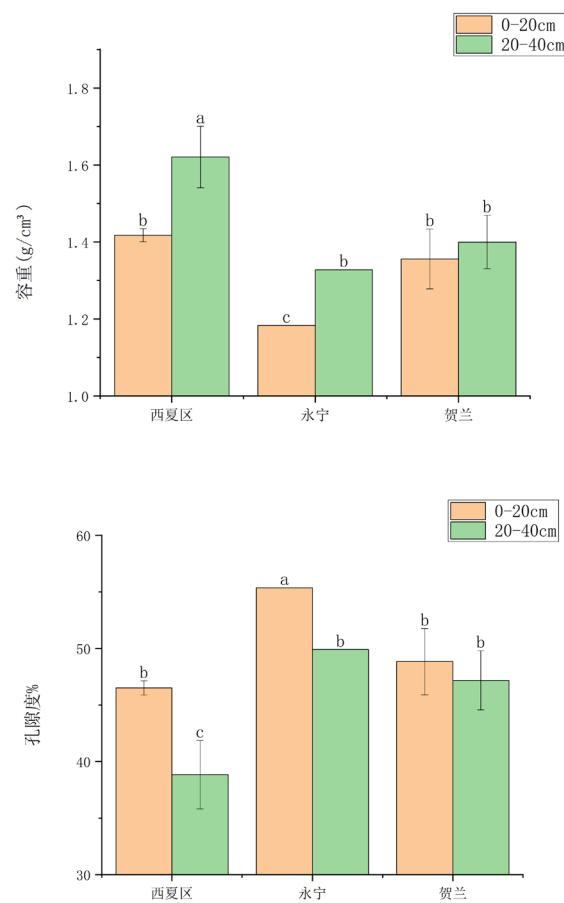


图1 城郊果园土壤容重及孔隙度

3.1.2 pH、全盐和养分含量

如图2所示,0~20cm土壤pH平均值8.29,20~40cm土壤pH平均值8.45,变幅较小,变异系数分别为0.02、0.03,西夏区、永宁县、贺兰县城郊果园土壤酸碱度表土层(0~20cm)平均pH 8.37、8.47、8.03,亚表层(20~40cm)平均pH 8.59、8.49、8.26,偏碱。西夏区和永宁县土壤盐碱含量明显高于贺兰县,亚表层pH明显高于表层。0~40cm土壤全盐含量平均值0.22%,变幅较小,变异系数均为0.27,西夏区、永宁县、贺兰县城郊果园土壤全盐含量表土层(0~20cm)平均0.17%、0.29%、0.21%,亚表层(20~40cm)平均0.16%、0.28%、0.22%,含盐量较轻,不会对果树根系造成胁迫。永宁县土壤含盐量较高,注意洗盐、降盐。0~20cm土壤有机质含量平均值15.08g/kg,20~40cm土壤有

机质含量平均值 9.98g/kg, 变幅较小, 变异系数分别为 0.18、0.33, 有机质含量丰富。西夏区、永宁县、贺兰县城郊果园土壤有机质含量平均值分别为表土层 (0~20cm) 14.40g/kg、18.09g/kg、12.74g/kg, 亚表层 (20~40cm) 平均 10.91g/kg、13.49g/kg、9.54g/kg。参照第二次全国土壤普查养分分级标准及供试土壤情况, 有机质均值达到 4 级水平^[3], 其中贺兰县 20~40cm 土层有机质略低, 应注意补充。

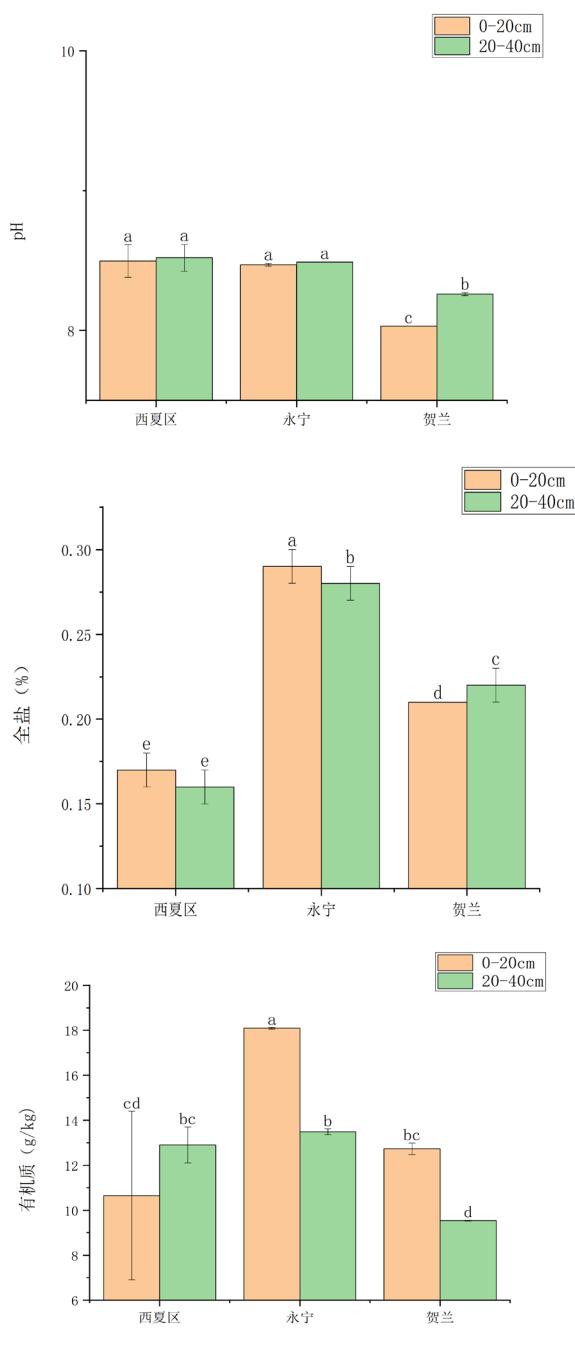


图 2 城郊果园土壤 pH、全盐、有机质含量

果园碱解氮、有效磷、速效钾的适宜标准值分别为 60~130 mg/kg、10~40 mg/kg、65~200 mg/kg^[3]。由表 1 可知, 银川城郊果园土壤全氮含量表土层 (0~20cm) 平均 1.01g/kg, 达到 I 级优良标准, 亚表层 (20~40cm) 平均 0.72g/

kg, 达到 III 级优良标准, 平均值为 0.87g/kg, 达到 4 级水平。表土层变异系数 0.21, 亚表层变异系数 0.31。含量适中。土壤碱解氮含量表土层 (0~20cm) 平均 58.29mg/kg, 变异系数为 0.14, 亚表层 (20~40cm) 平均 43.54mg/kg, 变异系数为 0.31。土壤碱解氮含量在适宜值范围以下, 碱解氮含量不足。土壤速效磷含量表土层 (0~20cm) 平均 35.34mg/kg, 变异系数为 0.34, 亚表层 (20~40cm) 平均 13.70mg/kg, 变异系数为 0.40。均在适宜值范围内。土壤速效钾含量表土层 (0~20cm) 平均 143.58mg/kg, 变异系数为 0.50, 亚表层 (20~40cm) 平均 176.28mg/kg, 变异系数为 0.38, 含量均在适宜值范围内, 但是变异系数较大, 永宁县土壤速效钾高于适宜标准值, 速效钾含量丰富。

果园土壤铁适宜标准值为 10~250 mg/kg, 锌含量的适宜标准值为 1.0~4.0 mg/kg, 硼的适宜标准值为 0.5~1.0 mg/kg^[3]。由表 1 可以看出, 银川城郊果园土壤有效铁含量表土层 (0~20cm) 平均 27.30mg/kg, 表土层变异系数 0.21, 亚表层 (20~40cm) 平均 25.15mg/kg, 变异系数 0.26。含量处于适宜标准值。银川城郊果园土壤有效锌含量表土层 (0~20cm) 平均 12.17mg/kg, 表土层变异系数 0.20, 亚表层 (20~40cm) 平均 12.72mg/kg, 变异系数 0.14。含量处于适宜标准值。银川城郊果园土壤全硼含量表土层 (0~20cm) 平均 0.74mg/kg, 表土层变异系数 0.15, 亚表层 (20~40cm) 平均 0.72mg/kg, 变异系数 0.26。含量处于适宜标准值。

3.1.3 微生物

调查区域土壤微生物数量如表 2 所示, 细菌数量表土层 (0~20cm) 平均 72.5×10^5 cfu/g, 其中西夏区显著高于永宁县和贺兰县 ($P < 0.01$); 亚表层 (20~40cm) 平均 42.3×10^5 cfu/g, 其中贺兰县显著高于西夏区和永宁县。综合来看, 西夏区 > 贺兰县 > 永宁县。

真菌数量表土层 (0~20cm) 平均 1.4×10^5 cfu/g, 其中三个地方的真菌数量互相之间都达到了极显著水平 ($P < 0.01$), 具体为西夏区 > 永宁县 > 贺兰县 ($P < 0.01$), 亚表层 (20~40cm) 平均 0.8×10^5 cfu/g, 其中永宁县显著高于西夏区和贺兰县 ($P < 0.05$)。综合来看, 西夏区真菌数量 > 贺兰县 > 永宁县。

放线菌数量表土层 (0~20cm) 平均 8.0×10^5 cfu/g, 其中三个地方的真菌数量互相之间都达到了极显著水平 ($P < 0.01$), 具体为贺兰县 > 永宁县 > 西夏区 ($P < 0.01$), 亚表层 (20~40cm) 平均 10.7×10^5 cfu/g, 其中三个地方的真菌数量互相之间都达到了极显著水平 ($P < 0.01$), 具体为贺兰县 > 西夏区 > 永宁县。综合来看, 贺兰县放线菌数量 > 西夏区 > 永宁县。

3.2 调查区域土壤综合肥力评价

3.2.1 相关性分析

为了探究各指标间的关系, 对土壤容重、孔隙度、pH、有机质、全盐、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、有效 Fe、有效 Zn、有效硼、细菌、真菌、放线菌共 15 项指

标进行相关性分析(皮尔逊相关性系数法)。由图3可知,土壤容重与有机质、全氮、碱解氮、有效铁呈显著负相关($P<0.05$),说明露地果园长期不施用有机肥容易造成土壤紧实,氮素含量降低。土壤有机质与速效钾、有效铁呈显著正相关($P<0.05$),与有效锌呈显著负相关($P<0.05$),说明有机

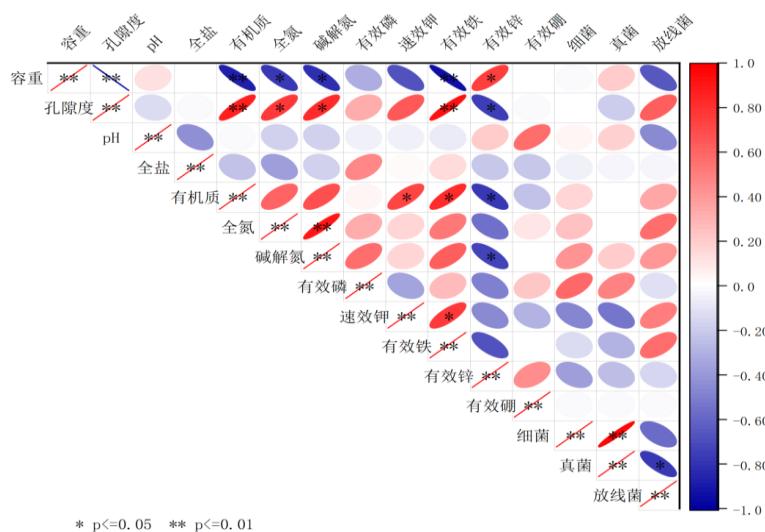
质对提高土壤速效钾和有效铁含量有一定的促进作用,但对土壤有效锌有阻碍作用。细菌数量与真菌数量呈极显著正相关($P<0.01$),真菌数量与放线菌数量呈显著负相关($P<0.05$),全氮与碱解氮呈极显著正相关($P<0.01$),速效钾与有效铁呈显著正相关($P<0.05$)。

表1 银川城郊果园土壤养分含量分析

地点 /Location	土层 /Soil Layer	全氮/Total Nitrogen (g/kg)	碱解氮 /Alkali-hydrolyzable Nitrogen (mg/kg)	有效磷 /Available Phosphorus (mg/kg)	速效钾 /Rapidly Available Potassium (mg/kg)	铁 /Iron (mg/kg)	锌 /Zinc (mg/kg)	有效硼 /Available Boron (mg/kg)
西夏区	0-20cm	1.01	49.21	22.45	108.75	21.20	9.60	0.62
西夏区	20-40cm	0.72	31.86	10.65	99.35	17.72	14.67	0.93
永宁	0-20cm	1.37	63.83	18.43	236.50	32.31	14.44	0.84
永宁	20-40cm	0.93	58.21	10.47	211.00	29.64	12.29	0.64
贺兰	0-20cm	0.93	61.82	35.13	105.50	28.38	12.47	0.76
贺兰	20-40cm	0.49	40.55	19.98	218.50	28.08	11.19	0.58
平均值	0-20cm	1.10	58.29	25.34	150.25	27.30	12.17	0.74
平均值	20-40cm	0.71	43.54	13.70	176.28	25.15	12.72	0.72
变异系数 /%	0-20cm	0.21	0.14	0.34	0.50	0.21	0.20	0.15
变异系数 /%	20-40cm	0.31	0.31	0.40	0.38	0.26	0.14	0.26

表2 银川城郊果园土壤微生物数量分析 单位: $1 \times 10^5 \text{cfu/g}$

土层 /Soil Layer	地点 /Location	细菌数量 /Bacterial population	真菌数量 /Fungal population	放线菌数量 /Actinomycete population
0~20cm	西夏区	169.9Aa	2.7Aa	7.1Cc
	永宁	19.9Bb	1.0Bb	7.4Bb
	贺兰	27.8Bb	0.5Cc	9.4Aa
	平均值	72.5	1.4	8.0
20~40cm	西夏区	30.3Bb	0.7Ab	9.1Bb
	永宁	27.0Bb	0.9Aa	6.6Cc
	贺兰	69.7Aa	0.7Ab	16.3Aa
	平均值	42.3	0.8	10.7



注: ** 表示相关性达 0.01 极显著水平; * 表示相关性达 0.05 显著水平。

图3 土壤养分与微量元素相关性

3.2.2 主成分分析

为进一步分析土壤各参评指标与取样区域之间的关系,对各参评指标进行主成分分析,计算特征值的贡献率和累积贡献率(图4),根据特征值大于1提取到4个主成分,方差贡献率分别为45.778%、31.743%、11.479%、9.851%,累积方差贡献率为98.851%,基本能反映土壤肥力的全部信息。由图2-5可知,第1主成分主要受锌含量(-0.911)、碱解氮含量(0.901)、容重(0.835)、孔隙度(-0.835)、有机质(0.765)支配,说明土壤中营养元素含量对土壤质量贡献较大,但缺少微量元素锌。第2主成分主要受速效钾含

量(0.924)、放线菌数量(0.871)、真菌数量(-0.831)、细菌数量(-0.711)支配,说明土壤中钾元素含量和放线菌数量对土壤质量贡献较大,但细菌、真菌数量与土壤质量负相关。第3主成分主要受有效硼含量(0.852)支配。第4主成分主要受pH(0.51)、全盐(0.552)全氮(-0.55)支配。由图6可知,3个调查区内,永宁地区0~20cm、20~40cm土壤综合得分均较高,土壤质量较好,其次是贺兰县,西夏区区域土壤综合得分均为最低,土壤健康状况较差,应针对当地土壤性质的变化,采取有效的土壤调控措施,防止或减缓露地果园土壤质量退化。

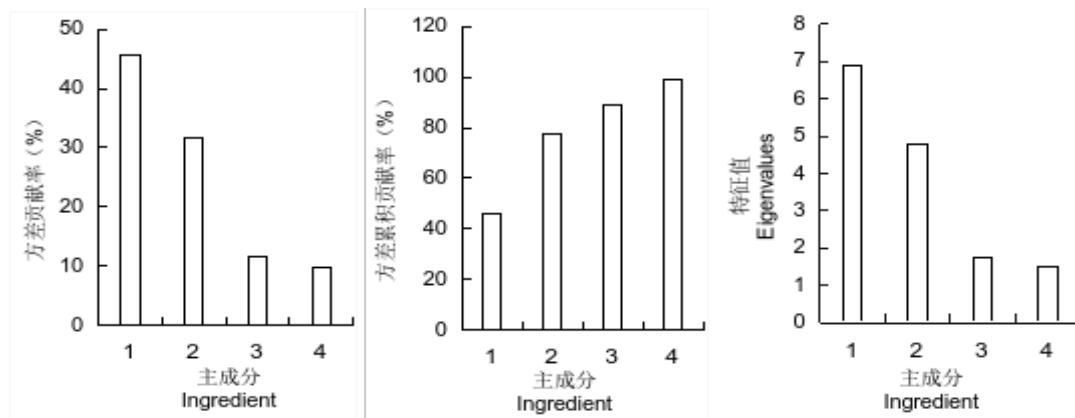


图4 主成分分析的方差贡献率、累计贡献率和特征值

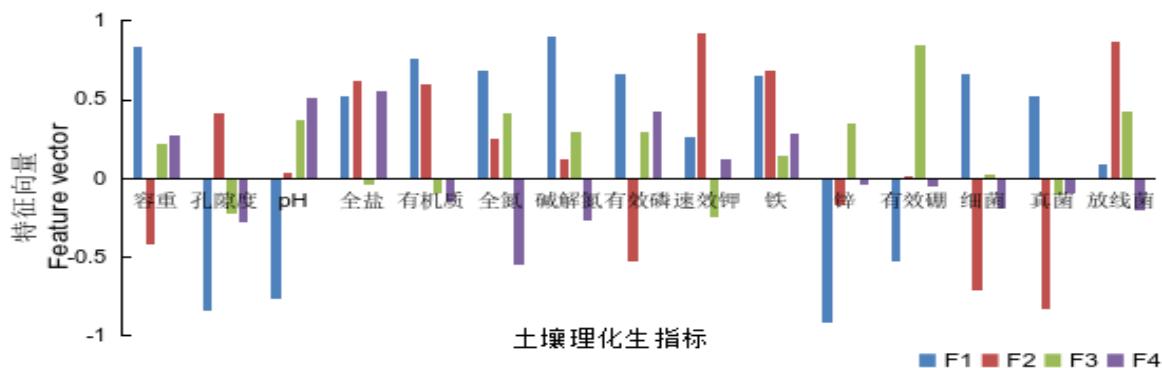


图5 主成分分析的特征向量

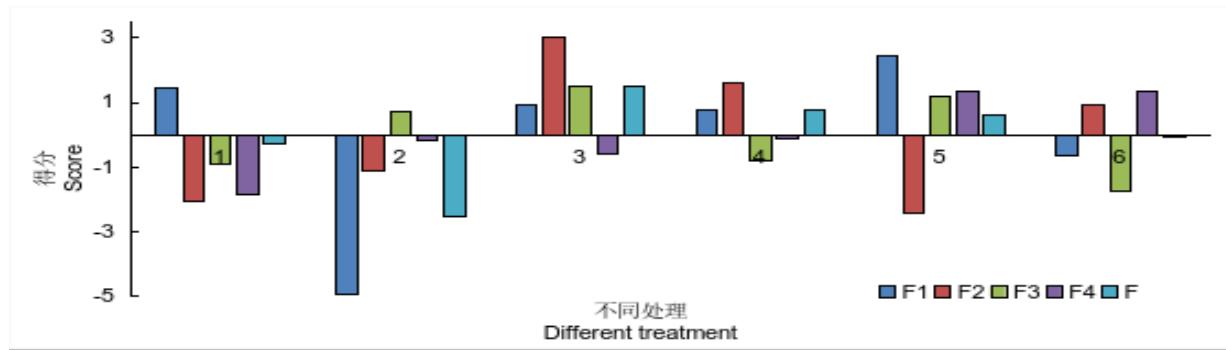


图6 各处理主成分得分及排名

4 讨论与结论

银川城郊作为宁夏特色果树种植的核心区域，其土壤质量直接影响果园生产力与果品品质。本研究基于9个代表性果园0~40cm土层的理化及微生物数据，结合主成分分析揭示土壤肥力特征及限制因子，从土壤物理结构来看，调查区域0~20cm、20~40cm土层容重分别达1.32g/cm³、1.45g/cm³，显著高于果树生长适宜的土壤容重阈值^[4]，且孔隙度随土层深度递减，反映出长期果园管理中深耕频次不足、机械压实等问题导致的土壤紧实化。土壤紧实不仅会阻碍果树根系的伸展与穿插，还会降低土壤通气性与透水性，进而抑制根系对养分的吸收效率，这与郭松超等^[5]研究结果一致。分区域来看，永宁县土壤容重最低、孔隙度最高，与其果园树龄较长、长期施用有机肥改善土壤团聚体结构有关；而西夏区土壤容重最高，与该区域果园机械化作业频繁、灌溉后表土板结加剧有关。

土壤化学性状方面，银川城郊果园土壤整体呈弱碱性，且亚表层pH高于表层，全盐含量0.22%属轻度盐渍化^[6]。研究发现土壤全氮含量处于适宜水平，但碱解氮含量严重不足，低于果树适宜值下限^[4]，核心原因在于碱性条件下硝化细菌活性受抑，导致有机氮向无机氮的转化受阻，进而减少果树可直接吸收的有效氮源；有效铁处于4级水平，虽在适宜范围内，但碱性土壤中易形成难溶性氢氧化铁，实际可被果树吸收的比例较低，这与罗园园等^[3]的研究结果一致。本研究中，永宁县土壤全盐含量最高，接近中度盐渍化阈值，可能是由于漫灌导致的地下水位上升与蒸发返盐是盐分累积的主要原因。建议永宁县果园应施用微生物菌剂或通过施用有机肥、磷石膏、酸性肥料等措施，逐步降低土壤pH值，并重点改善因pH高而引起的微量元素有效性的问题，同时应注意洗盐和排盐，才能收到预期的效果。

土壤微生物群落结构与养分特征的关联存在特殊性。永宁县土壤综合质量最优，但微生物总量显著低于西夏区，可能是永宁县土壤pH较高，强于西夏区，而高pH会破坏

微生物细胞膜结构、抑制酶活性，进而减少微生物数量；而且，永宁县速效钾含量极高，远高于适宜值上限，过量钾离子可能对部分微生物产生毒性抑制，导致群落数量下降。此外，贺兰县放线菌数量最高，放线菌作为分解有机质的关键微生物类群，其优势可能与贺兰县土壤有机质周转速率较高有关，这也为该区域土壤肥力维持提供了生物基础。

从果园管理实践来看，有机肥施用虽已普及，但高含量未转化为高利用率，因碱性土壤对养分的固定作用，导致部分养分无法被果树吸收；同时，氮素管理存在“总量充足但形态失衡”，全氮含量适宜但碱解氮不足，反映出施肥结构中“速效氮比例低、有机肥腐熟度不足”的问题。

银川城郊露地果园土壤偏紧实、弱碱性且轻度盐渍化，养分呈磷钾充足、碱解氮不足、有效铁利用率低的特征；主成分分析4个主成分累计贡献率98.85%，区域土壤质量永宁县最优、贺兰县次之、西夏区最差；土壤紧实化、弱碱性致氮素转化低效及微量元素有效性不足是核心限制因子，需通过深翻、增施有机肥与螯合微肥、间作绿肥（如紫花苜蓿）及施用微生物菌剂等等综合措施改良。

参考文献

- [1] <https://tjj.yinchuan.gov.cn/tjsj/ndsji/202401/P020240131343532184571.pdf>, 银川市统计局.
- [2] 全国农业技术推广服务中心.土壤分析技术规范.中国农业出版社.2006.6.
- [3] 绿色食品园地土壤肥力分级指标.中国科学院沈阳应用生态研究所,中国绿色食品发展中心.NYT391-2013,绿色食品产地环境质量[S].
- [4] 张玉星.果树栽培学各论(北方本第三版)[M].北京:中国农业出版社,2003:61-65.
- [5] 郭松超,庄元,郭凯璐,等.不同土壤管理方式对南疆芽变香梨优系土壤养分及酶活性的影响[J].北方园艺,2024(18):72-83.
- [6] 罗园园,陈萍,谷传申,等.贺兰山东麓酿酒葡萄产区土壤肥力特征与磷素形态分布状况[J].中外葡萄与葡萄酒,2024(06):25-31.