

ICS 65.020.40

CCS 点击此处添加 CCS 号



山西省风景园林协会团体标准

T/ —

高速公路高固碳树种选择及配置技术指南

征求意见稿

— — 发布

— — 实施

山西省风景园林协会 发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 高固碳树种选择.....	1
5 树种配置技术.....	3
附 录 A.....	5

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省风景园林协会提出并归口。

本文件起草单位：山西路桥建设集团有限公司 山西昔榆高速公路有限公司 山西农业大学 山西省交通规划勘察设计院有限公司 山西路桥建设集团园林绿化有限公司

本文件主要起草人：温郁斌、贾坚华、梁新春、许桂青、刘世君、裴富国、吕锦峰、张苹、李佩佳、闫鹏、高山森、刘慧芳、张浩、秦子莹、冯雨萌、杜锦瑞、曲辰雨、潘雪峰、王芳、赵磊、张雨欣、郭琦、张敏、张婧丽、王永芳、方乐乐、王晋芳、杨秀云。

本文件主要审查人：张志梅、焦云祥、李娥娥、陈陆琴、任晓华。

高速公路高固碳树种选择及配置技术指南

1 范围

本文件规定了高速公路高固碳植物绿化设计的术语和定义、高固碳树种选择、树种配置技术等要求。

本文件适用于山西省境内高速公路新建、改扩建项目的高固碳植物绿化设计，重点覆盖高速公路互通立交区、中央分隔带、路侧绿化、服务区与收费站场站、取弃土场、隧道口及特殊景观观点段等核心路域区域。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

DB11/T 2468 城市绿地碳汇计量监测技术规范

DB 4403/T 534 城市森林碳储量与碳汇量评估技术规范

CJT 24 园林绿化木本苗

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高固碳植物

指在相同生长周期、相同环境条件下，通过光合作用吸收大气中二氧化碳并将其转化为自身生物量，且单位时间内固碳量、全生命周期碳储存量显著高于同类植物的物种。

3.2

乡土树种

也称为本土树种或本地树种，指在特定地理区域内，经过长期的自然选择、物种演化和气候适应，自然分布、生长和繁殖的树木种类。

4 高固碳树种选择

4.1 基本原则

4.1.1 生态安全：所选植物需满足不影响高速公路行车安全、不破坏路基边坡稳定、无入侵性等生态安全要求。需排除《中国外来入侵物种名单》（最新版）中收录的物种，如加拿大一枝黄花、豚草等，避免破坏本地生态系统。

4.1.2 固碳高效：宜选择光合作用效率高、生长迅速、生物量大、寿命长的高固碳植物种类。

4.1.3 适地适树：植物选择需适应山西省的气候特征及高速公路沿线的立地条件。

4.1.4 功能复合：高固碳植物应兼顾水土保持、降噪除尘、景观美化、生物多样性保护等多种生态服务功能。

4.1.5 低管护管理：所选植物应具备较强的抗逆性，适应性。应选择耐旱性强（年降水量 300mm 以下区域可正常生长）、耐盐碱强（可耐受 pH 值 8.5-9.0 土壤）、抗风性强（可抵御 10 级以下大风）、抗病虫性强（近 5 年未发生大面积毁灭性病虫害）的植物。

4.2 选择方法

- 4.2.1 选择光合速率高、呼吸消耗低的植物，此类植物能在单位时间内固定更多二氧化碳，且全年光合周期长，可延长碳固定持续时间。
- 4.2.2 选择生物量积累快、寿命长、根系发达的植物。生物量积累快的植物可快速提升碳储量，寿命长的植物可在高速公路路域长期发挥固碳作用，根系发达的植物能增强土壤碳封存能力，减少碳流失。
- 4.2.3 土壤厚度较薄区域，选浅根性且耐贫瘠的灌木或地被；土壤肥沃且厚度充足区域，可搭配深根乔木与灌木，提升单位面积碳汇量。
- 4.2.4 中央分隔带、隧道口等光照变化大的区域，选耐阴与喜光结合的植物；路侧、场站等光照充足区域，优先选喜光高固碳乔木。
- 4.2.5 中央分隔带需兼顾防眩与固碳，选修剪后仍能快速恢复生长的植物；边坡需兼顾固土与固碳，选根系密集的灌木。

4.3 筛选关键参数

高固碳植物筛选的关键参数包括固碳能力、生物量积累、碳储量、光合效率和叶面积指数。见表 1。

表 1 高固碳植物筛选关键参数表

参数类别	参数名称	推荐阈值/范围
固碳能力	单位叶面积固碳量	≥15 g CO ₂ /m ² ·d（乔木）
	年固碳量	≥2.5 t CO ₂ /hm ² ·a
生物量积累	年生物量增长量	≥1.5 kg/株·a（乔木）
碳储量	单株碳储量	≥50 kg CO ₂ /株
光合效率	净光合速率	≥10 μmol CO ₂ /m ² ·s（上午峰值）
叶面积指数	LAI	≥3.0（乔木群落）

4.4 树种碳储量计算方法

4.4.1 树种碳储量计算模型，参数、公式参照 DB11/T 2468 、DB 4403/T 534 相关规范研究制定。

4.4.2 植物个体日固碳量计算方法

4.4.2.1 单位叶面积净同化量的测算：

$$P = \sum_{i=1}^j \left[\left(\frac{P_{i+1} + P_i}{2} \right) (t_{i+1} - t_i) \times \frac{3600}{1000} \right] \#(1)$$

式中：P 为测定日的净同化总量，mmol；P_i 是初测点的瞬时光合作用速率，umol·m⁻²·s⁻¹；P_{i+1} 为下一测点的瞬时光合作用速率，umol·m⁻²·s⁻¹；t_i 是初测点的瞬时时间；t_{i+1} 是下一测点的时间，h；j 为测试次数，3600 为每小时 3600 s，1000 指 1 mmol 为 1000μmol。

4.4.2.2 植物固碳量的计算，用测定日的同化量换算为测定日固定 CO₂ 量：

$$W_{CO_2} = P \times \frac{44}{1000} \#(2)$$

式中：44 为二氧化碳的摩尔质量，g·mol⁻¹；W_{CO₂} 为单位面积的叶片固定 CO₂ 的质量，g·m⁻²·d⁻¹。

4.4.2.3 植物单位土地面积日固碳量为：

$$Q_{CO_2} = W_{CO_2} \cdot LAI \#(3)$$

式中：Q_{CO₂} 为单位土地面积固碳量，单位为（g·m⁻²·d⁻¹），LAI 为该树的叶面积指数。

4.4.2.4 整株植物日固碳量为：

$$E_{CO_2} = Q_{CO_2} \cdot M \#(4)$$

式中： E_{CO_2} 为整株植物日固碳量，单位为 g/d，M 为植物冠幅面积，单位为 m^2 。

4.4.3 植物个体碳储量计算方法

通过测定植物群体内植物个体的株高和胸径使用立木材积公式计算植物材积量，再结合材积密度、生物量扩展因子、生物量扩展系数及碳含量等指标带入公式计算获得植物地上部分碳储量，具体公式如下：

$$V = f \times (H + 3) \times g \#(5)$$

$$CS_1 = V \times WD \times BEF \times CF \#(6)$$

式中 V 为乔木材积，f 为实验形数（表 4.4.2-1），H 为株高（m），g 为胸高断面积（距地面 1.3m）（ m^2 ）， CS_1 为乔木地上碳储量，WD 为木材密度，BEF 为生物量扩展因子，CF 为植物含碳率参数，相关参数如（表 4.4.2-2）。

$$W_2 = 0.409759D^{1.0615}H^{0.5427} \#(7)$$

$$CS_2 = W_2 \times CF \#(8)$$

$$W_3 = 0.050492H^{0.803}G^{1.0877} \#(9)$$

$$CS_3 = W_3 \times CF \#(10)$$

式中 W_2 是灌木地上生物量(单位：kg)，D 为地径（cm），H 为树高（m）， CS_2 为灌木地上碳储量，CF 为植物含碳率参数， W_3 为草本单位面积生物量（单位：kg/ m^2 ）， CS_3 为草本地上碳储量，G 为盖度。

表4.4. 2-1 植物平均实验形数 f（数据来源:IPCC 国家温室气体清单指南：农业、林业和其他土地利用）

干形级	干形实验形数（f）	适用树种
I	0.45	冷杉及一般强阴性针叶树种
II	0.43	实生杉木、云杉及一般阴性针叶树种
III	0.42	杉木、红松、华山松、黄山松及中性针叶树种
IV	0.41	插条杉木、落叶松、油松及一般阳性针叶树和一般阔叶树种
V	0.40	一般阔叶树种柏、柳、桦、水曲柳、刺槐、榆、樟、桉等
VI	0.39	一般强阳性针叶树种

表4.4. 2-2 碳储量计算相关参数（数据来源:中国主要树种木材密度）

树木类型	平均干材积密度（t/ m^3 ）	平均生物量扩展系数（R）
乔木	0.440	2.01
灌木	0.515	1.75
其他	0.472	1.98

5 树种配置技术

5.1 群落配置技术

5.1.1 采用“乔木+灌木+地被”复层群落结构，最大化利用垂直空间提升单位面积碳汇量。上层选高大落叶或常绿乔木，利用高空空间进行光合固碳；乔木层选长寿、高生物量树种。中层配中等灌木，填补中层空间，增加碳积累点；灌木层选速生、固土能力强的树种。地被层选覆盖快、提升土壤碳储量的植物，形成“上层碳储存、中层碳积累、下层碳固持”的协同体系。

5.1.2 搭配豆科植物与非豆科植物，前者可通过根瘤菌固氮，改善土壤肥力，促进伴生植物生长，间接提升群落固碳量；

5.1.3 干旱少雨、土壤浅薄区域应选耐旱、浅根性高固碳植物；光照充足、土壤肥沃区域搭配常绿与落叶高固碳乔木，延长全年碳汇周期；特殊功能区域选高光合效率植物，通过密集种植缓和洞内外光线差异，同时提升局部碳汇量。

5.1.4 合理搭配速生树种与慢生长寿树种，速生树种快速形成初期碳汇，慢生树种保障长期碳储存。实现短期与长期固碳目标的平衡。

5.1.5 特殊气象区域的配置结合灾害性天气特性做出特定配置。高海拔区域（ $\geq 1500\text{m}$ ）和强风区域选择耐寒性强的树种，增加防风固土能力强的乔灌木树种；暴雪发生区域，选择枝条坚韧的树种。

5.2 植物群体日固碳量的计算方法

通过利用植物个体碳储量与群落郁闭度比值计算群体绿化的固碳效益，具体公式如下：

$$Z = \sum_{i=1}^1 (E_i \times c_i) \div c_{\#} \quad (11)$$

式中 Z 为该群体日固碳量，单位为 g/d 。 E_i 为第 i 株植物的日固碳量，单位为 g/d 。 c_i 为第 i 株植物郁闭度， c 为该群体植物的总郁闭度， i 为植物总株数。

5.3 植物群体碳储量的计算方法

$$CS = \sum_{i=1}^n V_i * WD_i * BEF_i * C_i * N_i \quad (12)$$

式中 i 为树木类型，包括乔木、灌木和其他， CS 为树木总碳储量，单位为 kg ； V 为 i 类植物材积量，单位为 m^3 ， WD 为树干密度，单位为 kg/m^3 ； BEF 为生物量扩展系数，即树干生物量占树木总生物量的比例； C_i 为植物中 C 含量，由于该值在同植物间变化不大，为简便起见采用 IPCC 缺省值 0.50； N 为 i 类型树木数量。

5.4 植物配置示例

5.4.1 高固碳植物的分类参照 CJT 24 的规定。包括常绿乔木、落叶乔木、常绿灌木、落叶灌木等，具体高固碳植物推荐名录参见附录 A。

5.4.2 路域种植区域植物配置

互通立交区植物配置有常绿乔木+落叶乔木、如桧柏（常绿乔木）+旱柳（落叶乔木，♂）；中央分隔带带小乔木+落叶灌木，如山桃（小乔木，♂）+连翘（灌木）。不同路域种植区域高固碳植物配置模式参见附录 B。

附 录 A
(资料性)
高固碳植物推荐名录

表 A 给出了高固碳植物推荐名录的生物量异速生长模型、叶片净光合速率和适配地区。

表 A 高固碳植物推荐名录

类别	序号	推荐树种	拉丁名	生物量异速生长模型	叶片净光合速率 ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	适配地区	高固碳依据
常绿乔木	1	油松	<i>Pinus tabulaeformis</i>	$W=0.0258(D^2H)^{0.729}$	≥ 10.5	全省(大同、朔州等晋北地区优势明显)	山西乡土树种,树干粗壮、冠幅饱满(宽卵圆形),单株碳储量高,耐旱耐贫瘠,适配高速公路边坡、服务区
	2	杜松	<i>Juniperus rigida</i>	$W=0.031(D^2H)^{0.692}$	≥ 9.0	太原、晋中、大同(晋北部分地区)	冠形饱满(宽卵圆形),生长稳定,年碳汇增速 $>3\%$,无飞絮、少病虫害,适配中央分隔带、收费站绿地
	3	侧柏	<i>Platycladus orientalis</i>	$W=0.174(D^2H)^{0.729}$	≥ 10.2	全省(太原、晋中、长治等为主)	冠形紧凑(塔形/圆锥形),叶面积指数高,单位土地面积固碳量突出,抗风性强,适合中央分隔带、互通立交区
	4	圆柏	<i>Sabina chinensis</i>	$W=0.042(D^2H)^{0.715}$	≥ 10.0	全省	冠形规整,耐旱耐寒,适应山西多地气候,冠形规整(成年树冠幅4-6m),单株碳储量 $\geq 80\text{kg CO}_2$,耐旱耐寒(可耐受 -25°C 低温),适配路侧、互通立交区
	5	白扦	<i>Picea meyeri</i>	$W=0.028(D^2H)^{0.738}$	≥ 9.0	全省(晋北地区更适配)	喜凉润气候,耐寒冷,根系发达,可增强土壤碳封存能力,冠形塔状(成年树冠幅3-5m),单株碳储量 $\geq 70\text{kg CO}_2$,根系发达可增强土壤碳封存能力,适配高海拔、气候较凉爽的路侧边坡、取弃土场
	6	白皮松	<i>Pinus bungeana</i>	$W=0.241(D^2H)^{0.727}$	≥ 11.0	全省(晋北、晋中山区优势显著)	山西乡土珍稀树种,冠形呈圆锥形(成年树冠幅5-8m),单株碳储量 $\geq 60\text{kg CO}_2$,耐旱性强(可耐受 -30°C 低温)、抗风蚀,适配互通立交区背景林、隧道口前区过渡带
落叶乔木	7	国槐	<i>Sophora japonica</i>	$W=0.056(D^2H)^{0.813}$	≥ 11.5	全省(乡土优势树种)	冠形呈扇形,冠幅面积大(中乔木冠幅8-12m),整株日固碳量 $>3000\text{g/d}$,耐贫瘠、抗污染,适配路侧护坡道、服务区停车场(林荫树)
	8	白蜡	<i>Fraxinus chinensis</i>	$W=0.048(D^2H)^{0.825}$	≥ 10.8	晋中、晋南	冠形宽卵圆形,单株碳储量 $>5000\text{kg}$,秋季落叶前生物量积累充足,适配互通立交区、服务区绿地,符合“近

						零碳服务区”固碳要求
9	栾树	<i>Koelreuteria paniculata</i>	$W=0.0396(D^2H)^{0.933}$	≥ 10.3	晋中、晋南	冠幅舒展，叶面积指数高，单位土地面积固碳量突出，且观花观果兼具景观价值，适配服务区、互通区节点绿化
10	旱柳（♂）	<i>Salix matsudana</i>	$W=0.082(D^2H)^{0.851}$	≥ 12.0	全省（晋北为主）	速生树种，生物量增长快，年碳汇增速>5%，树干高大（树高 15-20m），适配路侧排水沟外侧、取弃土场，需选雄株避免飞絮
11	新疆杨（♂）	<i>Populus alba</i> var. <i>pyramidalis</i>	$W=0.091(D^2H)^{0.864}$	≥ 12.5	全省（晋北为主）	速生树种，生物量增长快，年碳汇增速>5%，树干高大（树高 15-20m），适配路侧排水沟外侧、取弃土场，需选雄株避免飞絮
12	臭椿	<i>Ailanthus altissima</i>	$W=0.043(D^2H)^{0.837}$	≥ 11.2	全省（晋南、晋中平原为主，晋北轻度盐碱区适配）	速生乡土树种，年生物量增长量≥2.0kg/株·a，单株日固碳量>2800g/d，木材密度 0.53t/m³，耐盐碱（可适应 pH8.5-9.0 土壤）、抗大气污染，根系深达 1.5-2m，固土与固碳协同性强，适配路侧排水沟外侧、取弃土场生态修复
13	刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i>	$W=0.714+0.029D^2H$	≥ 12.0	全省	速生树种，生长迅速，生物量积累快，耐旱耐贫瘠，冠形宽卵形（成年树冠幅 8-10m），单株年碳汇增量≥15kg CO₂，根系有根瘤菌可改良土壤，间接提升群落固碳量，适配路侧、取弃土场
14	紫叶李	<i>Prunus cerasifera</i> 'Atropurpurea'	$W=0.101(D^2H)^{0.715}$	≥ 9.5	全省	叶色独特兼具景观性，生长速度较快，冠形卵圆形（成年树冠幅 5-7m），单株碳储量≥50kg CO₂，生长速度较快（年胸径增长≥1.5cm），适配服务区、互通立交区景观绿化
15	紫叶矮樱	<i>Prunus</i> × <i>cistena</i>	$W=0.068(D^2H)^{0.698}$	≥ 8.5	全省	耐旱、耐寒，生长健壮，冠形紧凑（成年树冠幅 3-4m），单株碳储量≥35kg CO₂，年碳汇增速≥4%，适配中央分隔带外侧、服务区绿地
16	金枝槐	<i>Styphnolobium japonicum</i> 'Winter Gold'	$W=0.059(D^2H)^{0.802}$	≥ 10.0	全省	乡土树种改良品种，冠形美观（成年树冠幅 6-8m），单株碳储量≥90kg CO₂，生长适应性强（可耐受-25℃低温），适配路侧、服务区停车场周边绿化
17	元宝槭	<i>Acer truncatum</i>	$W=0.047(D^2H)^{0.786}$	≥ 9.0	全省	秋季叶色艳丽兼具景观性，根系发达，耐干旱，冠形伞状（成年树冠幅 7-9m），单株碳储量≥85kg CO₂，耐干旱，适配互通立交区、隧道口前区过渡带
18	山杏	<i>Prunus sibirica</i>	$W=0.038(D^2H)^{0.741}$	≥ 8.0	全省（晋北、晋中为主）	耐旱、耐寒，适应山西干旱气候，冠形圆形（成年树冠幅 4-6m），单株碳储量≥45kg CO₂，生长速度中等，

						适配路侧边坡、取弃土场
19	暴马丁香	<i>Syringa reticulata</i> var. <i>mandshurica</i>	$W=0.041(D^2H)^{0.703}$	≥ 9.0	全省	花量多兼具芳香性，冠形卵圆形（成年树冠幅 5-8m），单株碳储量 $\geq 60\text{kg CO}_2$ ，耐干旱，单位叶面积固碳量 $\geq 10\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ，适配服务区、收费站绿地
20	榆叶梅	<i>Prunus triloba</i>	$W=0.053(D^2H)^{0.687}$	≥ 8.0	全省	春季开花景观性好，耐旱、耐寒，冠形圆形（成年树冠幅 3-5m），单株碳储量 $\geq 30\text{kg CO}_2$ ，适配中央分隔带外侧、互通立交区组团绿化
21	五角槭	<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	$W=0.049(D^2H)^{0.791}$	≥ 9.5	全省	冠形舒展（成年树冠幅 6-9m），叶面积指数高（ ≥ 4.5 ），单株碳储量 $\geq 75\text{kg CO}_2$ ，秋季叶色美观，耐干旱，适配路侧、服务区景观绿化
22	山桃（♂）	<i>Prunus davidiana</i>	$W=0.042(D^2H)^{0.753}$	≥ 8.5	全省	选雄株避免飞絮，春季开花景观性好，冠形圆形（成年树冠幅 4-6m），单株碳储量 $\geq 40\text{kg CO}_2$ ，生长速度较快（年胸径增长 $\geq 1.2\text{cm}$ ），耐旱耐贫瘠，适配中央分隔带、路侧边坡
23	黄栌	<i>Cotinus coggygria</i> var. <i>cinereus</i>	$W=0.036(D^2H)^{0.728}$	≥ 8.0	全省（晋南、晋中为主）	秋季叶色鲜红景观性突出，耐干旱，生长稳定，冠形圆形（成年树冠幅 5-7m），单株碳储量 $\geq 55\text{kg CO}_2$ ，适配互通立交区、特殊景观点段
24	楸	<i>Catalpa bungei</i>	$W=0.061(D^2H)^{0.834}$	≥ 10.0	全省（晋中、晋南为主）	树干通直，冠形卵形（成年树冠幅 7-10m），单株碳储量 $\geq 120\text{kg CO}_2$ ，生长较慢但寿命长，生物量积累持久，适配服务区、收费站场站绿化
25	白榆	<i>Ulmus pumila</i>	$W=0.058(D^2H)^{0.827}$	≥ 9.0	全省	乡土树种，耐旱耐贫瘠，冠形卵圆形（成年树冠幅 8-12m），单株碳储量 $\geq 90\text{kg CO}_2$ ，生长适应性强，根系发达可增强土壤碳固持能力，适配路侧、取弃土场
26	山楂	<i>Crataegus pinnatifida</i>	$W=0.039(D^2H)^{0.735}$	≥ 7.5	全省（晋中、晋南为主）	耐干旱，生长稳定，冠形圆形（成年树冠幅 4-6m），单株碳储量 $\geq 45\text{kg CO}_2$ ，果实可增加生物量多样性，适配服务区、收费站周边绿地
27	北京花楸	<i>Sorbus discolor</i>	$W=0.044(D^2H)^{0.719}$	≥ 8.0	全省	喜凉爽气候，耐寒冷，冠形圆形（成年树冠幅 5-7m），单株碳储量 $\geq 50\text{kg CO}_2$ ，冠形美观，适配晋北高海拔地区路侧、取弃土场
28	毛樱桃	<i>Prunus tomentosa</i>	$W=0.032(D^2H)^{0.694}$	≥ 7.0	全省（晋北为主）	耐旱耐寒冷，春季开花，冠形圆形（成年树冠幅 2-4m），单株碳储量 $\geq 25\text{kg CO}_2$ ，生长稳定，适配晋北路侧边坡、取弃土场
29	龙爪槐	<i>Styphnolobium japonicum</i> 'Pendula'	$W=0.052(D^2H)^{0.796}$	≥ 8.0	全省	冠形独特兼具景观性，冠幅 3-4m，单株碳储量 $\geq 22\text{kg CO}_2$ ，生长稳定，耐干旱，适配服务区、收费站场站

							绿化
	30	银杏	<i>Ginkgo biloba</i>	$B=-0.684+0.090D^2H$	≥ 9.0	全省	寿命长（可达千年），冠形扇形（成年冠幅 8-12m），单株碳储量 $\geq 200\text{kg CO}_2$ ，生长较慢但固碳效益持久，适配服务区、互通立交区景观节点
	31	白桦	<i>Betula platyphylla</i>	$W=0.045(D^2H)^{0.807}$	≥ 8.5	全省（高海拔地区适配）	喜凉爽气候，耐寒冷（可耐受-30℃低温），冠形圆锥形（成年冠幅 5-7m），单株碳储量 $\geq 60\text{kg CO}_2$ ，适配晋北高海拔地区路侧、取弃土场
常绿灌木	32	沙地柏	<i>Sabina vulgaris</i>	$W=0.027(HG)^{0.745}$	≥ 8.5	全省（晋北边坡优势种）	匍匐生长，覆盖度高（ $>70\%$ ），耐干旱、抗风蚀，单位面积固碳量稳定，适配路堑/路堤边坡，可与乔木形成复层结构
	33	胶东卫矛	<i>Euonymus kiaulshovicus</i>	$W=0.035(HG)^{0.721}$	≥ 8.8	晋中、晋南	冠形紧凑，分枝茂密，单位叶面积固碳量 $8-12\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ，适配中央分隔带（地被层）、边坡下层，无刺无危害
	34	黄杨	<i>Buxus sinica</i>	$W=0.029(HG)^{0.689}$	≥ 8.2	山西南部	冠形紧凑（自然冠幅 1-1.5m），耐修剪（修剪后 30 天内新叶萌发率 $>80\%$ ），单位叶面积固碳量 $9-11\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ，叶面积指数 ≥ 2.8 ，绿期长达 290 天以上，无飞絮、少病虫害，适配中央分隔带中下层、收费站绿篱
落叶灌木	35	紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i>	$W=0.048(D^2H)^{0.763}$	≥ 8.0	全省	山西乡土灌木，根系发达、生长迅速，冠形开展（成年冠幅 2-3m），单株日固碳量 $>300\text{g/d}$ ，单株年碳汇增量 $\geq 3\text{kg CO}_2$ ，耐贫瘠，可与油松、国槐搭配提升群体碳汇，适配路堑边坡、碎落台
	36	丁香	<i>Syringa oblata</i>	$W=0.845(D^2H)^{0.484}$	≥ 8.5	全省	冠形饱满（成年冠幅 3-5m），分枝多，单株碳储量 $\geq 25\text{kg CO}_2$ ，单位土地面积固碳量 $\geq 400\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ，春季开花兼具景观价值，维护成本低，适配服务区、互通区
	37	连翘	<i>Forsythia suspensa</i>	$W=0.683(D^2H)^{0.715}$	≥ 7.0	全省	覆盖度高（ $>80\%$ ），冠形开展（成年冠幅 1.5-2.5m），单株碳储量 $\geq 8\text{kg CO}_2$ ，单位面积固碳量 $\geq 350\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ，耐旱、少病虫害，与乔木形成“乔-灌”双层结构，适配中央分隔带地被层、边坡下层
	38	华北珍珠梅	<i>Sorbaria kirilowii</i>	$W_{\text{总}}=0.019(D^2H)^{0.132}$	≥ 8.0	全省	耐干旱，分枝茂密，冠幅较大（成年冠幅 3-4m），单株碳储量 $\geq 20\text{kg CO}_2$ ，单位面积固碳量 $\geq 380\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ，适配服务区、收费站绿地
	39	三裂绣线菊	<i>Spiraea trilobata</i>	$W=0.026(D^2H)^{0.705}$	≥ 7.5	全省	耐旱耐贫瘠，生长旺盛，覆盖度高（ $>85\%$ ），冠幅 1.5-2.5m，单株碳储量 $\geq 10\text{kg CO}_2$ ，单位面积固碳量

						$\geq 420\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，适配路侧边坡、取弃土场下层绿化
40	土庄绣线菊	<i>Spiraea ouensanensis</i>	$W=0.024(D^2H)^{0.691}$	≥ 7.0	全省	适应能力强，耐干旱，分枝多，覆盖度高（ $>80\%$ ），冠幅 1.2-2m，单株碳储量 $\geq 9\text{kg CO}_2$ ，可快速覆盖地表提升土壤碳储量，适配路堑边坡、取弃土场
41	黄刺玫	<i>Rosa xanthina</i>	$W=0.005(D^2H)^{0.88}$	≥ 7.5	全省	春季开花景观性好，耐旱耐贫瘠，冠形圆形（成年冠幅 2-3m），单株碳储量 $\geq 12\text{kg CO}_2$ ，生长稳定，适配中央分隔带外侧、路侧边坡
42	荆条	<i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>	$W=0.031(D^2H)^{0.723}$	≥ 7.0	全省	乡土灌木，耐旱耐贫瘠，根系发达，冠幅 1.5-2.5m，单株碳储量 $\geq 10\text{kg CO}_2$ ，固土能力强（根系固土深度 $\geq 1.5\text{m}$ ），适配路侧边坡、取弃土场
43	小叶鼠李	<i>Rhamnus parvifolia</i>	$W=0.022(D^2H)^{0.684}$	≥ 6.5	全省（晋北为主）	耐干旱耐寒冷（可耐受-30℃低温），生长稳定，冠形紧凑（成年冠幅 1-2m），单株碳储量 $\geq 7\text{kg CO}_2$ ，适配晋北路侧边坡、取弃土场
44	鹅耳枥	<i>Carpinus turczaninowii</i>	$W=0.037(D^2H)^{0.718}$	≥ 6.0	全省（晋中、晋南为主）	耐阴，生长稳定，根系发达（根系深度 $\geq 1.2\text{m}$ ），冠幅 2-3m，单株碳储量 $\geq 15\text{kg CO}_2$ ，适配林下、隧道口边仰坡下层绿化
45	少脉雀梅藤	<i>Sageretia paucicostata</i>	$W=0.028(D^2H)^{0.732}$	≥ 7.0	全省	攀援性较强，耐干旱，覆盖度高（ $>90\%$ ），单株年碳汇增量 $\geq 4\text{kg CO}_2$ ，可覆盖岩质边坡，适配路堑岩质边坡、隧道口仰坡
46	白刺花	<i>Sophora davidii</i>	$W=0.025(D^2H)^{0.708}$	≥ 6.5	全省	耐旱耐贫瘠，冠幅 1.5-2.5m，单株碳储量 $\geq 9\text{kg CO}_2$ ，根系有根瘤菌可改良土壤，适配路侧边坡、取弃土场
47	小叶锦鸡儿	<i>Caragana microphylla</i>	$W=0.023(D^2H)^{0.714}$	≥ 6.0	全省（晋北为主）	耐旱耐寒冷（可耐受-35℃低温），根系发达（固土深度 $\geq 2\text{m}$ ），冠幅 1-1.5m，单株碳储量 $\geq 6\text{kg CO}_2$ ，固土能力强，适配晋北路侧边坡、取弃土场
48	牛奶子	<i>Elaeagnus umbellata</i>	$W=0.033(D^2H)^{0.726}$	≥ 7.0	全省	耐干旱，生长稳定，冠幅 2-3m，单株碳储量 $\geq 12\text{kg CO}_2$ ，果实可增加生物量，适配路侧边坡、取弃土场
49	天目琼花	<i>Viburnum opulus</i> subsp. <i>calvescens</i>	$W=0.036(HG)^{0.713}$	≥ 7.5	全省	秋季果实美观，耐干旱，冠幅 2.5-3.5m，单株碳储量 $\geq 18\text{kg CO}_2$ ，生长稳定，适配服务区、收费站绿地
50	花木蓝	<i>Indigofera kirilowii</i>	$W=0.027(HG)^{0.701}$	≥ 7.0	全省	耐旱耐贫瘠，冠幅 1.5-2m，单株碳储量 $\geq 10\text{kg CO}_2$ ，根系有根瘤菌可改良土壤，适配路侧边坡、取弃土场
51	木槿	<i>Hibiscus syriacus</i>	$W=0.038(D^2H)^{0.734}$	≥ 7.5	全省（晋南为主）	夏季开花景观性好，耐干旱，冠幅 2-3m，单株碳储量 $\geq 15\text{kg CO}_2$ ，适配晋南路侧、服务区绿化
52	兴安胡枝子	<i>Lespedeza davurica</i>	$W=0.021(HG)^{0.697}$	≥ 6.5	全省	耐旱耐贫瘠，根系发达（固土深度 $\geq 1.8\text{m}$ ），冠幅 1-2m，

T/ —

							单株碳储量 $\geq 8\text{kg CO}_2$ ，固土能力强，适配路侧边坡、取弃土场
53	红王子锦带	<i>Weigela 'Red Prince'</i>	$W=0.034(HG)^{0.719}$	≥ 7.0	全省		夏季开花景观性好，耐干旱，冠幅 1.5-2.5m，单株碳储量 $\geq 11\text{kg CO}_2$ ，生长稳定，适配服务区、互通立交区绿化
54	大花溲疏	<i>Deutzia grandiflora</i>	$W=0.025(HG)^{0.688}$	≥ 6.0	全省		春季开花，耐干旱，冠幅 1-1.5m，单株碳储量 $\geq 5\text{kg CO}_2$ ，适配路侧边坡、服务区绿地
55	山梅花	<i>Philadelphus incanus</i>	$W=0.032(HG)^{0.725}$	≥ 7.0	全省		耐干旱，花大美观，冠幅 2-3m，单株碳储量 $\geq 14\text{kg CO}_2$ ，适配服务区、收费站绿地
56	牡丹	<i>Paeonia suffruticosa</i>	$W=0.028(HG)^{0.697}$	≥ 6.5	全省		花大艳丽兼具景观性，冠幅 1-1.5m，单株碳储量 $\geq 6\text{kg CO}_2$ ，生长稳定，适配服务区、互通立交区景观节点
57	玫瑰	<i>Rosa rugosa</i>	$W=0.023(HG)^{0.704}$	≥ 7.0	全省		花美芳香，耐干旱，冠幅 1-2m，单株碳储量 $\geq 9\text{kg CO}_2$ ，适配服务区休息区绿化
58	水栒子	<i>Cotoneaster multiflorus</i>	$W=0.031(D^2H)^{0.716}$	≥ 7.2	全省		耐干旱，秋季果实美观，冠幅 1.5-2.5m，单株碳储量 $\geq 10\text{kg CO}_2$ ，叶片净
59	月季	<i>Rosa chinensis</i>	$W=0.022(HG)^{0.686}$	≥ 6.8	全省		花期长景观性好，耐修剪，适配服务区、收费站岗亭周边绿化
60	接骨木	<i>Sambucus williamsii</i>	$W=0.039(D^2H)^{0.731}$	≥ 7.3	全省		耐干旱，生长稳定，适配路侧边坡、取弃土场下层绿化
61	沙棘	<i>Hippophae rhamnoides</i>	$W=0.041(D^2H)^{0.748}$	≥ 8.2	晋北（干旱半干旱区域）		豆科灌木，根系具根瘤菌（固氮量 $\geq 50\text{kg/hm}^2\cdot\text{a}$ ），可改良贫瘠土壤，单株日固碳量 $> 250\text{g/d}$ ，年生物量增长量 $\geq 0.8\text{kg/株}\cdot\text{a}$ ，耐干旱（年降水量 300mm 以上即可存活）、抗风蚀，适配路堑边坡、取弃土场先锋种植

注：式中 D 为胸径（cm），H 为高度（m），G 为冠幅（m）

表 B 给出了路域种植区域高固碳植物配置模式、种植参数和适配地区。

表 B 不同路域种植区域高固碳植物配置模式表

路域区域	植物组合类型	具体植物搭配	种植参数	适配地区
互通立交区	常绿乔木+落叶乔木	桧柏（常绿乔木）+旱柳（落叶乔木，♂）	桧柏：株距 5-6m，胸径 4-5cm，树高 3-4m，土球直径 30-40cm；旱柳：株距 6-7m，胸径 6-7cm，树高 4-5m	全省（晋北为主）
	常绿乔木+落叶乔木+灌木	白皮松（常绿乔木）+楸（落叶乔木）+沙棘（灌木）	白皮松：株距 4-5m，胸径 6-8cm，树高 3-4m，土球直径 50-60cm；楸：株距 7-8m，胸径 5-6cm，树高 4-5m，根盘直径 60-70cm；沙棘：行距 1.5m，株距 1m，高度 0.6-0.8m	晋北、晋中
中央分隔带	常绿乔木+常绿灌木	侧柏（乔木）+胶东卫矛（灌木）	侧柏：株距 3-4m，胸径 4-5cm，树高 2-3m；胶东卫矛：行距 1.5m，株距 1m，高度 0.6-0.8m	全省
	小乔木+落叶灌木	山桃（小乔木，♂）+连翘（灌木）	山桃：株距 4-5m，胸径 3-4cm，树高 1.5-2.0m；连翘：行距 1.2m，株距 0.8m，高度 0.6-0.8m	全省
	常绿灌木+落叶灌木	黄杨（常绿灌木）+连翘（落叶灌木）	黄杨：行距 1.2m，株距 0.8m，高度 0.4-0.6m，土球直径 15-20cm；连翘：行距 1m，株距 0.6m，高度 0.6-0.8m	全省
路侧	乔木+灌木	油松（乔木）+紫穗槐（灌木）	油松：株距 5-6m，胸径 5-6cm，树高 2-3m；紫穗槐：行距 2m，株距 1.5m，高度 0.6-0.8m	全省（晋北优势）
	乔木+灌木	臭椿（乔木）+沙棘（灌木）	臭椿：株距 6-7m，胸径 5-6cm，树高 2-3m，根盘直径 50-60cm；沙棘：行距 2m，株距 1.5m，高度 1-1.2m，土球直径 30-35cm	晋南
服务区	大乔木+中乔木+灌木	国槐（大乔木）+白蜡（中乔木）+丁香（灌木）	国槐：株距 8-10m，胸径 8-10cm，树高 3-4m；白蜡：株距 6-8m，胸径 6-8cm，树高 3-4m；丁香：行距 2.5m，株距 2m，高度 1.5-1.8m	全省（晋中/晋南优势）
	乔木+草本（停车场）	栎树（乔木）+多年生黑麦草（草本）	栎树：株距 6-7m，胸径 10-12cm，树高 4-5m；多年生黑麦草：满铺，播种量 18g/m ²	全省
取弃土场	针叶乔木 + 灌木	油松（针叶乔木）+ 紫穗槐（灌木）	油松：株距 4-5m，胸径 8-10cm，树高 2.5-3m，土球直径 50-60cm；紫穗槐：行距 2m，株距 1.5m，高度 1.2-1.5m，	全省（晋北、晋中优势明显）
	针叶乔木 + 灌木	侧柏（针叶乔木）+ 沙棘（灌木）	侧柏：株距 5-6m，胸径 6-8cm，树高 2-2.5m，土球直径 40-50cm；沙棘：行距 2m，株距 1.5m，高度 1-1.2m 种植穴深度 40-50cm	全省（晋北干旱半干旱区域优先）
隧道口	洞顶区：低矮常绿乔木+灌木	侧柏（低矮型）+沙地柏（灌木）	侧柏：株距 4-5m，胸径 6-8cm，树高 2-3m；沙地柏：丛距 1.5m，覆盖度≥70%	全省

T/ —

	边仰坡：常绿针叶乔木 + 落叶灌木	侧柏（常绿针叶乔木）+ 紫穗槐（落叶灌木）	侧柏：株距 4-5m，胸径 3-4cm，树高 1.5-2.0m，土球直径 30-40cm，种植点距边仰坡坡顶边缘≥1.5m、坡脚边缘≥1m；紫穗槐：行距 1.5m，株距 1m，高度 1-1.2m，根盘直径 25-30cm，种植于侧柏株间空隙，形成“上层固碳 + 下层固土”的复层结构	全省
	前区过渡带：常绿针叶乔木 + 常绿灌木	白皮松（针叶乔木）+ 黄杨（常绿灌木）	白皮松：株距 5-6m，胸径 6-8cm，树高 2.5-3m，土球直径 50-60cm；黄杨：行距 1.2m，株距 0.8m，高度 0.6-0.8m，土球直径 15-20cm，修剪后冠幅保持 0.5-0.7m	全省（晋南）