

四种不同厚度的绿化废弃物对土石质边坡植被生长高度和土壤保墒的影响

黄庆丽

(1. 北京林业大学 北京 100083)

摘要: 为实现修剪产生的绿化废弃物分类再利用, 研究其处理后作为覆盖物对覆盖下植被生长高度和土壤保墒的影响, 本研究以华北地区 4 种典型绿化树种枝叶为试验材料, 选取种植常用绿化植物 (紫花苜蓿、冰草、披碱草、狗尾巴草、紫穗槐、胡枝子), 并用无覆盖作为对照, 分析不同种类绿化废弃物覆盖和不同绿化废弃物覆盖厚度对植株高度的影响。结果表明, 为了解决绿化废弃物和灌草竞争的问题, 可以把紫穗槐和冰草或紫穗槐和狗尾草进行配合撒播, 灌木植物紫穗槐适合在 25° 阴坡覆盖紫穗槐枝叶 5-6cm 下播种, 草本植物冰草和狗尾草适合在阳坡覆盖 3-4cm 或阴坡覆盖 1-2cm 下播种。同时, 火炬树枝叶不适合覆盖。

关键词: 植物生长; 覆盖厚度; 边坡绿化

Effects of four kinds of green wastes with different thickness on vegetation growth height and soil moisture conservation in soil-rock slope

Abstract: In order to realize the classification and reuse of the green waste generated by pruning and study the effect of treated as mulch on the growth height of vegetation and soil moisture retention under mulch, this study took the branches and leaves of four typical green tree species in North China as experimental materials, and selected common green plants (alfalfa, ice grass, lymposium, setaria, fructus fruticosa, and Hu mieu) as the control, and used no mulch. The effects of different kinds of green waste cover and different thickness of green waste cover on plant height were analyzed. The results showed that, in order to solve the problem of afforestation waste and shrub competition, it could be combined with amorpha fruticosa or amorpha fruticosa and setaria. Shrub amorpha fruticosa was suitable for sowing under the cover of 5-6cm of amorpha fruticosa branches and leaves on 25° shady slope, while herb amorpha fruticosa and setaria were suitable for sowing under the cover of 3-4cm on the positive slope or 1-2cm on the negative slope. Meanwhile, the loblolly leaves are not suitable for mulching.

Key word: Plant growth; Covering thickness; Slope greening

目前生物废物管理已成为全球关注的主要问题 (Suarez et al., 2022)。绿色废弃物是生物废物中的一部分, 由不同的有机 (例如草和花插, 树篱修剪, 树木修剪, 小树枝, 落叶和木材碎片) 和无机 (例如土壤和石头) 材料组成 (Ten Hove et al., 2019)。随着中国城市化进程的加快, 城市园林绿化水平的不断提高, 随之产生的绿化废弃物也逐年增加, 我国对于生态文明建设的重视也在日益增强。若对园林废弃物, 加以科学有效的方法措施可以充分发挥其可再生性 (韩继红等, 2003), 从而将园林废弃物“变废为宝”。合理地处理日益增加的园林废弃物已成为当今社会亟待解决的问题, 也是目前研究的热点和发展趋势 (曹晓璐等, 2014)。

传统的花园废物处理方法主要包括焚烧和垃圾填埋, 这通常会导致环境问题, 如空气污染、土地占用

和水污染 (Gabhane et al., 2022)。在发达和发展中国家, 覆盖堆肥都是绿色废弃物的一种合适的处理方法 (Boldrin et al., 2009; Cantero-Flores et al., 2016), 由此产生的堆肥中的有机物通过微生物转化为稳定的腐殖质 (Sánchez-Monedero et al., 2010), 同时, 成熟的堆肥也可用作土壤改良剂或有机肥料 (Rawoteea et al., 2017)。总的来说, 绿色废弃物堆肥与土地施用前不处理相比, 具有相当或更高的环境影响潜力 (Ten Hoeve et al., 2019)。比如覆盖物可增加水渗入土壤, 延缓土壤侵蚀并减少地表径流 (Adekalu et al., 2007; Battikhi et al., 1987); 是影响作物生长环境的有效方法, 通过控制土壤温度、保持土壤水分和减少土壤蒸发来提高作物产量和提高产品质量 (Chakraborty et al., 2008)。而且, 在自然界中, 枯枝、落叶会在地面上自然分解腐熟后进入土壤界面, 为土壤提供必要的有机质和其他营养元素, 而在城市绿地中却缺少了这一环节, 容易导致城市绿地营养流失、土壤板结, 所以, 对园林绿化废弃物进行处理的问题研究具有一定的现实意义。

目前, 覆盖条件下, 受覆盖厚度、覆盖种类、不同布设方法等影响, 对植物生长发育影响以及对土壤特性的影响存在差异。国内外学者多数发现覆盖物对株高、土壤水分以及土壤温度有显著影响 (Sarkar et al., 2019; Job et al., 2016; Midega et al., 2013; Maggard et al., 2012)。有研究表明使用银色聚乙烯薄膜作为覆盖物对洋葱的株高、土壤保墒能力有显著影响 (Sarkar et al., 2019); 使用以纸地膜为代表的可降解地膜也可提高土壤性质和作物产量 (Li et al., 2021); 与秸秆覆盖物相比, 报纸覆盖物通过保持较低的土壤温度和土壤水分消耗量以及更高的土壤湿度提供了更高的产量和水分利用效率 (Kader et al., 2019); 覆盖提高了土壤含水量和土壤养分的有效性, 对植物叶片生长指标均有良好的改善作用 (欧毅等, 2005)。然而, 也有研究表明, 覆盖可能对树干直径和树高均无影响, 甚至有“低温效应”会抑制植物种子发芽、出苗及幼苗生长, 表现为萌发率低, 出苗时间长, 苗叶较黄、苗生长弱小等现象 (Sarkar et al., 2007; 王敏等, 2011)。因此修剪产生的枝叶与树木自然凋零的枯落叶在植物生长高度和土壤保墒方面可能有不同表现, 基于此, 本研究对京津冀地区常见园林废弃物覆盖对土石质边坡植被生长效果进行研究。

本研究根据冬奥打造绿色廊道所提出的增彩延绿、提高常绿树种比例和增加绿化层次的要求 (石河, 2020), 选取京津冀地区绿化中常见的灌木紫穗槐, 乔木国槐, 景观树种火炬树, 常绿树种侧柏等作为研究对象, 于 8-9 月取其修剪枝叶, 以紫穗槐、胡枝子、披碱草、冰草、紫花苜蓿以及狗尾草这六种边坡常用护坡绿化植物, 以探讨不同类型绿化树木剪除废弃物对土石质边坡上植被生长高的影响, 为生态廊道构建中绿化树种的选择与管理, 后奥运期间修剪废弃物分类治理与再利用等方面提供了理论依据, 也使园林废弃物“变废为宝”, 实现了绿色废弃物的合理治理。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于河北省张家口市涿鹿神鹿林业开发有限公司进行, 于 2019 年 8-9 月收集火炬树 (*Rhus typhina*)、

紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、国槐(*Sophora japonica*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)带有叶片的枝条, 剪为 3-5cm 枝段, 用蒸馏水漂洗、阴干。根据华北地区常用绿化植物种, 选择种植植物为紫花苜蓿(发芽率 89.08%)、冰草(发芽率 74%)、披碱草(发芽率 71.47%)、狗尾巴草、紫穗槐(发芽率 79.40%)、胡枝子(发芽率 54.7%), 其种子由北京特兰普生态公司提供。

1.2 试验方法

本研究于 2020 年 6-9 月, 每月中旬进行植物高度和植被盖度调查。调查记录各坡面植物种、高度, 每种植物分别在坡上、中、下选 9 株高度相似的植株使用钢卷尺进行测量(9 月草本植物出现衰败枯黄, 因此仅调查胡枝子和紫穗槐植株高度)。

土壤温度使用 HOBO UA-001 温度记录仪进行监测, 每日记录 4 次(2、8、14、20 点), 温度记录仪于 2019 年 10 月 3 日埋入土壤 10cm 深处, 分别于 2019 年 11 月 13 日、2020 年 5 月 17 日、2020 年 10 月 13 日取出进行仪器设备维护和数据提取。土壤含水率使用 TDR 350(探针长: 12cm)于 2020 年 7-11 月每月 15 日进行监测(因新冠肺炎疫情防控及设备故障原因, 3、4、5、6 月土壤含水率未进行监测), 如遇降水, 降水 3 天后测定; 每次随机选取坡上、中、下共 9 个点位进行测定。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理, 并进行数据统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 土壤保墒特性

覆盖减缓了年内土壤温度变化幅度, 且随覆盖物厚度的增加土壤温度年变化幅度减小。冬季, 覆盖下土壤低温随覆盖厚度增大而升高, 覆盖起到良好的保温效果; 夏季, 覆盖 3-4、5-6cm 下坡面土壤温度升高。秋季, 覆盖有效延缓气温下降过程中阴、阳坡土壤温度的降低。阳坡土壤温度在增、降温过程中, 日昼夜温度变幅较大, 而阴坡土壤温度每日昼夜变幅变化缓和。

表 1 不同覆盖厚度下 35°和 25°阳坡土壤年温差

Table 1 Annual temperature difference between 35° and 25° sunny slopes under different cover thicknesses

坡度(°)	覆盖厚度(cm)	年温差(°C)
35	1-2	31.53
	3-4	28.69
	5-6	28.56
25	1-2	26.59
	3-4	26.94
	5-6	26.50

7-9 月雨季, 覆盖物有效提高了土壤含水率, 阳坡覆盖 3-4cm 厚度的保墒效果更好, 而阴坡覆盖 1-2cm 厚度保墒效果更佳。10、11 月, 由于没有降雨以及受土壤、植物蒸散作用影响, 覆盖下阴、阳坡土壤含水率呈现逐渐小于对照的趋势。

2.2 不同种类绿化废弃物覆盖对植株高度的影响

在 4 种园林绿化废弃物与混合的覆盖处理下，整体上，6-7 月植物生长速度最快。6-7 月，与对照相比，披碱草、冰草以及狗尾草在紫穗槐、国槐、侧柏和混合下植株高度普遍高于对照组，只有紫花苜蓿在园林绿化废弃物与混合的覆盖处理下植株高度低于对照组。6-7 月披碱草在混合覆盖处理下植株高度较高，冰草在侧柏覆盖处理下植株高度较高，狗尾草在侧柏和混合覆盖处理下植株高度较高，8 月后多数植株高度低于对照组。6-8 月火炬树覆盖下披碱草、冰草、紫花苜蓿和狗尾草植株高度均小于其他 4 种覆盖物。

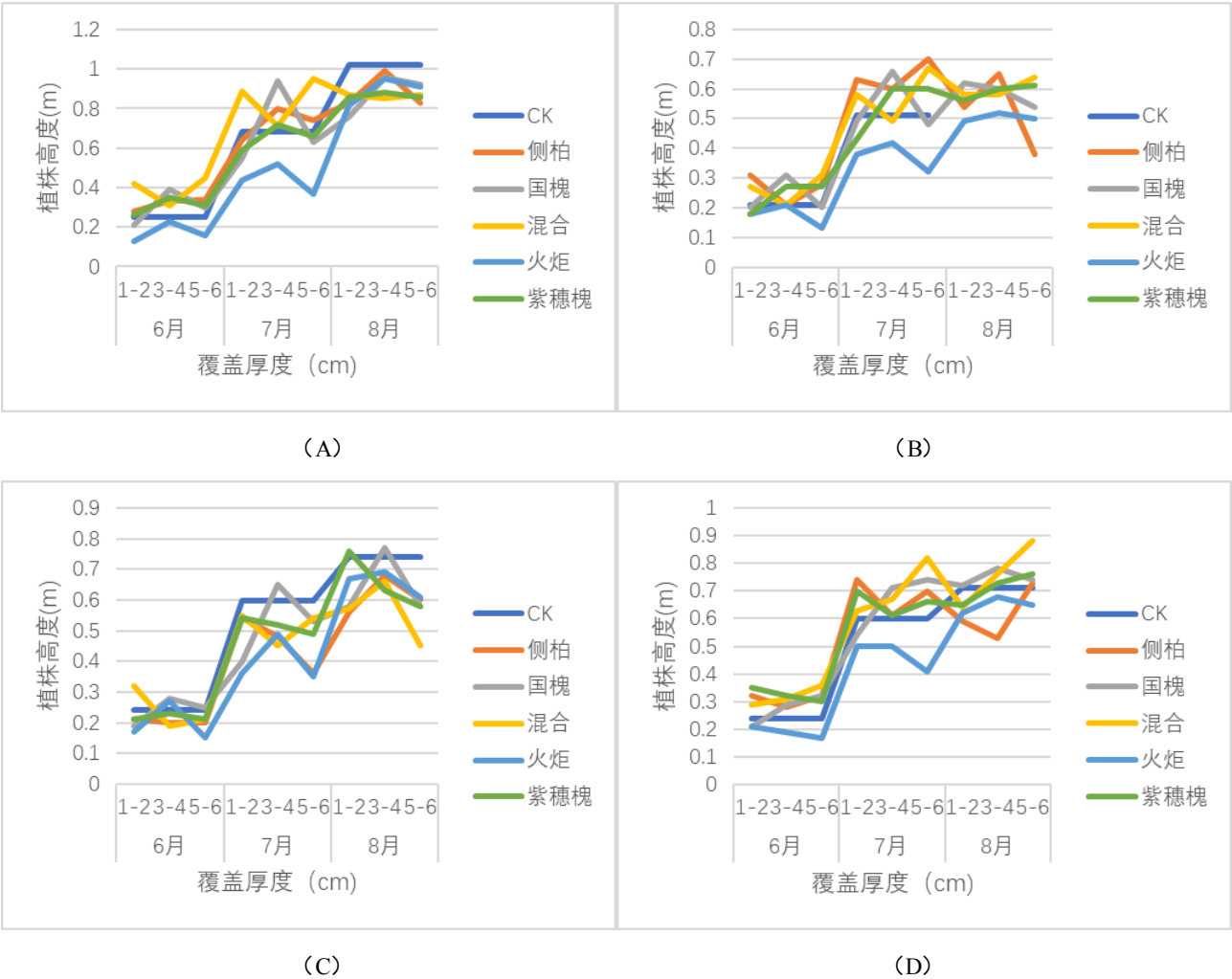


图 1 不同种类绿化废弃物覆盖下披碱草(A)、冰草(B)、紫花苜蓿(C)以及狗尾草(D)的植株高度变化

Fig.1 Changes in plant height of lymphora (A), agropyrus (B), alfalfa (C) and setaria (D) under different kinds of green waste cover

6-9 月裸地无紫穗槐和胡枝子萌发，7 月 1-2、3-4cm 国槐、侧柏枝叶和 3-4、5-6cm 火炬树枝叶覆盖下无紫穗槐萌发，8 月仅 3-4cm 国槐、侧柏枝叶覆盖下无紫穗槐生长；与紫穗槐比，胡枝子萌发数量较少。5 种覆盖物中，紫穗槐枝叶覆盖下紫穗槐萌发数量最多，且与覆盖厚度呈正比，但生长高度普遍较低。9 月，紫穗槐在 25°阳坡覆盖侧柏枝叶 5-6cm 植株高度最高，在 25°沿阴坡覆盖紫穗槐枝叶 5-6cm 植株高度较高。

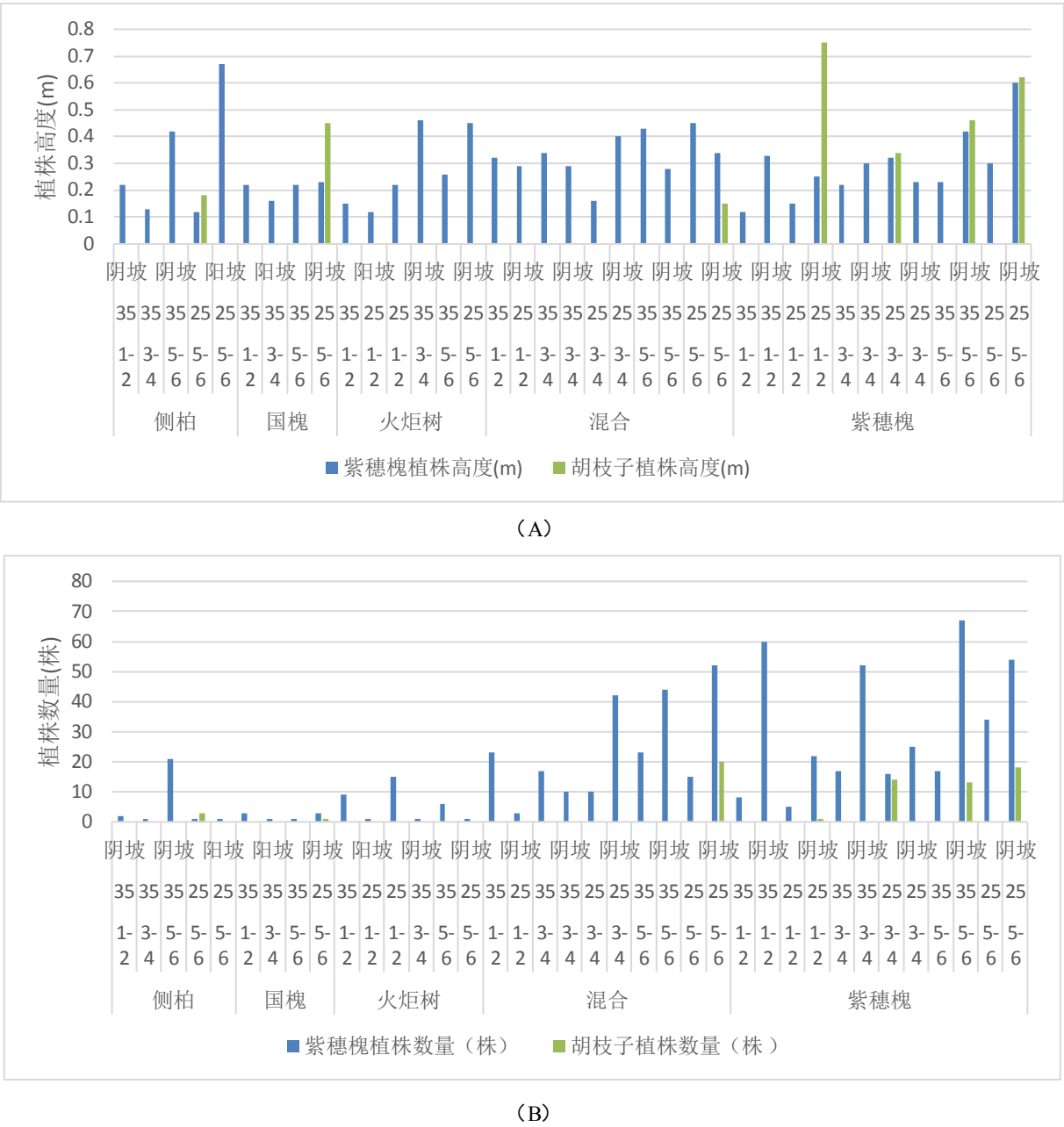


图 2 不同绿化废弃物覆盖下 9 月植物高度

Fig.2 Plant height in September under different greening waste mulch

2.3 不同绿化废弃物覆盖厚度对植株高度的影响

6、7 月阳坡覆盖 3-4cm 各草本植株更高，阴坡覆盖 1-2cm 草本植株更高；8 月阴、阳坡覆盖厚度和草本植株高度之间相关性变弱，各覆盖厚度之间草本植株高度差异变小，覆盖对植株高度起到负作用。

6 月，披碱草在 25° 阳坡覆盖 3-4cm 植株高度最高，在 35° 阳坡覆盖 1-2cm 植株高度最低；冰草在 35° 阳坡覆盖 3-4cm 植株高度最高，在 35° 阴坡覆盖 3-4cm 植株高度最低；紫花苜蓿在 35° 阳坡覆盖 3-4cm 植株高度最高，在 25° 阳坡覆盖 5-6cm 和 35° 阴坡覆盖 1-2cm 植株高度最低；狗尾草在 35° 阳坡覆盖 3-4cm 植株高度最高，在 35° 阴坡覆盖 3-4cm 和 25° 阳坡覆盖 1-2cm 植株高度最低。

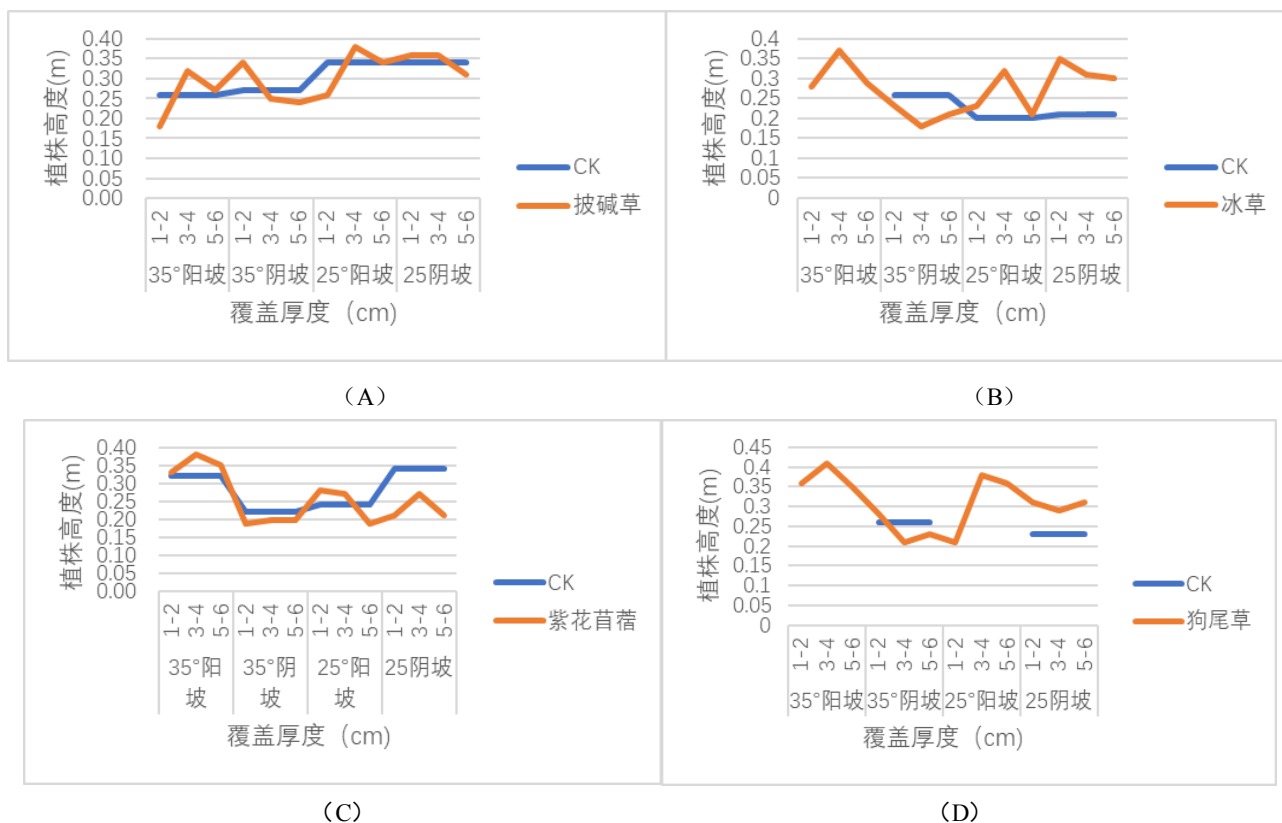
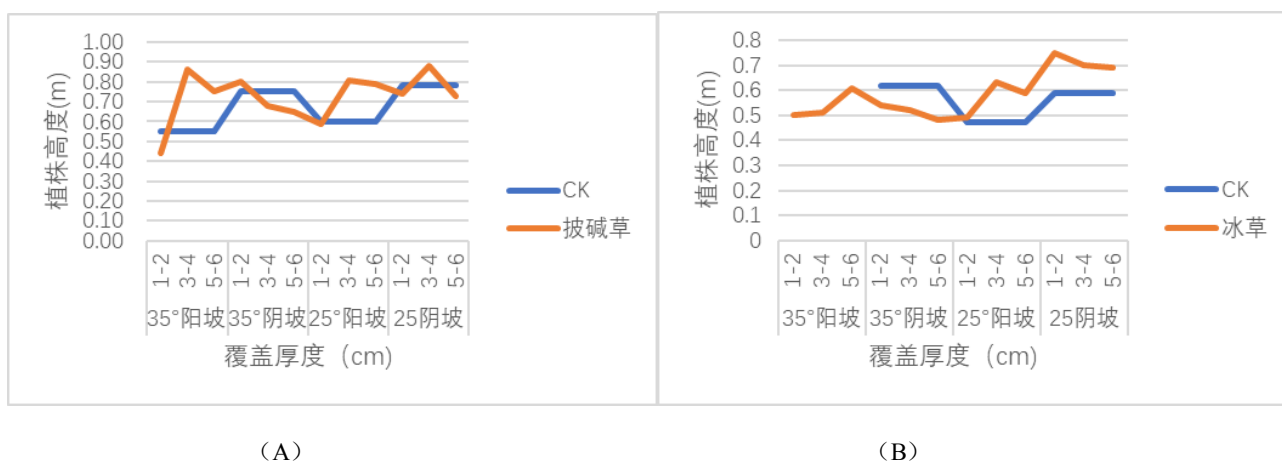


图3 不同坡度、坡向以及覆盖厚度下6月披碱草(A)、冰草(B)、紫花苜蓿 (C)以及狗尾草(D) 植株高度变化

Fig.3 Under different slope, slope direction and cover thickness, the plant height of lymphora (A), Agropyrrhiza (B), alfalfa (C) and setaria (D) changed in June

7月, 披碱草在25°阴坡覆盖3-4cm植株高度最高, 在35°阳坡覆盖1-2cm植株高度最低; 冰草在25°阴坡覆盖1-2cm植株高度最高, 在35°阴坡覆盖5-6cm植株高度最低。与对照相比, 覆盖对紫花苜蓿、狗尾草的植株高度起到负作用。紫花苜蓿在35°阴坡覆盖5-6cm植株高度最低, 狗尾草在25°阳坡覆盖1-2cm植株高度最低。



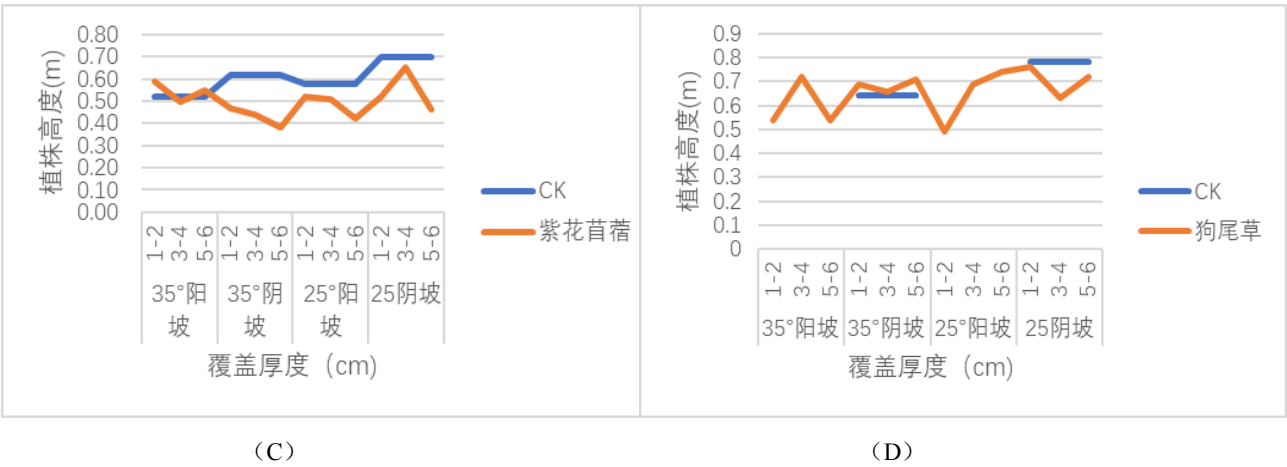


图 4 不同坡度、坡向以及覆盖厚度下 7 月披碱草(A)、冰草(B)、紫花苜蓿 (C)以及狗尾草(D) 植株高度变化

Fig.4 Under different slope, slope direction and cover thickness, the plant height of lymphora (A), Agropyrrhiza (B), alfalfa (C) and setaria (D) changed in July

8 月, 相对于对照组, 冰草和狗尾草在枝叶覆盖下的植株高度普遍较低。披碱草在 35° 阳坡覆盖 1-2cm 植株高度最低; 冰草在 35° 阳坡覆盖 1-2cm 植株高度最低; 紫花苜蓿在 35° 阴坡覆盖 5-6cm 植株高度最低, 狗尾草在 35° 阳坡覆盖 1-2cm 植株高度最低。

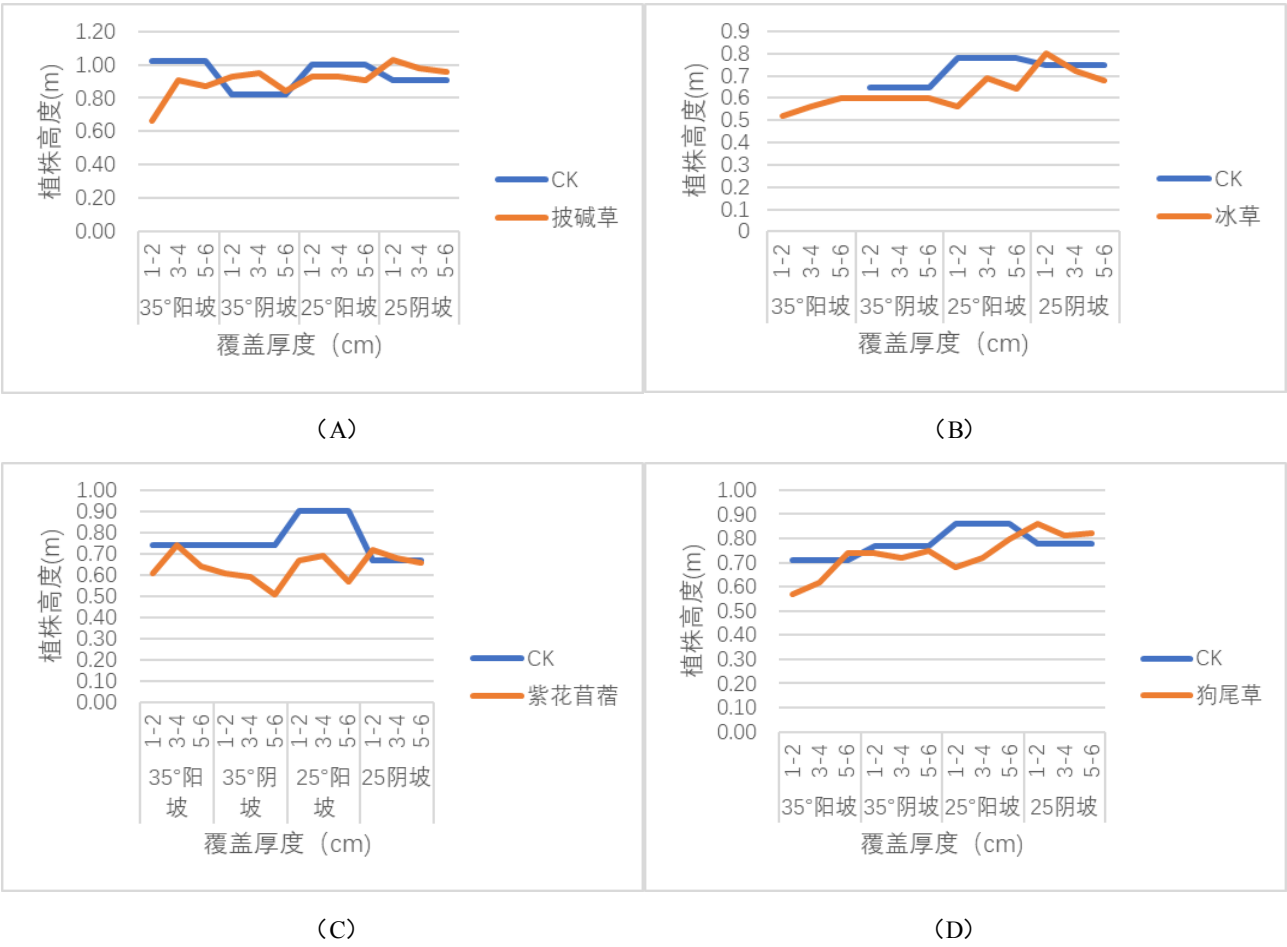


图 5 不同坡度、坡向以及覆盖厚度下 8 月披碱草(A)、冰草(B)、紫花苜蓿 (C)以及狗尾草(D) 植株高度变化

Fig.5 Under different slope, slope direction and cover thickness, the plant height of lymphora (A), Agropyrrhiza (B), alfalfa (C) and

setaria (D) changed in August

而灌木高度表现出不同规律，7-9 月紫穗槐高度均随覆盖物覆盖厚度的增加而增大，且阴坡紫穗槐数量更多。胡枝子未变现出明显和变化规律。紫穗槐在 25°阴坡覆盖 5-6cm 植株高度最高，且在 25°阴坡和 35° 阴坡植株数量较多。

表 2 不同绿化废弃物覆盖下 9 月植物高度
Table 2 Plant height in September under different greening waste mulch

坡度 (°)	坡向	覆盖厚度 (cm)	9 月植株高度			
			紫穗槐植株高度 (m)	紫穗槐植株数量 (株)	胡枝子植株高度(m)	胡枝子植株数量 (株)
35	阳坡	1-2	0.12	8		
		3-4	0.24	12		
		5-6	0.33	20	0.46	13
	阴坡	1-2	0.22	16		
		3-4	0.30	19	0.34	14
		5-6	0.32	28	0.45	1
	25	1-2	0.14	3	0.75	1
		3-4	0.24	13		
		5-6	0.38	24	0.32	14
	阴坡	1-2	0.25	13		
		3-4	0.32	34		
		5-6	0.46	22		

3 讨论

当前边坡绿化植物主要以灌草型植物为主，由于其能够在短期内形成良好的景观绿化效果而被华北地区边坡广泛采用（田佳等，2007；孔东莲等，2006;）。草本植物在边坡绿化早期，能够进行快速覆绿，减少基层水分蒸发，防止初期的土壤侵蚀和水土流失（潘声旺等，2013），更利于灌木萌发生长；在后期，灌木植物相比草本植物具有更好的固土护坡价值（陈振峰等，2015）。但实际边坡绿化过程中草本植物种子较灌木种子发芽生长迅速，竞争性大，对灌木种子发芽生长造成了影响，所以，需要利用人为因素来减少草本种子竞争能力，防止群落建植早期木本植物压迫，从而形成“以灌木为主，以草本为辅”的灌草式护坡植被。

对于草本植物，在 7-9 月雨季，覆盖物有效提高了土壤含水率，阳坡覆盖 3-4cm 厚度的保墒效果更好，而阴坡覆盖 1-2cm 厚度保墒效果更佳，而在覆盖厚度下，在阳坡覆盖 3-4cm 或阴坡覆盖 1-2cm 下，披碱草、冰草以及狗尾草植株高度更高。这说明了覆盖物影响土壤保墒特性，进行影响植株高度。有学者研究，覆盖保墒可有效减少土壤水分蒸发，保蓄土壤水分，促进植物生长（闫东等，2021）。

对于灌木，有研究表明，就覆盖厚度来说，草屑、树叶、枝叶以 6 cm 为宜，树枝可覆盖 6 cm 或 9 cm, 其中 6 cm 厚度草屑、枝叶和 9 cm 厚度树枝对降低土壤 pH 效果最明显（潘松等，2022），所以紫穗槐在 5-

6cm 覆盖下植株高度较高。但也有学者发现草屑覆盖能够提高 0~20cm 层土壤有机质、全氮和氮磷钾有效性,但对深层土壤影响不明显 (Qu et al., 2016),说明在不同厚度下植株高度也有差异,在其运用方面还需要进行更深入地思考与研究。

本研究中紫花苜蓿不适合园林绿化废弃物的覆盖处理。紫花苜蓿属于中等耐盐碱植物,且适应性强,但当土壤含盐量超过一定的范围时,其出苗和生长便会受到抑制 (庞晓攀等, 2015),所以可能是覆盖使得土壤含盐量变化,使得紫花苜蓿生长效果较差。综合不同覆盖材料和不同覆盖厚度下,本研究经过修剪的火炬树枝叶不可简单处理覆盖还田。大量研究表明,火炬树根系分泌物对农作物 (白丽荣等, 2010)、乔木 (吴长虹等, 2008)、牧草 (左郎等, 2021) 以及土壤微生物群落 (Zhu et al., 2020; Qu et al., 2021) 的生长具有抑制作用,这种抑制作用主要通过化感作用实现,化感作用指的是植物能够向环境中释放化感活性物质抑制其他植物的生长,从而降低种子的发芽率减弱植物的竞争力,进而改变植物在群落里的分布组成 (Lau et al., 2008),导致植物生长效果差。

4 结论

(1) 6-7 月,与对照相比,披碱草、冰草以及狗尾草在紫穗槐、国槐、侧柏和混合下植株高度普遍高于对照组,只有紫花苜蓿在园林绿化废弃物混合的覆盖处理下植株高度低于对照组,说明紫花苜蓿不适合园林绿化废弃物的覆盖处理。6-7 月边坡植物在混合和侧柏覆盖处理下植株高度较高,8 月后多数植株高度低于对照组。6-8 月火炬树覆盖下披碱草、冰草、紫花苜蓿和狗尾草植株高度均小于其他 4 种覆盖物,说明火炬树覆盖会使得植株高度降低。

(2) 6-7 月,在阳坡覆盖 3-4cm 或阴坡覆盖 1-2cm 下,披碱草、冰草以及狗尾草植株高度更高。8 月,相对于对照组,冰草和狗尾草在枝叶覆盖下的植株高度普遍较低。为了防止灌木被草本植物压迫,冰草和狗尾草更适合播种。

(3) 在不同种类绿化废弃物覆盖下,紫穗槐枝叶覆盖下紫穗槐萌发数量最多,且与覆盖厚度呈正比,但生长高度普遍较低。紫穗槐在 25°阳坡覆盖侧柏枝叶 5-6cm 植株高度最高,在 25°阴坡覆盖紫穗槐枝叶 5-6cm 植株高度较高。在不同绿化废弃物覆盖厚度下,紫穗槐在 25°阴坡覆盖 5-6cm 植株高度最高。

综上所述,为了解决绿化废弃物和灌草竞争的问题,可以把紫穗槐和冰草或紫穗槐和狗尾草进行配合撒播,灌木植物紫穗槐适合在 25°阴坡覆盖紫穗槐枝叶 5-6cm 下播种,草本植物冰草和狗尾草适合在阳坡覆盖 3-4cm 或阴坡覆盖 1-2cm 下播种。火炬树枝叶不适合覆盖。

参 考 文 献

- 白丽荣,时丽冉,徐振华,苏海霞,樊燕,张学霞.火炬树浸提液对几种农作物的化感作用[J].种子,2010,29(06):91-93.
曹晓璐.园林废弃物制造栽培基质过程中微生物的动态变化[D].中国林业科学研究院,2014.
陈振峰,程文,陈增香,潘荣森,胡天寿,孙凯蕾,李东樵.矿山岩石边坡植被恢复中植物配置的研究[J].环保科技,2015,21(03):15-20.
方佩,夏宇,刘寒晓,王峰,杨建英,孙盛年,史常青,耿雪萌,赵廷宁,李强.生长延缓剂对华北边坡绿化 3 种草本植物种子发芽的影响

- [J].中国水土保持科学,2017,15(04):125-133.
- 韩继红,李传省,黄秋萍.城市土壤对园林植物生长的影响及其改善措施[J].中国园林,2003(07):74-76.
- 孔东莲,郭小平,赵廷宁.华北地区边坡生态防护植物选择[J].林业调查规划,2006(04):31-34.
- 欧毅,王进,王银合,王玉霞,刘圣维,唐晓华,代正林.覆盖对山地甜柿园土壤性状及树体生长结果的影响[J].西北农业学报,2005(02):158-162.
- 潘声旺,杨秀云,何茂萍,杨丽娟.几种典型道路边坡植被配置模式的护坡效益研究[J].四川农业大学学报,2013,31(02):151-156.
- 潘松,史正军,毛晓宁,袁峰均,曾伟,焦玉佳.园林废弃物覆盖材料组分及厚度对土壤化学性质的影响[J].西部林业科学,2022,51(05):153-158.
- 庞晓攀,张静,刘慧霞,宋锐,贾婷婷,肖玉.地膜覆盖对盐碱地紫花苜蓿生长性状及产量的影响[J].草业科学,2015,32(09):1482-1488.
- 石河.9386 亩绿化 六大景观 乡土植物担纲“主角”沿线四季赏景 京张高铁建成一条山川一览锦绣斑斓的绿色廊道[J].绿化与生活,2020(07):4-10.
- 田佳,刘耀辉.华北地区几种常用边坡绿化植物的根系力学特性研究[J].中国水土保持,2007(10):34-36.
- 王敏,王海霞,韩清芳,李荣,张睿,贾志宽,杨宝平.不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J].作物学报,2011,37(07):1249-1258.
- 吴长虹,翟明普.火炬树化感作用的初步研究[J].西北林学院学报,2008(06):162-165.
- 闫东,乌学敏,李菲,李红艳,乌建国,金萌.不同覆盖保墒模式对玉米产量和土壤含水量、地温的影响[J].现代农业,2021(02):29-30.DOI:
- 左郎,王树森,马迎梅,温苏雅勒图,白刚,郁鑫明.火炬树浸提液对两种草坪草种子萌发的影响[J].草地学报,2021,29(09):1927-1933.
- Adekalu K O, Olorunfemi I A, Osunbitan J A. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria[J]. Bioresource technology, 2007, 98(4): 912-917.
- Battikhi A M, Ghawi I. Muskmelon production under mulch and trickle irrigation in the Jordan Valley[J]. Hortscience, 1987, 22(4): 578-581.
- Boldrin A, Andersen J K, Møller J, et al. Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions[J]. Waste Management & Research, 2009, 27(8): 800-812.
- Cantero-Flores A, Bailón-Morales R, Villanueva-Arce R, et al. Compost made with green waste as an urban soil improver[J]. Ingeniería agrícola y biosistemas, 2016, 8(2): 71-83.
- Chakraborty D, Nagarajan S, Aggarwal P, et al. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment[J]. Agricultural water management, 2008, 95(12): 1323-1334.
- Gabhane J, William S P M P, Bidyadhar R, et al. Additives aided composting of green waste: Effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost[J]. Bioresource technology, 2012, 114: 382-388.
- Job M, Bhakar S R, Singh P K, et al. Evaluation of plastic mulch for changes in mechanical properties during onion cultivation[J]. Int. J. Sci. Env. Tech, 2016, 5: 575-584.
- Kader M A, Nakamura K, Senge M, et al. Soil hydro-thermal regimes and water use efficiency of rain-fed soybean (*Glycine max*) as affected by organic mulches[J]. Agricultural Water Management, 2019, 223: 105707.
- Lau J A, Puliafico K P, Kopshever J A, et al. Inference of allelopathy is complicated by effects of activated carbon on plant growth[J]. New Phytologist, 2008, 178(2): 412-423.
- Li A, Zhang J, Ren S, et al. Research progress on preparation and field application of paper mulch[J]. Environmental Technology & Innovation, 2021, 24: 101949.
- Maggard A O, Will R E, Hennessey T C, et al. Tree-based mulches influence soil properties and plant growth[J]. HortTechnology, 2012, 22(3): 353-361.
- Midega C A O, Pittchar J, Salifu D, et al. Effects of mulching, N-fertilization and intercropping with *Desmodium uncinatum* on *Striga hermonthica* infestation in maize[J]. Crop protection, 2013, 44: 44-49.
- Qu B, Liu Y, Sun X, et al. Effect of various mulches on soil physico—Chemical properties and tree growth (*Sophora japonica*) in urban tree pits[J]. PLoS One, 2019, 14(2): e0210777.
- Qu T, Du X, Peng Y, et al. Invasive species allelopathy decreases plant growth and soil microbial activity[J]. PLoS One, 2021, 16(2): e0246685.
- Rawoteea S A, Mudhoo A, Kumar S. Co-composting of vegetable wastes and carton: Effect of carton composition and parameter variations[J]. Bioresource technology, 2017, 227: 171-178.
- Sánchez-Monedero M A, Serramiá N, Civantos C G O, et al. Greenhouse gas emissions during composting of two-phase olive mill wastes with different agroindustrial by-products[J]. Chemosphere, 2010, 81(1): 18-25.
- Sarkar M D, Solaiman A H M, Jahan M S, et al. Soil parameters, onion growth, physiology, biochemical and mineral nutrient composition in response to colored polythene film mulches[J]. Annals of Agricultural Sciences, 2019, 64(1): 63-70.

- Sarkar S, Paramanick M, Goswami S B. Soil temperature, water use and yield of yellow sarson (*Brassica napus* L. var. *glauca*) in relation to tillage intensity and mulch management under rainfed lowland ecosystem in eastern India[J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93(1): 94-101.
- Suarez E, Tobajas M, Mohedano A F, et al. Energy recovery from food waste and garden and park waste: Anaerobic co-digestion versus hydrothermal treatment and anaerobic co-digestion[J]. *Chemosphere*, 2022, 297: 134223.
- Ten Hoeve M, Bruun S, Jensen L S, et al. Life cycle assessment of garden waste management options including long-term emissions after land application[J]. *Waste management*, 2019, 86: 54-66.
- Zhu P, Wei W, Bai X, et al. Effects of invasive *Rhus typhina* L. on bacterial diversity and community composition in soil[J]. *Ecoscience*, 2020, 27(3): 177-184.