

长期有机无机肥配施对陕南核桃林地土壤肥力质量的影响

问 宏^{1,2}, 马爱生^{1*}, 张建国^{1,2}, 贺海耘², 翟梅枝²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 林学院核桃研究中心, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:比较长期有机无机肥配施对土壤化学及生物学性质的影响,综合分析评价土壤肥力质量,探索更加合理的配肥模式,为核桃施肥提供科学依据。共设置5种配肥模式:1)不施肥(CK);2)单施化肥(T1);3)化肥配施有机肥(T2);4)化肥配施生物有机肥(T3);5)化肥配施有机肥和生物有机肥(T4)。在核桃成熟期,对不同配肥模式下的土壤进行分层取样,测定0~60 cm土壤物理、化学及生物学指标,通过主成分分析对不同模式的土壤肥力质量进行评价。结果表明:1)T4处理的土壤全N、全P含量整体水平高于其他处理,在20~30 cm土层,T4处理的土壤有机质、硝态N、有效P、速效K含量最高,分别是CK处理的1.60、1.31、1.49、1.27倍($P<0.05$);在50~60 cm土层,T1处理的土壤硝态N含量最高,较T4处理高了29.67%($P<0.05$);在10~20 cm土层,T1处理的土壤铵态N含量最高,是CK处理的1.43倍($P<0.05$);在20~30 cm土层,T4处理的土壤pH显著低于其他处理,在30~40 cm土层,T4处理的土壤EC值最高,是CK处理的1.11倍($P<0.05$)。2)在5~40 cm土层,T4处理的土壤微生物量N、C显著高于其他处理($P<0.05$)。4)在0~5、5~10 cm土层,各处理土壤肥力质量得分为正,且高于下层;T4处理的土壤肥力质量综合得分整体水平高于其他处理。化肥配施有机肥和生物有机肥可显著增加土壤有机质含量,并可增加土壤微生物量,提高土壤的整体养分水平,防止N素损失及P、K的固定,具有提高土壤肥力质量的作用。

关键词:有机肥;生物有机肥;主成分分析;土壤肥力质量

中图分类号:S723.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2022)04-0114-09

Effects of Long-Term Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Fertility Quality of Walnut Forest in Shannan Region

WEN Hong^{1,2}, MA Ai-sheng^{1*}, ZHANG Jian-guo^{1,2}, HE Hai-yun², ZHAI Mei-zhi²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. Walnut Research Centre, College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: To compare the effects of long-term combined application of organic and inorganic fertilizers on soil chemical and biological properties; to comprehensively analyze and evaluate soil fertility quality; and to explore more ideal fertilization patterns, so as to provide more suitable basis for walnut fertilization. There were 5 types of combined fertilization models, including no fertilizer (control), chemical fertilizer (T1), chemical fertilizer with organic fertilizer (T2), chemical fertilizer with biological organic fertilizer (T3), chemical fertilizer with organic fertilizer and biological fertilizer (T4). During the walnut maturity period, the soil samples under different fertilization types were collected layer by layer, the physiochemical and biological indicators of 0–60 cm soil layer were measured, and the soil fertility quality under different types was analyzed by principal component. 1) The overall levels of total nitrogen, total phosphorus of T4

收稿日期:2021-07-11 修回日期:2021-07-27

基金项目:国家自然科学基金项目(41877541,41471222);陕西省重点研发计划项目(2020NY-039)。

第一作者:问 宏。研究方向:土壤养分。E-mail:583293531@qq.com

* 通信作者:马爱生,高级实验师。研究方向:土壤分析。E-mail:maaisheng@nwfau.edu.cn

were higher than other treatments. In the soil layer of 20–30 cm, organic matter, nitrate nitrogen, available phosphorus and available potassium contents of T4 treatment were the highest, which were 1.60, 1.31, 1.49, 1.27 times of the control, respectively ($P < 0.05$); in soil layer of 50–60 cm, T1 treatment had the highest nitrate nitrogen content, which was 29.67% higher than T4 treatment ($P < 0.05$); in soil layer 10–20 cm, T1 treatment had the highest ammonium nitrogen content, which was 1.43 times of the control ($P < 0.05$); in soil layer of 20–30 cm, soil pH of T4 treatment was significantly lower than other 4 treatments, in soil layer of 30–40 cm, and soil EC of T4 treatment was the highest, which was 1.11 times of the control ($P < 0.05$). 2) In the soil layer of 5–40 cm, the soil microbial biomass nitrogen and carbon of T4 treatment were significantly higher than other 4 treatments ($P < 0.05$). 3) In the soil layers of 0–5, 5–10 cm, soil fertility quality scores of each treatment were higher than the beneath layers; the overall soil quality score of the T4 treatment was higher than other 4 treatments. The combined application of chemical fertilizer, organic fertilizer and bio-organic fertilizer has significant effects on increasing soil organic matter content, increasing soil microbial biomass, improving soil nutrient levels, and preventing nitrogen loss and phosphorus and potassium fixation, and improving soil fertility quality.

Key words: organic fertilizer; bio-organic fertilizer; principal component analysis; soil fertility quality

核桃(*Juglans regia*)在我国栽培历史悠久,在食用和油用上占有重要地位^[1]。随着核桃产业的快速发展,核桃的栽种面积不断扩大,但近年来核桃价格不稳定且总体偏低,农户为了效益最大化,实行成本控制,在核桃种植上进行粗放式管理,盲目施用化肥,淡化生物有机肥,甚至不施肥,造成土壤性状破坏,导致土壤肥力下降,肥料利用率降低,土壤质量整体偏低,严重制约了核桃产业的发展^[2-4]。

土壤质量是土壤肥力的核心内容,土壤肥力会影响土壤的生产力^[5-6]。目前,很多学者对核桃土壤肥力进行了相关研究,比如:邹奇峰等^[7]研究了农用核桃林地土壤肥力特征,发现磷普遍缺乏,提出应增施有机肥;倪幸等^[8]研究了有机物料对山核桃林地土壤的培肥改良效果,得出有机物料能够提高土壤速效养分,提升土壤肥力;孙薇等^[9]研究生物有机肥对核桃园土壤微生物群落和酶的影响,得出生物有机肥可显著提高土壤有机质及养分含量,改善土壤性状;刘杜玲等^[10]通过研究氮磷钾配方肥对核桃产量和品质的影响,得出不同配方肥对核桃产量及单果重影响不同。化肥时配施有机肥可以改善作物根系周围的土壤环境,提高土壤质量^[11-12]。近年来对于核桃土壤的研究多集中在表层养分方面,对于养分在土壤中的垂直变化及不同配肥模式下土壤肥力质量的研究相对较少。因此,笔者通过研究长期有机无机肥配肥模式下核桃林地土壤物理性状、化学养分以及微生物量氮碳的变化,综合评价不同配肥模式对土壤肥力质量影响,以期筛选出合理的配肥模式,为核桃生产园施肥和土壤养分管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验地点位于陕西省山阳县郭家村西北农林科技大学核桃试验示范站(33°31'17"N, 109°57'33"E),地处秦岭南侧,属北亚热带和暖温带交界区域,季风性半湿润山地气候,土壤为红黏土,土壤肥力较差。长期定位试验从2013年春开始,已进行8 a施肥,供试品种为早实核桃‘香玲’,株行距为5 m×6 m南北行向定植,树势健壮,长势均匀。供试肥料为有机肥(有机质30%、蛋白质含量30%、氨基酸含量12%、钙含量12%);化肥(N:P₂O₅:K₂O含量比18:18:18);生物有机肥(有机质40%、活菌数0.2亿/g)。施肥时间为每年10月下旬,施肥位置在树干两侧1 m向下开沟30 cm。

1.2 研究方法

长期有机无机配施试验结合当地施肥习惯及试验数据共设置5种配肥模式:不施肥(CK);单施化肥(T1);化肥配施有机肥(T2);化肥配施生物有机肥(T3);化肥配施有机肥和生物有机肥(T4),具体配肥方案见表1。于2020年8月份核桃成熟期时,在不同配肥的核桃林地随机选取4个采样点,采样位置位于树干与施肥位置中间,分别采集0~5、5~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60 cm土层土样,每个土样分鲜土和干土2部分,鲜土用于测定土壤硝态氮、铵态氮、微生物量N、微生物量C,干土分别过2、1 mm和0.149 mm筛,用于测定土壤主要化学性质(pH、EC、有机质、全N、全P、全K、有效P、速效K)。

土壤基本理化性状采用常规分析法测定^[13]。有

机质采用重铬酸钾容量法测定;全 N 含量采用元素分析仪测定;全 P 含量采用 NaOH 熔融钼锑抗比色法测定;全 K 含量采用 NaOH 熔融火焰光度计测定;硝、铵态 N 采用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 浸提,AA3 连续流动分析仪测定;有效 P 含量采用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 浸提,钼锑抗比色法测定;速效 K 含量采用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4OAc 浸提,火焰光度计测定;土壤 pH 和 EC 值采用酸度计和电导仪测定;土壤微生物量 N、C 采用氯仿熏蒸- K_2SO_4 提取法测定^[14]。

表 1 长期定位有机无机配肥方案

Table 1 Long-term positioning of organic-inorganic fertilizer schemes ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

处理	速效 N、P、K 投入量			有机肥	生物有机肥
	N	P_2O_5	K_2O		
CK	0	0	0	0	0
T1	59.4	59.4	59.4	0	0
T2	59.4	59.4	59.4	660	0
T3	59.4	59.4	59.4	0	990
T4	59.4	59.4	59.4	660	499

1.3 数据处理与土壤肥力质量评价

利用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理统计,运用 SPSS 软件进行方差分析及主成分分析,其中方差分析采用最小显著差异法(LSD)进行多重比较($P < 0.05$),利用主成分分析法提取主成分并计算土壤肥力质量综合得分。评价步骤如下:1)评价指

标选取;2)评价指标进行标准化处理;3)对标准化后的指标进行主成分分析,提取能反映原始数据信息总量 85.00% 以上的主成分;4)以各主成分得分计算土壤肥力质量综合得分^[15]。主成分分析计算土壤肥力质量综合得分公式: $F = F_1 \cdot \delta_1 + F_2 \cdot \delta_2 + \dots + F_n \cdot \delta_n$ 。式中, F 指土壤肥力综合得分; F_1 指主成分分析中提取出的第 1 主成分的得分; δ_1 为第 1 主成分的方差贡献率; F_n 指主成分分析中提取的第 n 主成分的得分; δ_n 为第 n 主成分的方差贡献率。

2 结果与分析

2.1 不同配肥模式对土壤化学性质的影响

2.1.1 不同配肥模式对土壤有机质、pH、EC 的影响 由图 1A 可知,不同处理有机质含量随土层深度的增加而逐渐降低。在表层 0~5 cm, T4 处理有机质含量(8.66 g/kg)显著高于(CK) 5.73 g/kg ($P < 0.05$), T3 与 T2 处理之间无显著差异;在 5~10 cm 土层, T4 处理比 CK 高 34.46%, 差异显著;在 20~30 cm 土层,各处理土壤有机质含量大小关系为: T4(8.04 g/kg) > T3(6.55 g/kg) > T2(5.36 g/kg) > T1(5.21 g/kg) > CK(4.96 g/kg), 且在 $P < 0.05$ 水平, T4 处理较 10~20 cm 土层提高了 9.9%, 对有机质的提升作用比较明显;在 40~50、50~60 cm 土层, T1、T2、T3 处理间无显著差异, T4 处理显著高于其他各处理。

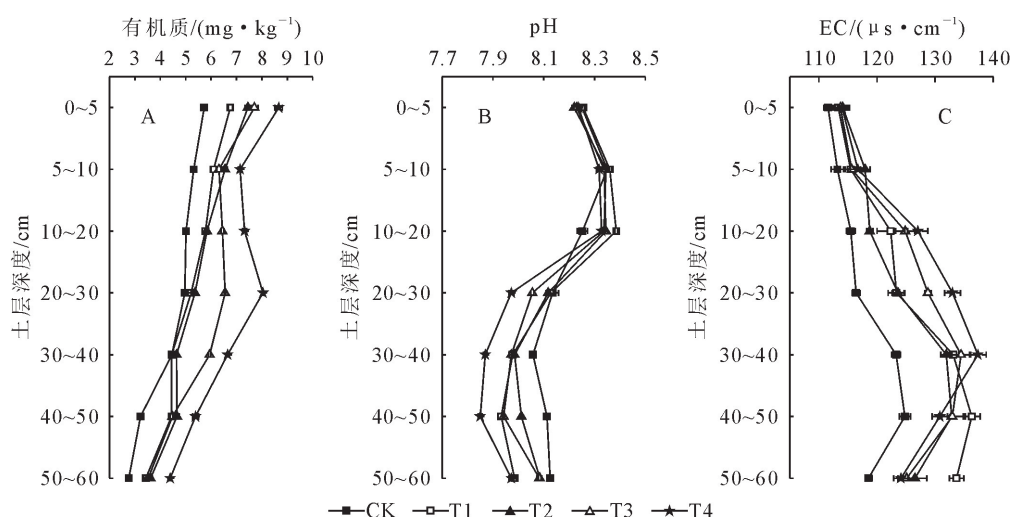


图 1 不同配肥模式土壤有机质、pH、EC 的垂直分布特征

Fig. 1 Vertical distribution of soil organic matter, pH and EC under different combined fertilization models

由图 1B 可知,随着土层深度的增加,不同处理土壤 pH 均呈先升高后降低趋势。在 0~5、5~10 cm 土层,各处理差异不显著;在 10~20 cm 土层, T1 处理 pH 显著高于 CK、T2、T3、T4 处理;在 20~30 cm 土层,不同处理整体降低, T4 处理为 7.97, 显著低于其他处理,且较 10~20 cm 土层降低

4.26%, 降幅最大;在 30~40、40~50 cm 土层, T4 处理显著低于 CK 处理,且 T2、T3 处理差异不显著。

由图 1C 可知,不同处理的土壤 EC 随着土层深度的增加均呈现为先升高后降低趋势。在 0~5、5~10 cm 土层, CK 处理显著低于其他处理;在 10~20、20~30 cm 土层, T3、T4 处理呈升高趋势,且

显著高于CK;在30~40 cm土层,各处理均呈升高趋势,T1、T2、T3处理差异不显著,T4处理增幅最大,显著高于其他处理,是CK的1.11倍;在40~50、50~60 cm土层,各处理均继续降低,且T1处理显著高于其他处理。

2.1.2 不同配肥模式对土壤全量养分的影响 由图2可知,不同处理土壤全N、全P、全K含量随土层深度的增加均呈下降趋势。图2A表明,各处理土壤全N含量在0~5、5~10、10~20 cm土层无显著差异;在20~30 cm土层,T4处理为0.48 g/kg,显著高于CK;在30~40 cm土层,T2、T3、T4处理无显著差异,但高于CK、T1($P < 0.05$),在50~60 cm土层,各处理土壤全N含量无显著差异。

由图2B可知,在0~5、5~10 cm土层,各处理

差异不显著;在10~20 cm土层,T4处理为0.56 g/kg,是CK的1.1倍($P < 0.05$),与T3、T2无显著差异;在20~30 cm土层,各处理较10~20 cm土层呈明显降低趋势,T4处理土壤全P含量为0.51 g/kg,显著高于其他各处理;在30~40、40~50 cm土层,各处理均呈下降趋势,无显著差异;在50~60 cm土层,T4处理为0.45 g/kg,高于CK($P < 0.05$),CK、T1、T2、T3处理间无显著差异。

由图2C可知,在0~5、5~10、10~20 cm土层,各处理土壤全K含量无显著差异,趋势比较平缓;在20~30、30~40、40~50 cm土层,各处理较表层下降趋势明显,处理间无显著差异;在50~60 cm土层,各处理都呈明显降低趋势,T4处理为23.93 g/kg,较40~50 cm土层降低0.83%,降幅最低。

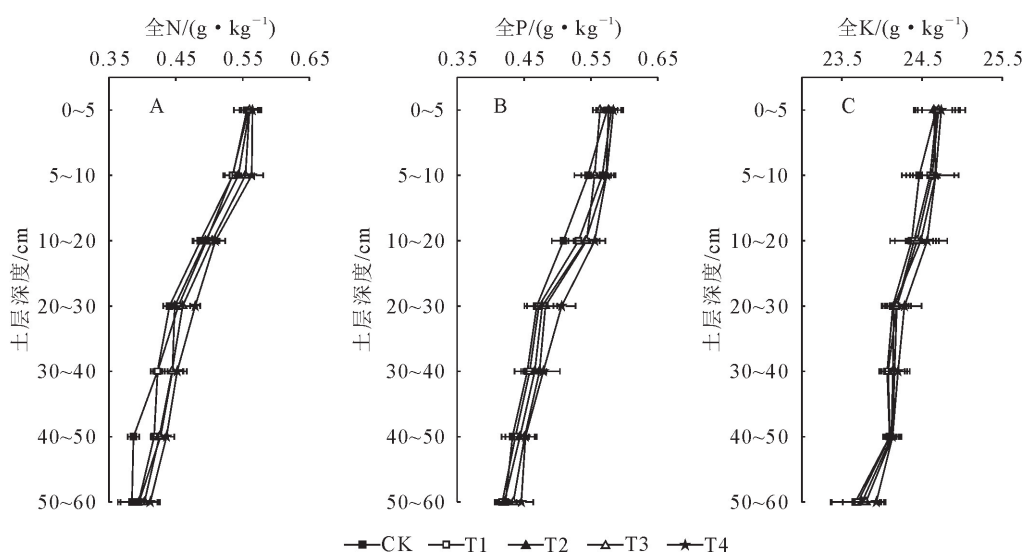


图2 不同配肥模式土壤全N、全P、全K含量的垂直分布特征

Fig. 2 Vertical distribution of soil total nitrogen, total phosphorus and total potassium contents under different fertilization models

2.1.3 不同配肥模式对土壤速效养分的影响 由图3A可知,不同处理土壤硝态氮含量随土层深度的增加逐渐降低。在0~5 cm土层,T4、T3处理显著高于其他各处理,相互间无显著差异;在5~10 cm土层,各处理的土壤硝态N含量均有小幅度的增高,T3处理含量最高,比CK高18.9%,T1、T2、T3处理间无显著差异;在20~30 cm土层,各处理土壤硝态氮含量的大小关系为T4(2.46 mg/g) > T3(2.38 mg/g) > T2(2.29 mg/g) > T1(2.14 mg/g) > CK(1.88 mg/g) ($P < 0.05$);在40~50 cm土层,T2、T3、T4处理的土壤硝态N含量较30~40 cm土层分别降低16.94%、24.89%、28.75%,T1处理明显升高,显著高于其他各处理;在50~60 cm土层,T1处理含量为2.11 mg/kg,显著高于其他各处理,较40~50 cm土层增加12.83%。

由图3B可知,随着土层深度的增加,不同处理铵态氮含量均呈先升高后降低趋势。在0~5、5~10 cm

土层,T1处理的土壤铵态N含量分别为4.25 mg/kg、4.52 mg/kg,显著高于其他各处理($P < 0.05$);在10~20 cm土层,CK、T3、T4处理大幅降低,T1处理含量最高,显著高于其他各处理,是CK处理的1.43倍($P < 0.05$);在40~50、50~60 cm土层,T1处理的土壤铵态N含量降至为3.17 mg/kg、3.05 mg/kg,显著低于T4处理($P < 0.05$)。

由图3C可知,不同处理土壤有效P含量随土层深度的增加而逐渐降低。在0~5 cm土层,T4、T2处理无显著差异,T3、T1处理无显著差异;在5~10 cm土层,T4处理最高,是CK的1.16倍,T1、T2、T3处理无显著差异;在10~20 cm土层,CK、T1处理的土壤有效P含量显著低于其他各处理,比5~10 cm土层分别降低30.28%、24.64%,T4、T2处理无显著差异;在20~30 cm土层,各处理土壤有效P含量的大小关系为:T4(37.09 mg/kg) > T2(35.52 mg/kg) > T3(33.85 mg/kg) > T1

(28.95 mg/kg) > CK (24.96 mg/kg) ($P < 0.05$); 在 30~60 cm 土层, T4、T3、T2 处理显著高于 CK, 相互间无显著差异。

由图 3D 可知, 不同处理土壤速效钾含量随土层深度的增加呈降低—升高—降低趋势。在 0~5 cm 土层, T4 处理显著高于其他各处理, 比 CK 高 22.96%, T1、T2 处理无显著差异; 在 5~10 cm 土层,

T4 处理显著高于其他各处理, T2、T3 处理无显著差异; 在 10~20 cm 土层, T4、T3 处理无显著差异, T3 处理最高, 是 CK 的 1.19 倍 ($P < 0.05$); 在 20~30 cm 土层, T4、T3、T2 处理无显著差异, T4 处理较 10~20 cm 土层增加 5.07%, 增幅最大; 在 30~40、40~50、50~60 cm 土层, T4 处理显著高于其他各处理 ($P < 0.05$), T1、T2、T3 处理无显著差异。

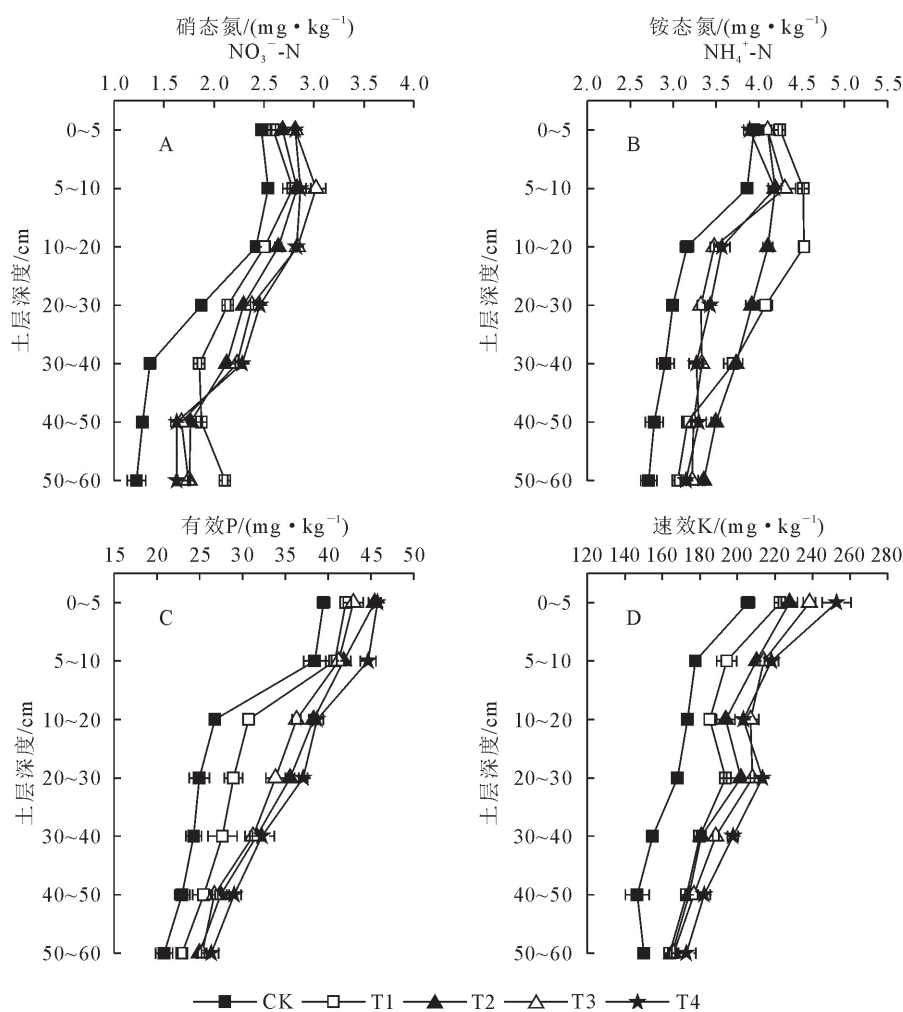


图 3 不同配肥模式土壤硝态氮、铵态氮、有效 P、速效 K 含量的垂直分布特征

Fig. 3 Vertical distribution of soil nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, available phosphorus and available potassium under different combined fertilization modes

2.2 不同配肥模式对土壤微生物 N、C 的影响

由图 4 可知, 不同处理土壤微生物量 N、C 随土层深度的增加均呈下降趋势。图 4A 表明, 在 0~5 cm 土层, T4 处理的土壤微生物量 N 为 10.34 mg/kg, 显著比 CK 高 2.08 mg/kg, T2、T3 处理无显著差异; 在 5~10 cm 土层, CK 处理较 0~5 cm 土层降低 51.69%, T4 处理显著高于其他各处理, 是 CK、T1、T2、T3 的 2.17、1.62、1.41、1.31 倍 ($P < 0.05$); 在 10~20、20~30 cm 土层, T4 处理的土壤微生物量 N 分别为 6.12 mg/kg、5.04 mg/kg, 显著高于其他各处理, 比 CK 高 106.28%、118.29%; 在

30~40 cm 土层, CK、T1 处理较 20~30 cm 土层分别降低 61.45%、44.36%, T2、T3 处理无显著差异, T4 处理显著高于其他各处理; 在 40~50、50~60 cm 土层, 各处理变化比较平缓, CK、T1 处理无显著差异, 但显著低于其他各处理。

由图 4B 可知, 在 0~5 cm 土层, T4 处理的土壤微生物碳含量最高为 97.95 mg/kg, 显著高于 CK 处理 ($P < 0.05$); 在 5~10 cm 土层, T4 处理显著高于其他各处理, CK、T1 处理比 0~5 cm 土层分别降低 51.88%、49.48%, T2、T3 处理无显著差异; 在 20~30 cm 土层, 各处理的土壤微生物碳含量大小

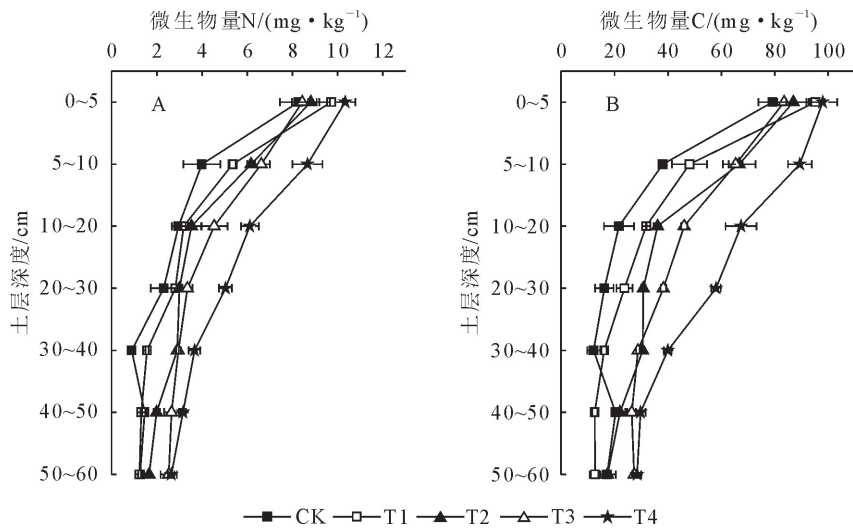


图 4 不同配肥模式土壤微生物量 N、C 的垂直分布特征

Fig. 4 Vertical distribution of soil microbial biomass nitrogen and microbial biomass carbon under different combined fertilization modes

关系为 T4(58.03 mg/kg) > T3(38.28 mg/kg) > T2(30.79 mg/kg) > T1(23.76 mg/kg) > CK(16.22 mg/kg) ($P < 0.05$); 在 40~50、50~60 cm 土层, T1 处理显著低于其他各处理, 比 T4 处理分别低 57.57%、55.28%。

2.3 不同配肥模式土壤肥力质量评价

对涉及的土壤肥力指标进行主成分分析, 以累计方差贡献率 $\geq 85\%$ 作为提取原则, 取得 2 个主成分, 第 1 主成分对方差贡献率为 78.87%, 第 2 主成分对方差贡献率为 10.16%, 前 2 个主成分累计贡献率达 89.04%, 说明前 2 个主成分可代表所有肥力指标 89.04% 的信息 (表 3)。比较各指标在 2 个主成分因子下的载荷分布 (图 5) 可以看出, F1 以有机质、全 N、全 P、全 K、有效 P、速效 K、硝态 N、铵态 N、微生物量 N、微生物量 C、pH、EC 为主要影响因素, 其中有机质、全 K、速效 K 是反映土壤肥力的重要因指标, 全 N、全 P 表征土壤总 N、总 P 水平, 土壤硝态 N、铵态 N、有效 P、速效 K 反映土壤养分供应状况, 土壤微生物量 N 和土壤微生物量 C 反映土壤生物性状; 土壤 EC 值在 F2 中载荷值最大, 表明土壤含盐量是影响作物生长的关键因子。

对不同处理结果进行统计分析计算出 F1 与 F2 得分, 并与之相应的方差贡献率作为权重进行加权求和计算出土壤肥力质量综合得分 (图 6)。不同处理土壤肥力质量得分随土层深度的增加均呈降低趋势, 在 0~5、5~10 cm 土层, 各处理土壤肥力质量得分均为正; 在 10~20 cm 土层, CK 处理得分 -0.59, 低于其他各处理; 在 20~30 cm 土层, T4 处理的土壤质量综合得分为 1.01, CK、T1、T2、T3 处理的土壤肥力质量得分均为负; 在 30~40、40~50、50~60 cm 土层, 不同处理土壤肥力质量得分均为

负, 且 T4 处理得分高于其他各处理。

表 3 土壤肥力质量性状的主成分提取及旋转因子载荷矩阵

Table 3 Principal component extraction and rotated component matrix of soil fertility quality		
土壤肥力指标	主成分 1(F ₁)	主成分 2(F ₂)
pH	0.722	-0.624
EC	-0.654	0.644
SOM	0.862	0.420
TN	0.985	-0.064
TP	0.981	-0.103
TK	0.952	-0.025
NO ₃ ⁻ -N	0.907	0.061
NH ₄ ⁺ -N	0.806	-0.119
AP	0.969	0.133
AK	0.894	0.380
MBN	0.935	0.124
MBC	0.920	0.168
特征值	9.465	1.220
VC(%)	78.87	10.16
CVC(%)	78.87	89.03

注: EC—土壤电导率; SOM—土壤有机质含量; TN—全氮; TP—全磷; TK—全钾; AP—有效磷含量; AK—速效钾含量; MBN—微生物量氮; MBC—微生物量碳; VC—方差贡献率; CVC—累积方差贡献率。下同。

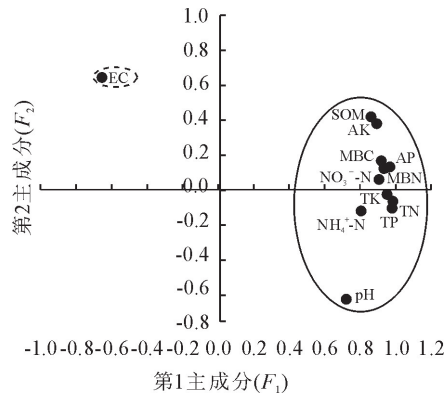


图 5 旋转因子载荷分布

Fig. 5 Loading distribution of the rotated factors

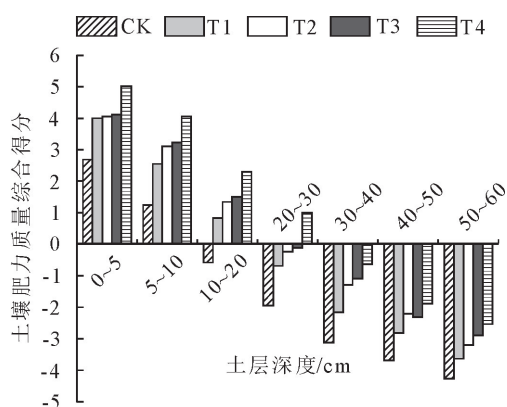


图6 土壤肥力质量综合得分

Fig. 6 Comprehensive score of soil fertility quality

3 讨论

3.1 不同配肥模式对核桃林地土壤化学性质的影响

Cong 等^[16]研究认为,相比于普通有机肥,施用生物有机肥提高了土壤微团粒结构及土壤有机碳含量。土壤肥力变化和养分吸收是一个复杂的过程,土壤有机质是土壤肥力的重要基础物质,李彦等^[17]通过定位试验发现,长期施用有机肥能明显提高土壤有机质含量。本研究发现,配施有机肥和生物有机肥可显著提高土壤有机质含量,这与前人研究结果^[18-19]一致。在 20~30 cm 土层,配施有机肥及生物有机肥的土壤有机质含量比不施肥和单施化肥分别高 62.09%、54.32%,一方面增加了外源有机质,另一方面生物有机肥中的微生物进行生命活动。

本研究表明,化肥配施有机肥和生物有机肥模式,可有效提高土壤全 N、全 P 含量,这与高菊生等^[20]研究相似。土壤中 N 的形态可分为无机态 N 和有机态 N,无机态 N 主要是指土壤中的硝态 N 和铵态 N,是植物主要吸收的 N 素,但含量一般只占全 N 的 1%~2%,施用有机肥可直接增加土壤有机氮含量,其中富里酸氮、氨基糖态氮和氨基酸态氮增加较多^[21],不仅能够提高土壤中的硝态 N 含量,也防止硝酸盐的淋洗和铵态 N 挥发。由图 3A 可以看出,配施有机肥和生物有机肥的硝态氮含量在 20~30 cm 土层显著 ($P < 0.05$) 高于单施化肥,而在 40~50、50~60 cm 土层,单施化肥的土壤硝态氮含量呈升高趋势,且显著 ($P < 0.05$) 高于其他处理,说明硝态 N 的淋洗比较严重。由图 3B 可以看出,单施化肥的铵态 N 含量在 0~30 cm 土层显著 ($P < 0.05$) 高于其他处理,且在 5~10 cm 土层最高,可能是在没有增施有机肥的情况下,土壤 N 素易以铵态氮的形式发生挥发,损失在环境中。由此可见,在施化肥的基础上配施生物有机肥对于提高土壤 N 素

含量具有重要意义。土壤的酸碱性对 P 的形态及有效性影响较大,同时配施有机肥和生物有机肥的土壤 pH 在 20~30 cm 土层下降明显,而土壤有效 P 显著 ($P < 0.05$) 高于其他处理,这可能是有机质在分解的时候产生一定的有机酸,不仅降低了土壤 pH,还可通过对部分有机 P 进行矿化、溶解等方式活化土壤中难利用的 P,减少 P 素的固定,从而提高土壤 P 的有效性^[22-23],土壤 pH 是影响核桃土壤养分有效性的重要因素之一^[24],由图 3D 可以看出,在 20~30 cm 土层,同时配施有机肥和生物有机肥的土壤速效钾含量显著 ($P < 0.05$) 高于其他配肥模式,可能是有机肥和生物有机肥中的 K 素有效转化率高于化学 K 肥。与化学 K 肥相比,有机肥速效 K 和缓效 K 被土壤固定程度明显降低,故在土壤中有有效性较高^[25]。

3.2 不同配肥模式对核桃林地土壤微生物生物量的影响

土壤微生物生物量既是土壤有机质和土壤养分转化与循环的动力,又可作为土壤中植物有效养分的储备库^[26]。有机物料与化肥配合施用使土壤微生物固定无机 N 的能力增强,但固定量和固定强度因碳源物质、施用量和腐解条件而异^[27]。本研究表明,配施有机肥和生物有机肥相比于不施肥和单施化肥,明显提高了土壤微生物量 N、C,这与李春越等^[28]的研究结果相似。同时配施有机肥和生物有机肥的土壤微生物量 N、C 显著 ($P < 0.05$) 高于其他处理,一方面可能是有机质源比较丰富,配施的生物有机肥里面微生物可以最大程度地进行繁殖,加速土壤有机质矿化分解,改善土壤理化性状,进而维持较高的土壤微生物量^[29];另一方面可能是由于施用生物有机肥可使 N 的表现利用率提高,有效缓解了土壤中 NH_3 的挥发及 NO_3^- 的淋洗,通过同化作用使较多的 N 素迁移到微生物体内进行暂时固定^[30]。

3.3 不同配肥模式下核桃林地土壤肥力质量变化

土壤肥力质量是土壤质量综合评价的一个重要方面,虽然评价方法较多但目前尚无统一的方法。本研究利用较为常用的主成分分析法^[31]对不同配肥模式核桃林地土壤肥力质量进行评价,将 12 个原始指标降维,提取 2 个主成分,累计贡献率达 89.04%。比较 2 个主成分发现,第 1 主成分的累计贡献率为 78.87%,而第 2 主成分贡献率仅为 10.16%。从各指标的变化看,配施有机肥及生物有机肥的土壤有机质、有效 P、速效 K 均显著 ($P < 0.05$) 高于不施肥和单施化肥,这与主成分分析法所得到的土壤肥力评价结果具有一致性^[32,34]。土壤

肥力质量得分的土层间变化表明,不同配肥模式土壤肥力质量得分随土层深度持续下降,说明土壤肥力随土层深度也在逐渐降低。在施肥层位置,同时配施有机肥和生物有机肥的土壤肥力质量得分最高且为正,说明配施有机肥和生物有机肥对土壤肥力具有提高作用。一方面可能是有机质本身含有一定的养分;另一方面可能是增加的微生物进行养分分解,促进了有效养分的释放。这与温延臣等^[35]的研究结果相似,可见长期施用生物有机肥能提高土壤肥力。

4 结论

长期化肥配施有机肥和生物有机肥的模式对核桃土壤肥力质量提升的效果最显著。配施有机肥和生物有机肥对土壤有机质及微生物的提升效果显著,有较强的培肥效应,可提高土壤整体 N、P 及 K 水平。

在施化肥的基础上配施有机肥和生物有机肥可显著改变土壤的酸碱性,平衡土壤内部环境,不仅提高有效养分的转化率,还减少 N 的淋洗和挥发。

为了保证陕南核桃土壤肥力质量的持续提高,建议应用化肥配施有机肥和生物有机肥的合理施肥模式。

参考文献:

- [1] 宋斌,刘茂枝,张文娥,等. 贵州核桃主产区核桃园土壤养分丰缺状况[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 65-74.
SUN B, LIU M Q, ZHANG W E, *et al.* Status of soil fertility in walnut orchard areas of Guizhou[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2020(6): 65-74. (in Chinese)
- [2] 祝小祥,徐祖祥,徐进,等. 临安市核桃主产区土壤理化性状变化的研究[J]. 农学报, 2014, 4(6): 32-35, 40.
ZHU X X, XU Z X, XU J, *et al.* A study on the change in soil physical and chemical properties in the Chinese hickory production area of Lin'an[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 4(6): 32-35, 40. (in Chinese)
- [3] 张齐,同延安,杜春燕,等. 陕西省商洛核桃产区施肥现状评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 479-488.
- [4] 郭颖,聂朝俊,向仰州,等. 不同核桃农林复合经营模式对土壤肥力的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(2): 391-397.
GUO Y, NIE C J, XIANG Y Z, *et al.* Effect of different agroforestry patterns on soil fertility in *Juglans regia* orchards[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2016, 47(2): 391-397. (in Chinese)
- [5] 刘世梁,傅伯杰,刘国华,等. 我国土壤质量及其评价研究的进展[J]. 土壤通报, 2006(1): 137-143.
LIU S L, FU B J, LIU G H, *et al.* Research review of quantitative evaluation of soil quality in China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006(1): 137-143. (in Chinese)
- [6] 刘江,袁勤,张立欣,等. 库布齐沙漠北缘不同人工灌木林地土壤肥力质量状况[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(2): 46-53.
LIU J, YUAN Q, ZHANG L X, *et al.* Soil quality assessment in different artificial shrub plantations in Northern Margin of Kubuqi desert, China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(2): 46-53. (in Chinese)
- [7] 郭奇峰,阮弋飞,章林英,等. 临安市农地土壤氮磷钾现状与历史演变及施肥对策[J]. 中国农学通报, 2017, 33(23): 42-50.
- [8] 倪幸,窦春英,丁立忠,等. 有机物料对山核桃林地土壤的培肥改良效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(5): 1266-1275.
- [9] 孙薇,钱勋,付青霞,等. 生物有机肥对秦巴山区核桃园土壤微生物群落和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1224-1233.
- [10] 刘杜玲,张博勇,彭少兵,等. 氮磷钾配方施肥对核桃产量和品质指标的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(6): 113-117.
LIU D L, ZHANG B Y, PENG S B, *et al.* Effects of nitrogen, phosphorus and potassium formula fertilizers on the yield and quality of walnut fruit[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(6): 113-117. (in Chinese)
- [11] YANG J, GAO W, REN S R. Long-term effects of combined application of chemical nitrogen with organic materials on crop yields, soil organic carbon and total nitrogen in fluvo-aquic soil[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 151(3): 67-74.
- [12] WEI W L, YAN Y, CAO J, *et al.* Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2016, 225: 86-92.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2007: 30-108.
- [14] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [15] 朱建平,殷瑞飞. SPSS 在统计分析中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 103-125.
- [16] CONG P F, OUYANG Z, HOU R X, *et al.* Effects of application of microbial fertilizer on aggregation and aggregate-associated carbon in saline soils[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 168: 33-41.
- [17] 李彦,孙翠屏,井永苹,等. 长期施用有机肥对潮土土壤肥力及硝态氮运移规律的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1386-1394.
- [18] 赵佐平,同延安,刘芬,等. 长期不同施肥处理对苹果产量、品质及土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(11): 3091-3098.
ZHAO Z P, TONG Y A, LIU F, *et al.* Effects of different long-term fertilization patterns on Fuji apple yield, quality, and soil fertility on Weibei Dryland, Shaanxi Province of Northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(11): 3091-3098. (in Chinese)
- [19] 张迎春,颜建明,李静,等. 生物有机肥部分替代化肥对莴笋及土壤理化性质和微生物的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 196-205.
ZHANG Y C, XIE J M, LI J, *et al.* Effects of partial substitution of chemical fertilizer by bio-organic fertilizer on *Asparagus lettuce* and soil physical-chemical properties and microorganisms[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33

- (4):196-205. (in Chinese)
- [20] 高菊生,黄晶,董春华,等.长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响[J].土壤学报,2014,51(2):314-324.
GAO J S,HUANG J,DONG C H,*et al.* Effects of long-term combined application of organic and chemical fertilizers on rice yield and soil available nutrients[J]. *Acta Pedologica Sinica*,2014,51(2):314-324. (in Chinese)
- [21] XU Y C,SHEN Q R,RAN W. Content and distribution of forms of organic N in soil and particle size fractions after long-term fertilization[J]. *Chemosphere*,2003,50(6):739-754.
- [22] 熊新武,李俊南,浦文静,等.基于 Nemerow 法的核桃林土壤肥力分析与评价[J].西北林学院学报,2020,35(3):126-132,160.
XIONG X W,LI J N,PU W J,*et al.* Soil fertility analysis and evaluation of walnut grove based on nemerow method[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2020,35(3):126-132,160. (in Chinese)
- [23] 章永松,林咸永,罗安程,等.有机肥(物)对土壤中磷的活化作用及机理研究— I.有机肥(物)对土壤不同形态无机磷的活化作用[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):145-150.
ZHANG Y S,LIN X Y,LUO A C,*et al.* Studies on activation of phosphorus by organic manure in soils and its mechanisms— I. effect of organic manure(matter) on activation to different phosphate in soils[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*,1998,4(2):145-150. (in Chinese)
- [24] 赵晓齐,鲁如坤.有机肥对土壤磷素吸附的影响[J].土壤学报,1991,28(1):7-13.
ZHAO X Q,LU R K. Effect of organic manures on soil phosphorus absorption[J]. *Acta Pedologica Sinica*,1991,28(1):7-13. (in Chinese)
- [25] 周晓芬,张彦才,李巧云.有机肥料对土壤钾素供应能力及其特点研究[J].中国生态农业学报,2003,11(2):61-63.
ZHOU X F,ZHANG Y C,LI Q Y. The K supplying capability and characteristics of organ fertilizers to soil[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*,2003,11(2):61-63. (in Chinese)
- [26] 徐阳春,沈其荣,冉炜.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J].土壤学报,2002,39(1):83-90.
XU Y C,SHEN Q R,RAN W. Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C,N, and P after sixteen years of cropping [J]. *Acta Pedologica Sinica*,2002,39(1):83-90. (in Chinese)
- [27] 梁斌,周建斌,杨学云.长期施肥对土壤微生物生物量碳、氮及矿质态氮含量动态变化的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):321-326.
LIANG B,ZHOU J B,YANG X Y. Changes of soil microbial biomass carbon and nitrogen, and mineral nitrogen after a long-term different fertilization[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*,2010,16(2):321-326. (in Chinese)
- [28] 李春越,郝亚辉,薛英龙,等.长期施肥对黄土旱塬农田土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J].农业环境科学学报,2020,39(8):1783-1791.
LI C Y,HAO Y H,XUE Y L,*et al.* Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in the farmland of the Loess Plateau, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*,2020,39(8):1783-1791. (in Chinese)
- [29] 臧逸飞,郝明德,张丽琼,等.26年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响[J].生态学报,2015,35(5):1445-1451.
ZANG Y F,HAO M D,ZHANG L Q,*et al.* Effects of wheat cultivation and fertilization on soil microbial biomass carbon, soil microbial biomass nitrogen and soil basal respiration in 26 years [J]. *Acta Ecologica Sinica*,2015,35(5):1445-1451. (in Chinese)
- [30] 刘恩科,梅旭荣,赵秉强,等.长期不同施肥制度对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J].中国农业大学学报,2009,14(3):63-68.
LIU E K,MEI X R,ZHAO B Q,*et al.* Long-term effects of different fertilizer management on microbial biomass C,N and P in a fluvo-aquic soil[J]. *Journal of China Agricultural University*,2009,14(3):63-68. (in Chinese)
- [31] 李有兵,李硕,李秀双,等.不同秸秆还田模式的土壤质量综合评价[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2016,44(10):133-140.
LI Y B,LI S,LI X S,*et al.* Comprehensive evaluation of soil quality under different straw returning modes[J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*,2016,44(10):133-140. (in Chinese)
- [32] 郭端,李静怡,郑险峰,等.大荔枣园土壤养分空间分布及土壤肥力综合评价[J].西北林学院学报,2021,36(3):121-127.
GUO R,LI J Y,ZHENG X F,*et al.* Spatial distribution of the soil nutrients and comprehensive evaluation of soil fertility in jujube orchards in Dali[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2021,36(3):121-127. (in Chinese)
- [33] 陈欢,曹承富,张存岭,等.基于主成分-聚类分析评价长期施肥对砂姜黑土肥力的影响[J].土壤学报,2014,51(3):609-617.
CHEN H,CAO C F,ZHANG C L,*et al.* Principal component-cluster analysis of effects of long term fertilization on fertility of lime concretion black soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*,2014,51(3):609-617. (in Chinese)
- [34] 郭笃发,王秋兵.主成分分析法对土壤养分与小麦产量关系的研究[J].土壤学报,2005,42(3):523-527.
GUO D F,WANG Q B. Principal component analysis of relationship between various nutrients in albiudic cambosols profile and wheat yield[J]. *Acta Pedologica Sinica*,2005,42(3):523-527. (in Chinese)
- [35] 温延臣,李燕青,袁亮,等.长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法[J].农业工程学报,2015,31(7):91-99.
WEN Y C,LI Y Q,YUAN L,*et al.* Comprehensive assessment methodology of characteristics of soil fertility under different fertilization regimes in North China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,2015,31(7):91-99. (in Chinese)