黑龙江农业科学 2025(5):59-66
Heilongjiang Agricultural Sciences
http://hljnykx.haasep.cn
DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2025.05.0059

夏雨,卢明艳,宋锋惠,等.不同土壤类型对平欧杂种榛生长及光合特性的影响[J].黑龙江农业科学,2025(5):59-66.

不同土壤类型对平欧杂种榛生长及光合特性的影响

夏　雨[1],卢明艳[2,3],宋锋惠[1,2],包俊杰[1],史彦江[1,2]

(1.新疆农业大学 林学与风景园林学院,新疆 乌鲁木齐 830000;2.新疆林业科学院 经济林研究所,新疆 乌鲁木齐 830000;3.新疆阿克苏森林生态系统国家定位观测研究站,新疆 阿克苏 843000)

摘要:为了确定平欧杂种榛最适合生长的土壤类型,促进其高品质生产,研究不同类型的土壤对平欧杂种榛生长发育、叶片生长和光合特性的影响。结果表明,(1)砾质壤土栽培条件下,平欧杂种榛株高、新梢长度和新梢基径生长量比黏壤土和砂质壤土增加141.05%和187.40%、172.34%和139.00%、157.00%和123.48%,砾质壤土栽植的平欧杂种榛叶面积显著大于黏壤土和砂质壤土,分别增加101.13%、74.05%。净光合速率与土壤铵态氮和pH呈显著正相关,与交换性钙、交换性镁呈显著负相关;可见土壤pH为影响其光合的重要土壤因子,土壤交换性镁为限制因子。(2)根据熵权-TOPSIS综合性评价所得到的贴近度结果,砾质壤土为最优的平欧杂种榛种植土壤。综上,在3种土壤类型中,砾质壤土栽培最有利于平欧杂种榛幼树生长和叶片的发育,有利于对光能的吸收利用和提高叶片光合能力,其次为砂质壤土。

关键词:平欧杂种榛;土壤类型;光合特性;生长发育

平欧杂种榛(*Corylus heterophylla* × *Corylus avellanay*)为榛科(Corylaceae)榛属(*Corylus* L.)落叶灌木,是我国北方地区重要的坚果树种[1],世界四大坚果之一,具有果大、耐瘠薄、适应性强、丰产性强、抗寒抗旱、管理简单等优良特性,该物质富含油脂、蛋白质、矿物质以及维生素,因而具备较高的营养价值[2]。新疆位于欧亚大陆的中心区域,该地区享有充足的光照和热量资源,可为平欧杂种榛的种植提供适宜的生长环境,研究发现平欧杂种榛在新疆不同生态环境下具有良好的生态适应性,是丰富新疆特色林果产业的种质资源和林果可持续发展的林果新树种[3]。

土壤条件是果树生长的重要基础,其养分状况对树木的生长、果实质量和产量有着直接的影响。同时,这些因素也关系到果园的可持续发展和经济效益[4-5]。土壤理化性质的差异对果树生长发育特性具有重要作用。研究表明,苹果新梢生长量和板栗单株产量均与土壤类型显著相关[6-7]。光合作用是作物生长与发育的生理基础,也是决定其产量形成和生产力高低的重要因素[8-9]。在不同土壤类型的芦苇叶片生长状态和光合特性均具有显著差异[10]。故土壤条件对果树生长发育及光合特性影响的研究是十分重要的课题[11],而目前关于不同土壤类型对平欧杂种榛生长和光合特性影响的研究报道较少。新疆地域辽阔,土壤类型众多,不同土壤类型理化性质差异较大,直接影响了植物生长。为进一步了解平欧杂种榛在不同土壤类型下的适应能力,研究不同土壤类型对平欧杂种榛幼树生长势、叶片特性、光合特性的影响,以期明确能够促进平欧杂种榛生长和提高光合能力的适宜土壤类型,从而为平欧杂种榛高产、优质的栽培技术提供理论依据,为不同土壤类型榛子园建立丰产栽培水肥管理技术提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验于2025年4月—10月在新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州吉木萨尔县进行,吉木萨尔县属中温带大陆性干旱气候类型。冬季漫长且寒冷,而夏季则短暂且酷热,春秋季节变化不明显,降水量稀少,昼夜温差较大。根据统计数据,该地区年平均日照时数为2 861.1 h,年均气温为7.0 ℃,无霜期约为170 d。

1.2　材料

供试的平欧杂种榛植株与土样来自3种不同土壤类型的平欧杂种榛栽培园,研究对象为主栽品种新榛1号,均为2022年春季栽植,树龄均为二年生。在3个不同土壤类型的种植区域中选取长势一致、无病虫害的新榛1号样株,10株

收稿日期:2025-03-10
基金项目:新疆维吾尔自治区林草科技(XJLYKJ-2024-17);新疆维吾尔自治区"三农"骨干人才培养项目(2022SNGGNT088)。
第一作者:夏雨(1998—),女,硕士研究生,从事森林培育技术与应用研究。E-mail:837378792@qq.com。
通信作者:宋锋惠(1967—),女,博士,研究员,从事经济林培育研究。E-mail:1834106320@qq.com。

为一组，3次重复，挂牌标记。试验园基本情况如表1。

表1　3个不同土壤类型榛园基本情况

土壤类型	海拔/m	经纬度	株行距/m	灌溉方式
黏壤土	700	44.02°N，89.08°E	0.6×5.0	双管滴灌
砂质壤土	748	43.99°N，89.08°E	1.0×5.0	双管滴灌
砾质壤土	755	44.06°N，88.88°E	3.0×4.0	双管滴灌

1.3　方法

1.3.1　*田间管理*　自5月10日开始，每15 d滴灌1次；5月施用农家肥。除萌：5月—8月，进行2次；除草：自6月起黏壤土、砂质壤土每20 d除草1次，砾质壤土试验地铺有防草地布，每40 d除草1次。

1.3.2　*测定项目及方法*　土壤样品的采集和测定：幼树生长初期（3月28日），在试验地的上、中、下部区域，呈对角线取3个点，距样树根基部15 cm处垂直采集0～20 cm和20～40 cm土样，采集后把同一层面的土样混匀，取标准土样室内自然风干过筛，装袋保存待测，3次重复。土壤pH用水浸提电位法测定，有机质用重铬酸钾-硫酸氧化容量法，速效氮用碱解扩散法，有效磷用碳酸氢钠法，速效钾用醋酸浸提火焰光度法，铵态氮用靛酚蓝比色法，硝态氮用紫外分光光度法，土壤交换性钙、交换性镁元素用原子吸收分光光度法[12]。

树体生长指标测定：于5月1日开始，在样树的东、南、西、北4个方向选择3～5个长势良好的标准枝，每20 d测定挂牌标记样树的株高、新梢长度和新梢基径。

叶片采集与指标测定：于2024年8月上旬，在挂牌样株上进行叶片采样，每株在距离地面50 cm以上选取3条基生新梢，每条基生新梢摘取中部、健康的功能叶片1片，每株树取叶3片，每块地取叶30片，共取叶90片，采集后装入塑封袋，然后放入装有生物冰袋的泡沫盒，带回实验室，洗净用滤纸吸干叶片表面水分后，测定叶鲜重，后用Yaxin-241叶面积仪测定叶面积、叶长、叶宽。放入烘箱105 ℃烘30 min杀青，置入85 ℃烘箱中烘干12 h称其干重；后进行叶片化学指标测定，叶片N、P、K采用浓H_2SO_4-H_2O_2一次消煮法分别测定，叶片Ca、Mg含量采用浓硝酸消煮，原子吸收法测定[13]。

叶片光合参数测定：于8月上旬晴朗天气，在自然光照条件下测定。测定时间为08:00—20:00，每隔2 h测定1次活体标记叶片。测定方法：从每株平欧杂种榛的树冠南侧中部选取5片健康且功能完好的叶片。使用PP-Systems公司制造的CIRAS-2便携光合仪，对净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间CO_2浓度以及光合有效辐射等光合参数进行测定。同时计算水分利用效率[14]。对于每片叶片的数据记录，重复进行3次，最终取平均值进行分析。

水分利用效率＝净光合速率/蒸腾速率

1.3.3　*数据分析*　试验数据使用Excel 2024进行统计与分析，采用SPPS 22.0进行计算与整理，并用熵权TOPSIS法综合评价[15-16]，用Origin 2024进行分析和制图。

2　结果与分析

2.1　不同土壤类型理化性质分析

由表2可知，3种土壤pH平均值为8.56，均为碱性土壤；土壤有机质、碱解氮均表现为砂质壤土最高，黏壤土最低；速效磷、速效钾、硝态氮均表现为砾质壤土最高，黏壤土最低；铵态氮表现为砾质壤土最高，砂质壤土最低；交换性钙则表现为黏壤土最高，砂质壤土最低；交换性镁表现为砂质壤土最高，砾质壤土最低。其中铵态氮的变异系数最高，为41.58%，变幅在19.73～32.16 mg·kg^{-1}之间；其次碱解氮，变异系数为33.61%，变幅在32.52～58.66 mg·kg^{-1}之间；变异系数位居第三的是土壤有机质，为31.11%，变幅在17.27～29.82 mg·kg^{-1}之间；而土壤pH变异系数最小，仅为0.72%。

表2　不同土壤类型对土壤理化性质的影响

项目	黏壤土	砂质壤土	砾质壤土	平均值±标准差	变异系数/%
pH	8.59±0.05 a	8.50±0.04 b	8.61±0.03 a	8.56±0.06	0.72
有机质/(g·kg^{-1})	17.27±6.86 b	29.82±3.63 a	20.02±0.12 b	22.37±6.96	31.11
碱解氮/(mg·kg^{-1})	32.52±14.29 b	58.66±7.56 a	38.25±0.26 b	43.14±14.50	33.61
速效磷/(mg·kg^{-1})	18.13±3.11 c	23.56±3.89 b	29.70±3.11 a	23.79±5.81	24.42
速效钾/(mg·kg^{-1})	116.83±14.57 b	173.27±11.08 a	184.98±27.42 a	158.36±35.45	22.39
硝态氮/(mg·kg^{-1})	17.29±3.15 b	24.81±4.48 a	28.67±2.88 a	23.59±5.91	25.05
铵态氮/(mg·kg^{-1})	20.46±1.35 b	19.73±1.55 b	32.16±14.86 a	24.12±10.03	41.58
交换性钙/(mg·kg^{-1})	1055.96±35.60 b	1143.53±34.39 a	1054.50±7.40 b	1084.66±50.71	4.68
交换性镁/(mg·kg^{-1})	174.50±12.81 b	218.50±14.96 a	149.76±29.55 b	180.92±35.02	19.36

注：表中数据均为平均值±标准差，不同小写字母表示处理间在$P<0.05$水平差异显著。

2.2　不同土壤类型对平欧杂种榛生长发育和光合生理的影响

2.2.1　生长差异　由图 1 可知，不同土壤类型下栽植的平欧杂种榛表现出显著的生长差异。5 月—7 月和 9 月—10 月砾质壤土栽植的株高、新梢长生长量均显著高于黏壤土和砂质壤土，8 月则表现为黏壤土最高。5 月—9 月新梢基径生长量表现为砾质壤土最高，10 月则表现为砂质壤土高于其他两种土壤类型。砾质壤土平欧杂种榛的株高、新梢长度、新梢基径年生长量为 83.72 cm、94.07 cm 和 10.28 mm，黏壤土栽植下平欧杂种榛株高、新梢长度、新梢基径年生长量为 34.73 cm、34.54 cm 和 4.00 mm，砂质壤土栽植下平欧杂种榛株高、新梢长度、新梢基径年生长量为 29.13 cm、39.36 cm 和 4.60 mm，砾质壤土的株高年生长量比黏壤土和砂质壤土增加 141.05%和 187.40%，新梢长度年生长量增加 172.34%和 139.00%，新梢基径年生长量增加 157.00%和 123.48%。平欧杂种榛在砾质壤土种植下长势优于黏壤土和砂质壤土。

2.2.2　叶片形态及生理指标　由表 3 可知，砾质壤土栽植的平欧杂种榛叶长、叶宽、叶面积显著大于黏壤土和砂质壤土，砂质壤土次之。砾质壤土的叶长分别比黏壤土、砂质壤土栽植增加 39.16%和 32.30%；叶宽增加 40.28%和 29.70%；叶面积增加 101.13%和 74.05%。叶干重和鲜重表现为砾质壤土＞砂质壤土＞黏壤土。3 种不同土壤类型下，平欧杂种榛叶片化学指标含量差异性显著，其中叶片 N 和叶片 P 含量均为砾质壤土＞黏壤土＞砂质壤土，叶片 K、叶片 Ca、叶片 Mg 和叶片 Zn 含量均为黏壤土＞砾质壤土＞砂质壤土。其中叶干重的变异系数最大，为 40.27%，变幅在 0.43～1.00 g 之间，变异系数最小的是叶片 Mg 含量，仅为 1.90%，变幅在0.38～0.60 g·kg^{-1}之间。由此说明砾质壤土的栽培有利于平欧杂种榛生长发育，使其枝叶繁茂，其次为砂质壤土。

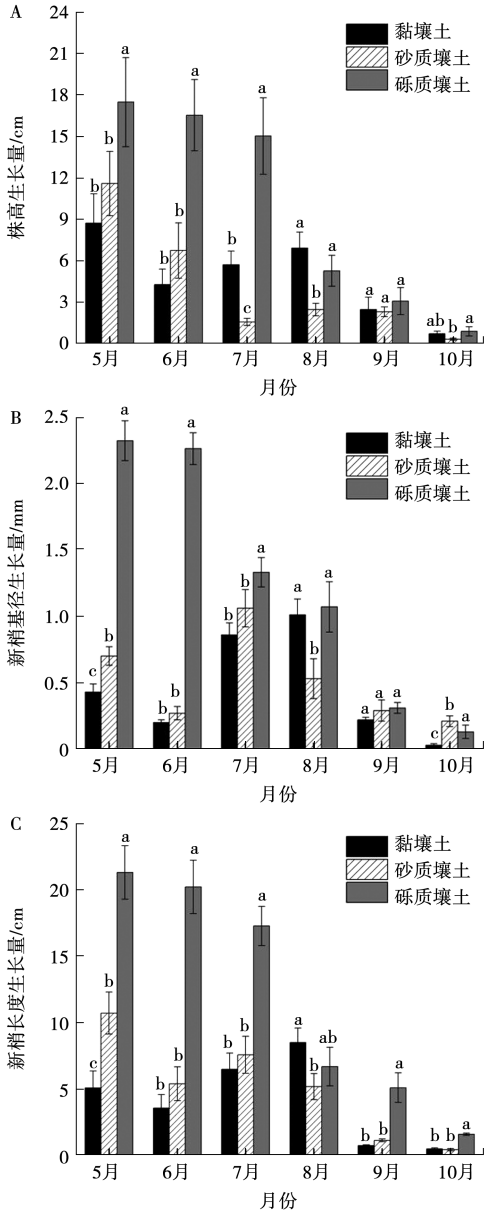

图 1　不同土壤类型对平欧杂种榛生长量动态变化

注：不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。

表 3　不同土壤类型对平欧杂种榛叶片形态及生理指标的影响

指标	黏壤土	砂质壤土	砾质壤土	平均值±标准差	变异系数/%
叶长/cm	8.86±1.04 b	9.32±0.86 b	12.33±0.95 a	72.91±26.70	36.62
叶宽/cm	7.72±0.76 c	8.35±1.04 b	10.83±1.09 a	34.56±6.34	18.34
叶面积/cm^2	49.49±9.95 b	57.19±11.60 b	99.54±17.39 a	9.23±1.70	18.42
叶鲜重/g	1.08±0.04 b	1.30±0.10 b	2.33±0.22 a	1.57±0.59	37.57
叶干重/g	0.43±0.02 b	0.57±0.05 b	1.00±0.12 a	0.66±0.27	40.27
叶片 N/(g·kg^{-1})	19.20±0.97 b	18.80±1.12 b	21.12±1.23 a	19.71±1.44	7.31
叶片 P/(g·kg^{-1})	1.48±0.04 a	1.46±0.11 a	1.51±0.23 a	1.48±0.13	8.78
叶片 K/(g·kg^{-1})	13.32±1.12 a	10.73±0.98 b	11.76±1.08 b	11.94±1.46	12.23
叶片 Ca/(g·kg^{-1})	1.10±0.03 a	0.68±0.01 a	1.08±0.03 b	0.95±0.21	22.11
叶片 Mg/(g·kg^{-1})	0.60±0.01 a	0.38±0.01 c	0.50±0.02 b	0.49±0.96	1.90

注：表中数据均为平均值±标准差，不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。

2.2.3　光合特性　由图 2 可知，在黏壤土、砂质壤土、砾质壤土 3 种土壤类型下，砾质壤土的叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、光合有效辐射的日均值均为最大，分别为 8.65 μmol·m^{-2}·s^{-1}、3.75 μmol·m^{-2}·s^{-1}、123.07 μmol·m^{-2}·s^{-1} 和 2 020.09 μmol·m^{-2}·s^{-1}，砂质壤土的前 3 个指标最小，分别为 7.12 μmol·m^{-2}·s^{-1}、3.35 μmol·m^{-2}·s^{-1} 和 88.16 μmol·m^{-2}·s^{-1}。

水分利用效率日均值表现为黏壤土最大，为 2.56 μmol·m^{-2}·s^{-1}，砂质壤土的水分利用效率日均值最小，为 2.26 μmol·m^{-2}·s^{-1}。胞间 CO_2 浓度表现为砂质壤土最大，为 240.35 μmol·mmol^{-1}，黏壤土的胞间 CO_2 浓度最小，为 229.12 μmol·mmol^{-1}。可见，砾质壤土有较好的通气性利于平欧杂种榛幼树的光合作用。

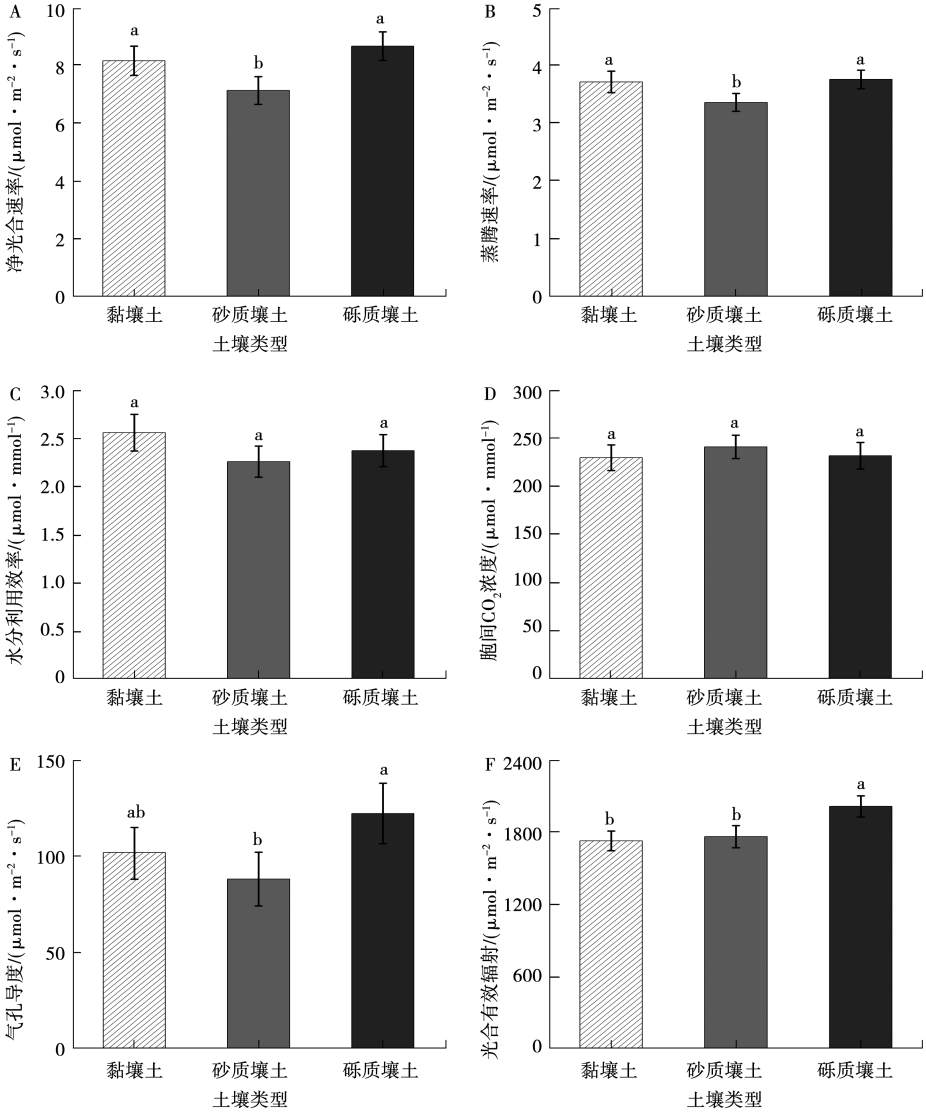

图 2　不同土壤类型对平欧杂种榛幼树光合生理的影响

注：不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。

2.3　土壤化学性质与平欧杂种榛幼树形态光合生理指标的相关性分析

2.3.1　土壤化学性质与生长量　由表 4 可知，株高生长量与土壤速效磷呈极显著正相关，与 pH、速效钾、铵态氮、硝态氮呈显著正相关，与交换性钙呈显著负相关；新梢基径生长量与速效磷、速效钾、硝态氮呈极显著正相关，与铵态氮呈显著正相关；新梢长生长量与速效磷、速效钾、硝态氮呈极显著正相关，与铵态氮呈显著正相关；株高、新梢基径、新梢长生长量与交换性镁均呈极显著负相关。表明在平欧杂种榛幼树阶段，土壤养分对其生长起着一定的促进作用。

表 4　土壤化学性质与平欧杂种榛生长量的相关性分析

指标	株高生长量	新梢基径生长量	新梢长生长量
pH	0.543*	0.448	0.439
有机质	−0.315	−0.190	−0.179
碱解氮	−0.315	−0.190	−0.179
速效磷	0.699**	0.766**	0.770**
速效钾	0.482*	0.594**	0.602**
硝态氮	0.573*	0.663**	0.670**
铵态氮	0.584*	0.580*	0.579*
交换性钙	−0.499*	−0.379	−0.368
交换性镁	−0.694**	−0.607**	−0.599**

注：* 和 ** 分别表示在 $P<0.05$ 水平和 $P<0.01$ 水平显著或极显著相关。

2.3.2　土壤化学性质与叶片外观形态及生理　由表 5 可知，欧杂种榛幼树叶面积、叶长、叶宽、叶干重、叶鲜重均与土壤中速效磷、硝态氮、铵态氮呈极显著正相关，与速效钾呈显著正相关；叶片 N 与土壤速效磷、速效钾、硝态氮、铵态氮呈极显著正相关；叶片 P 与铵态氮呈极显著正相关，与 pH 和速效磷呈显著正相关；叶片 K 与 pH、铵态氮呈极显著正相关，与交换性钙、交换性镁呈极显著负相关；叶片 Ca 与有机质、碱解氮、速效钾呈极显著负相关，与硝态氮和交换性钙呈显著负相关，而与 pH 呈显著正相关；叶片 Mg 与 pH 呈极显著正相关，与有机质、碱解氮、交换性钙、交换性镁均呈极显著负相关。

表 5　不同土壤化学性质与平欧杂种榛叶片指标之间的相关性分析

指标	叶面积	叶长	叶宽	叶鲜重	叶干重	叶片 N	叶片 P	叶片 K	叶片 Ca	叶片 Mg
pH	0.495	0.514	0.512	0.449	0.474	0.409	0.732*	0.876**	0.713*	0.984**
有机质	−0.176	−0.205	−0.195	−0.126	−0.148	−0.076	−0.458	−0.661	−0.909**	−0.986**
碱解氮	−0.176	−0.205	−0.195	−0.126	−0.148	−0.076	−0.458	−0.661	−0.908**	−0.986**
速效磷	0.932**	0.900**	0.922**	0.947**	0.947**	0.968**	0.794*	0.622	−0.571	−0.009
速效钾	0.726*	0.690*	0.714*	0.756*	0.754*	0.800**	0.504	0.278	−0.840**	−0.388
硝态氮	0.834**	0.800**	0.824**	0.857**	0.858**	0.893**	0.647	0.442	−0.732*	−0.221
铵态氮	0.959**	0.950**	0.968**	0.943**	0.969**	0.951**	0.986**	0.929**	−0.066	0.504
交换性钙	−0.389	−0.411	−0.405	−0.341	−0.363	−0.295	−0.643	−0.811**	−0.793*	−0.998**
交换性镁	−0.677*	−0.689*	−0.693*	−0.637	−0.663	−0.608	−0.868**	−0.962**	−0.532	−0.916**

注：* 和 ** 分别表示在 $P<0.05$ 水平和 $P<0.01$ 水平显著或极显著相关。

2.3.3　土壤化学指标与光合特性　由表 6 可知，平欧杂种榛净光合速率与土壤铵态氮和 pH 呈显著正相关，与交换性钙、交换性镁呈显著负相关；水分利用效率与土壤铵态氮、pH 呈显著正相关，与交换性镁呈显著负相关；蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、光合有效辐射与土壤理化指标均无显著相关性。可见影响平欧杂种榛的光合特性的重要土壤因子是铵态氮和 pH，土壤交换性镁为限制因子。

表 6　土壤化学指标与平欧杂种榛光合参数之间的相关性分析

指标	净光合速率	蒸腾速率	水分利用效率	气孔导度	胞间 CO_2 浓度	光合有效辐射
有机质	−0.415	−0.155	−0.351	0.201	−0.164	−0.057
碱解氮	−0.415	−0.156	−0.352	0.201	−0.164	−0.057
速效磷	0.250	0.031	0.349	0.034	−0.070	0.237
速效钾	0.054	−0.039	0.154	0.118	−0.116	0.179
硝态氮	0.151	−0.006	0.251	0.101	−0.095	0.205
铵态氮	0.463*	0.112	0.518*	−0.022	0.029	0.247
交换性钙	−0.476*	−0.156	−0.420	0.209	−0.158	−0.112
交换性镁	−0.530*	−0.154	−0.509*	0.163	−0.127	−0.182
pH	0.508*	0.167	0.496*	−0.145	0.145	0.139

注：* 和 ** 分别表示在 $P<0.05$ 水平和 $P<0.01$ 水平显著或极显著相关。

2.4 熵权-TOPSIS 综合评价分析

通过相关性分析选取土壤 pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、硝态氮、铵态氮、交换性钙、交换性镁 9 个土壤指标，最终熵权-TOPSIS 综合评价结果见表 7。经过熵权法加权后，各指标的权重值反映了其对综合评价结果的重要性，从权重的计算结果来看土壤中交换性钙＞铵态氮＞有机质＝碱解氮＞交换性镁＞速效磷＞硝态氮＞速效钾＞pH，指标权重越大代表该指标对综合评分越重要，因此土壤交换性钙、铵态氮、有机质、碱解氮对最后综合评分有重要影响作用。根据综合性评价所得到的贴近度结果可以看出，砾质壤土＞砂质壤土＞黏壤土，综合性评价砾质壤土为平欧杂种榛最优种植土壤。

表 7　综合评价结果

土壤类型	pH	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾	硝态氮	铵态氮	交换性钙	交换性镁	贴近度	排名
黏壤土	0.579	0.433	0.421	0.431	0.418	0.415	0.477	0.562	0.550	0.683	3
砂质壤土	0.573	0.748	0.760	0.561	0.621	0.595	0.460	0.608	0.689	0.814	2
砾质壤土	0.580	0.502	0.495	0.707	0.663	0.688	0.749	0.561	0.472	0.818	1
权重值	0.0760	0.1163	0.1163	0.0875	0.0760	0.0791	0.1640	0.1883	0.0965		

3 讨论

不同类型土壤由于理化性质方面的差异，提供给植株的营养物质明显不同，因此不同类型土壤上栽培的植物生长发育状况也各不相同[17]。从土壤理化性质上来分析，由于砾质壤土矿质元素丰富，适宜植物的生长发育[18]。磷元素可以加强植物光合作用和碳水化合物的合成与运转[19]。本研究发现，砾质壤土具有相对较高的速效磷、速效钾、硝态氮和铵态氮含量，故砾质壤土中栽培的平欧杂种榛幼树获得的养分较多，环境胁迫性相对较小，更适宜其生长发育和光合作用，这与何冬月等[2]的研究结果一致。黏壤土中速效氮、速效磷、速效钾和有机质含量相对较低，土壤养分贫瘠，且为黏性土壤，土壤透气性较差，故造成该土壤类型栽培下的平欧杂种榛叶片生长发育和光合能力均最低，这与夏贵菊等[10]研究发现土壤磷素亏缺会限制芦苇光合作用的结果相符合。

生长指标是作为反映植物生长发育状态最基础最可靠的指标[20]，新梢长度、新梢基径生长量是衡量平欧杂种榛当年生长量的重要表现特征。本研究表明，不同土壤类型上平欧杂种榛株高生长量、新梢长度生长量、新梢基径生长量存在明显的差异，其中砾质壤土下种植的平欧杂种榛生长情况最好，黏壤土的最差。进一步对 3 个不同土壤类型的土壤理化性质进行分析发现，土壤中速效磷、速效钾、硝态氮含量是决定植株生长量的重要因素。植物的叶片是最能感知生长环境变化的组织器官，同时具有较高的变异性和可塑性[21]。本研究表明，在 3 种类型的土壤中，砾质壤土栽培的平欧杂种榛叶长、叶宽、叶面积显著高于黏壤土和砂质壤土，砂质壤土次之。由此可以得出，砾质壤土栽培最有利于平欧杂种榛叶片的生长发育，使其叶片生产力指数最大，其次为砂质壤土，而黏壤土最不利于平欧杂种榛叶片的生长发育。

光合作用是植物生长与发育的基础，对产量的形成起着至关重要的作用，是影响植物生产力的主要因素[22]。植物叶片的光合速率、气孔导度和蒸腾速率是评估光合作用的重要指标。这些指标的大小能够直接反映植物的光合能力，从而影响其生长发育及生产力的水平[23]。大量研究表明，不同土壤类型以及土壤中氮、磷、钾的含量对植株的光合作用和生长发育都起着关键作用[24-26]。本研究发现，3 种类型的土壤栽培条件下平欧杂种榛叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度日均值均表现为砾质壤土最大，砂质壤土最小，且二者差异显著。水分利用效率日均值表现为黏壤土＞砾质壤土＞砂质壤土，胞间 CO_2 浓度表现为砂质壤土＞砾质壤土＞黏壤土。砾质壤土栽培条件下平欧杂种榛叶片生长相关指标均优于其他两种土壤栽培，说明平欧杂种榛在砾质壤土栽培时可通过增加叶片长度、宽度、叶片面积，促进叶片吸收更多的光，从而提高叶片的光能利用率[27]。

本研究初步揭示了黏壤土、砂质壤土和砾质壤土对幼树生长发育及叶片特性影响，为新疆砾质壤土高效种植平欧杂种榛提供了实践理论依据，但本研究的观测周期尚短，难以全面反映平欧杂种榛进入结果期后在不同土壤类型栽植的长期效应；因此，试验结果还需要在不同土壤类型平欧杂种榛的示范园中验证，为平欧杂种榛在南北疆不同种植区规模化种植提供科学依据。

4　结论

(1)土壤化学性质与平欧杂种榛的生长和光合特性有着较强的相关性，株高生长量与土壤速效磷呈极显著正相关；新梢基径生长量与速效磷、速效钾、硝态氮呈极显著正相关；新梢长生长量与速效磷、速效钾、硝态氮呈极显著正相关；株高生长量、新梢基径生长量、新梢长生长量均与交换性镁呈极显著负相关。净光合速率与土壤铵态氮和 pH 呈显著正相关，与交换性钙、交换性镁呈显著负相关；水分利用效率与土壤铵态氮、pH 呈显著正相关，与交换性镁呈显著负相关，可见土壤中速效磷、速效钾、硝态氮含量和 pH 为影响平欧杂种榛光合特性的重要土壤因子，土壤交换性镁含量则为限制因子。

(2)3 种土壤类型中，砾质壤土栽培的平欧杂种榛幼树长势最好，砾质壤土的株高年生长量、新梢长度年生长量、新梢基径年生长量分别比黏壤土和砂质壤土增加 141.05%和 187.40%、172.34%和 139.00%、157.00%和 123.48%，叶长分别比黏壤土、砂质壤土增加 39.16%和 32.30%；叶宽增加 40.28%和 29.70%；叶面积增加 101.13%和 74.05%，砾质壤土最有利于平欧杂种榛叶片生长发育，从而促进植株对光能的吸收利用，有效提高其叶片光合能力。结合熵权-TOPSIS 综合评价结果表明，3 种土壤类型下，砾质壤土是最适合平欧杂种榛生长的土壤类型，其次是砂质壤土。

参考文献：

[1] 王灵哲，史彦江，宋锋惠，等. 不同施肥处理对平欧杂种榛光合日变化及产量的影响[J]. 新疆农业科学，2018，55(8)：1495-1504.

[2] 何冬月，卢明艳，宋锋惠，等. 平欧杂种榛坚果品质与土壤养分的相关性分析[J]. 经济林研究，2022，40(3)：118-124.

[3] 韩俊威. 平欧杂种榛 13 个品种(系)抗寒性比较研究[D]. 乌鲁木齐：新疆农业大学，2014.

[4] 兰子汉，姚智，陈瑞州，等. 陵水芒果园土壤养分、pH 与果实矿质营养的状况分析[J]. 热带作物学报，2018，39(3)：426-432.

[5] MAMMADOVA G, GAHRAMANOVA A, BUNYATOVA L, et al. Determination of main properties and fertility capacity of soils under hazelnut cultivation in Azerbaijan [J]. Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences, 2024, 77(4): 618-626.

[6] 赵丹，李惠，苏彦苹，等. 不同立地、土壤类型对土壤含水量和苹果新梢生长的影响[J]. 河北林果研究，2016，31(1)：25-32.

[7] 陈伟祥，胡伯智，吴黎明，等. 不同立地条件和施肥对板栗生长的影响[J]. 经济林研究，2000，18(3)：17-20.

[8] LOACH P A. Supramolecular complexes in photosynthetic bacteria [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2000, 97(10): 5016-5018.

[9] Nangare D D. Effect of pit and soil types on growth and development, nutrient content and fruit quality of pomegranate in the central Deccan Plateau Region, India [J]. Sustainability, 2024, 16(18): 1-18.

[10] 夏贵菊，何彤慧，赵永全，等. 不同土壤类型对芦苇生长及光合特征的影响. 西北植物学报，2014，34(6)：1252-1258.

[11] 田雪，张志晓，王燕，等. 土壤条件对不同砧木'绿宝'苹果幼树生长及生理特性的影响[J]. 天津农学院学报，2017，24(3)：19-23.

[12] 贺文君. 微咸水灌溉对滨海盐碱土水盐分布和金银花生长的影响[D]. 烟台：中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所)，2021.

[13] 杜玉霞，李进学，李丹萍，等. 不同外源物质对百香果生长及矿质养分含量的影响[J]. 经济林研究，2022，40(1)：196-204.

[14] 王灵哲，宋锋惠，罗达，等. 氮磷钾配施对平欧杂种榛果实成熟期光合特性和产量品质的影响[J]. 东北林业大学学报，2020，48(3)：29-34，40.

[15] CHEN P Y. Effects of normalization on the entropy-based TOPSIS method[J]. Expert Systems with Applications, 2019, 136: 33-41.

[16] CHEN P Y. Effects of the entropy weight on TOPSIS[J]. Expert Systems with Applications, 2021, 168: 114186.

[17] 闫小莉，王德炉. 不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片生长和光合特性的影响[J]. 生态学报，2019，39(19)：7208-7217.

[18] 杜雪莲，王世杰，罗绪强. 黔中喀斯特石漠化区不同土壤类型对常见植物叶片 ^{13}C 值的影响[J]. 环境科学，2014，35(9)：3587-3594.

[19] TARIQ A, PAN K W, OLATUNJI O A, et al. Phosphorous application improves drought tolerance of *Phoebe zhennan* [J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 1561.

[20] LI X X, ZENG R S, LIAO H. Improving crop nutrient efficiency through root architecture modifications [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2016, 58(3): 193-202.

[21] 吕晋慧，王玄，冯雁梦，等. 遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响[J]. 生态学报，2012，32(19)：6033-6043.

[22] 许大全. 光合作用"午睡"现象的生态、生理与生化[J]. 植物生理学通讯，1990，26(6)：5-10.

[23] TARTACHNYK I, BLANKE M. Effect of delayed fruit harvest on photosynthesis, transpiration and nutrient remobilization of apple leaves[J]. New Phytologist, 2004, 164(3): 441-450.

[24] 廖剑锋，易自力，郭孟齐，等. 4 种不同土壤对荻生长及光合特征的影响[J]. 草地学报，2021，29(4)：757-762.

[25] 杜利霞，李进，董宽虎，等. 黄土高原地区蒙农 4 号新麦草的光合特征及其与环境因子间的关系[J]. 草地学报，2014，22(6)：1258-1262.

[26] 李亚姝，曾文芳，胡桂馨，等. 钾元素对苜蓿碳水化合物的分配及抗蓟马的影响[J]. 草地学报，2020，28(6)：1580-1587.

[27] 董如磊，喻方圆，欧阳献. 遮荫对东京野茉莉幼苗叶片形态和解剖结构的影响[J]. 江西农业大学学报，2010，32(5)：974-981.

Effects of Different Soil Types on Growth and Photosynthetic Characteristics of *Corylus heterophylla* × *Corylus avellana*

XIA Yu[1], **LU Mingyan**[2,3], **SONG Fenghui**[1,2], **BAO Junjie**[1], **SHI Yanjiang**[1,2]

(1. College of Forestry and Landscape Architecture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830000, China; 2. Economic Forest Research Institute, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi 830000, China; 3. Xinjiang Aksu Forest Ecosystem National Orientation Observation and Research Station, Aksu 843000, China)

Abstract: In order to determine the most suitable soil type for the growth of *Corylus heterophylla* × *Corylus avellana* promote its high quality production, the effects of different types of soil on the growth and development, leaf growth and photosynthetic characteristics of *C. heterophylla* × *C. avellana* were studied. The results showed that: (1) Under the condition of gravelly loam cultivation, the plant height, shoot length and shoot base diameter of *C. heterophylla* × *C. avellana* increased by 141.05% and 187.40%, 172.34% and 139.00%, 157.00% and 123.48%, respectively, compared with those of clay loam and sandy loam. The leaf area of *C. heterophylla* × *C. avellana* planted in gravelly loam was significantly larger than that in clay loam and sandy loam, which increased by 101.13% and 74.05%, respectively. The net photosynthetic rate was significantly positively correlated with soil ammonium nitrogen and pH, and significantly negatively correlated with exchangeable calcium and exchangeable magnesium. It can be seen that soil pH is an important soil factor affecting its photosynthesis, and soil exchangeable magnesium is a limiting factor. (2) According to the entropy weight-TOPSIS comprehensive evaluation of the closeness of the results obtained, the gravel loam is the best Ping-European hybrid hazelnut planting soil. In summary, among the three soil types, gravel loam cultivation is most conducive to the growth and leaf development of *C. heterophylla* × *C. avellana* saplings, which is conducive to the absorption and utilization of light energy and the improvement of leaf photosynthetic capacity, followed by sandy loam.

Keywords: *Corylus heterophylla* × *Corylus avellane*; soil type; photosynthetic characteristics; growth and development

(上接第 58 页)

Abstract: In order to enhance soil fertility in the Loess Plateau and Loess Gully Region of Longdong and promote the green and low-carbon development of agriculture. In this study, four nitrogen levels (N0, N1, N2, N3) were set and nitrogen application rates were 0, 100, 200, 300 kg·ha^{-1}, respectively, based on the maize breeding base of Yaodian Town in Pingliang, Gansu Province. Organic fertilizer was treated in two levels (N0+M, N1+M, N2+M, N3+M) and untreated (N0, N1, N2, N3), to explore the effects of different fertilization methods on the stability of soil aggregates and the carbon sink capacity of the soil in this area. The results showed as follows: (1) Under each fertilization treatment in 0−60 cm soil layer, the soil aggregate content was the highest in 2−5 mm grain grade, and the content in 60−80 cm soil layer was the highest in <0.25 mm grain grade. (2) Combined application of organic fertilizer significantly increased the soil mean mass diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD) and large aggregate content ($R_{m0.25}$) in 0−40 cm soil layer, and decreased the fractal cone number *D* and erodible factor *K*. Combined application of fertilizer at 200 kg·ha^{-1} had the largest effect on soil MWD, GMD and $R_{m0.25}$. The number of fractal cones *D* and erodibility factor *K* were the lowest. (3) In the 0−60 cm soil layer, the organic carbon content reached the maximum when the grain level was <0.25 mm, and the soil organic carbon of each grain level gradually decreased with the increase of soil depth. In the 0−40 cm soil layer, the contribution rate of organic carbon was the highest in 2.00−5.00 mm granular aggregates, and the combined application of chemical fertilizer significantly increased the organic carbon content of each grain and the contribution rate of large aggregates to organic carbon. (4) There was no significant effect on GMD, MWD, soil erodibility factor *K*, and soil organic carbon content of each particle size in different soil layers. In conclusion, in the Loess Hilly and Gully Region of Eastern Gansu Province, the combined application of organic fertilizer can significantly improve the soil structure of 0−40 cm soil layer, improve soil stability and enhance soil carbon sink capacity, and the best effect is achieved when the nitrogen application rate is 200 kg·ha^{-1}.

Keywords: fertilize; Longdong Loess Hilly and Gully Region; soil aggregate; stability; organic carbon