

温雅静.施用有机肥对沙地柏苗木生长和苗圃土壤理化性质的影响[J].山西农业科学,2026,54(1):162-168.

WEN Y J. Effects of organic fertilizer application on growth of *Sabina vulgaris* seedlings and physicochemical properties of soil in nursery[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2026, 54(1): 162-168.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2026.01.18

施用有机肥对沙地柏苗木生长和苗圃土壤理化性质的影响

温雅静

(山西省太行山国有林管理局,山西 太原 030000)

摘要:为探究施用有机肥对沙地柏苗木生长和苗圃土壤理化性质的影响,以2年生沙地柏幼苗为试材,设置秋施50%有机肥+春施50%化肥(T₁)、秋施70%有机肥+春施30%化肥(T₂)、春施50%有机肥+春施50%化肥(T₃)、春施70%有机肥+春施30%化肥(T₄)共4个处理,同时以不施肥为对照(CK),测定不同处理下沙地柏苗木生长性状和苗圃土壤理化指标。结果表明,与CK及T₃、T₄处理相比,T₂处理显著提高了沙地柏苗高、地径、根、叶生物量和总生物量,比T₄处理分别提高了46.70%、29.25%、18.87%、32.84%和22.52%;与T₃、T₄处理相比,T₂处理显著提高了土壤毛细孔隙度、非毛细孔隙度、总孔隙度和毛管持水量,降低了土壤容重。T₂处理较T₃处理显著提高了土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量,较T₄处理显著提高了土壤有机质、碱解氮含量;较T₁处理显著提高了脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性。秋施有机肥在促进沙地柏生长、改善土壤理化性质、提高土壤酶活性方面显著优于春施有机肥。综上,秋季施用70%有机肥+春季施用30%化肥为沙地柏较适宜的施肥处理。

关键词:有机肥;沙地柏;总生物量;土壤理化性质;土壤酶活性

中图分类号:S791.44

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2026)01-0162-07

Effects of Organic Fertilizer Application on Growth of *Sabina vulgaris* Seedlings and Physicochemical Properties of Soil in Nursery

WEN Yajing

(Shanxi Taihang Mountain State-Owned Forest Management Bureau, Taiyuan 030000, China)

Abstract: In order to explore the effects of organic fertilizer application on seedling growth of *Sabina Vulgaris* and soil physicochemical properties, in this study, taking 2-year-old *Sabina Vulgaris* seedlings as experimental materials, 5 treatments including conventional fertilization control(CK), autumn application of 50% of organic fertilizer+ spring application of 50% of chemical fertilizer(T₁), autumn application of 70% of organic fertilizer+spring application of 30% of chemical fertilizer(T₂), spring application of 50% of organic fertilizer+spring application of 50% of chemical fertilizer(T₃), and spring application of 70% of organic fertilizer+spring application of 30% of chemical fertilizer(T₄) were set up, and growth traits of *Sabina Vulgaris* seedlings and soil physicochemical indexes under different treatments were determined. The results showed that: the seedling height, ground diameter, total biomass of root, stem, and leaf of *Sabina Vulgaris* significantly increased in T₂ compared with CK and the treatments T₃ and T₄, the values were 46.70%, 29.25%, 18.87%, 32.84%, and 22.52% higher than those in T₄ respectively. T₂ significantly improved soil capillary porosity, non-capillary porosity, total porosity, and capillary water capacity, while also reduced soil bulk density, compared with T₃ and T₄. Additionally, T₂ enhanced the content of soil organic matter, total nitrogen, alkali hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, and available potassium compared with T₃. The content of soil organic matter and alkali hydrolyzed nitrogen in T₂ was significantly higher than that in T₄. Compared with T₁, T₂ significantly increased the activities of urease, phosphatase, sucrase, and catalase. Organic fertilizer application in autumn was significantly better than in spring in promoting the growth of *Sabina Vulgaris*, improving soil physicochemical properties, and enhancing soil enzyme activity. In summary, autumn application of 70% of organic fertilizer+spring application of 30% of chemical fertilizer was a suitable fertilization treatment for *Sabina Vulgaris*.

Keywords: organic fertilizer; *Sabina Vulgaris*; total biomass; soil physicochemical properties; soil enzyme activities

收稿日期:2024-09-11

作者简介:温雅静,高级工程师,主要从事森林培育研究,E-mail:wenyajingykl@126.com

山西省地处华北地区,土地资源有限,加上大部分地区水土流失严重,近些年耕地和林地土壤肥力快速下降^[1]。土壤肥力的下降降低了植物生长量,导致各地苗圃园林植物育苗年限延长,无形中增加了用地成本,也降低了苗木繁育企业的经济效益。为解决这一问题,很多苗圃在沙地柏育苗中采取人工施肥的方式促进苗木生长,以加快育苗进度^[2],但是长期施用化肥导致土壤板结,团粒结构破坏,部分苗圃表层土壤已经盐碱化,土壤质量明显下降^[3],同样影响了沙地柏苗木的正常生长。鉴于此,部分学者提出施肥中添加一定比例的有机肥来培肥,从而提高土壤肥力水平,促进植物生长^[4]。有机肥土壤养分全面,肥效持久,可以有效改善土壤物理性质和土壤微生物多样性,对培肥土壤具有重要作用^[5],但是有机肥的肥效慢,施用不当或者碳氮比过高会导致其与植物争夺土壤速效养分,引起植物生长所需养分不足,抑制植物生长发育^[6]。鉴于此,部分学者提出采用秋施有机肥的方式延长其在土壤内的腐熟时间,来年春季补充施用一定量速效化肥来满足植物生长发育需要,从而实现既能培肥土壤,又能促进植物生长的目标^[7]。

沙地柏(*Sabina vulgaris*)隶属于柏科(Cupressaceae)圆柏属(*Sabina*)。由于其耐寒、耐旱、耐瘠薄的特点,根系相连且对土壤要求不严,可长期适应干旱的沙漠环境,是干旱和半干旱地区优良的防风固沙树种。在沙地柏实生苗培育过程中,施肥是影响其幼苗生长和生物量的关键因素。蒋媛等^[8]在库尔勒香梨(*Pyrus sinkiangensis*)果园土壤中的研究结果显示,秋施有机肥可显著提高土壤有机质含量,土壤物理结构得到明显改善,速效养分含量也表现出升高的趋势。但是目前山西省沙地柏育苗中实施秋施基肥对苗木生长和土壤肥力的影响效果目前仍不清楚。因此,本研究通过分析秋施有机肥结合春施化肥对沙地柏生长和土壤肥力的影响,旨在为沙地柏育苗过程中科学合理施肥提

供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

2020年2月,挑选饱满沙地柏种子,使用高锰酸钾消毒并催芽后播种于直径为9 cm、高度为8.8 cm的育苗钵中。2020年5月25日,将沙地柏幼苗移栽至苗圃中,株距85 cm,行距110 cm,移栽结束后浇透水一次,苗木在自然状态下生长,7月26日和8月15日各除草一次。

试验于2021年10月,在山西省林业和草原局附属太原市苗圃(榆次区井峪村)内进行,所选苗木为2020年沙地柏实生苗。试验苗圃0~20 cm土层,土壤肥力为:有机质含量6.63 g/kg,碱解氮含量16.38 mg/kg,有效磷含量11.85 mg/kg,速效钾含量87.96 mg/kg,pH值为7.98。试验所使用有机肥为牛粪和秋季落叶充分腐熟后的混合物,有机质含量16.8%,含氮量0.51%, P_2O_5 含量0.26%, K_2O 含量0.16%。试验所选氮肥为尿素,含氮量46%;所选磷肥为重过磷酸钙, P_2O_5 含量46%;钾肥为硫酸钾, K_2O 含量50%。

1.2 试验设计

试验共设置1个对照(CK)和4个处理($T_1 \sim T_4$),施肥量参考元秀慧^[9]的研究结果确定,各处理施肥方案见表1。施肥方式为沟施,秋季施肥时间为2021年10月25日,施用有机肥时在距离沙地柏苗茎两侧5 cm处沿行长延伸方向挖一条宽30 cm、深12 cm的沟,将有机肥施入其中后覆土;第2年(2022年)春季施用化肥时间为3月25日,在原施用有机肥的沟处挖开,将化肥混入5倍土壤后施入其中,覆土后浇透水1次。或将有机肥和化肥混合均匀,在距离沙地柏苗茎两侧5 cm处沿行长延伸方向挖一条宽30 cm、深12 cm的沟,将有机肥和化肥混合物施入沟中,然后覆土,浇透水1次。每个处理60株沙地柏幼苗,合计300株。

表1 各处理的施肥方案

Tab.1 Fertilization scheme in each treatment

处理 Treatment	施肥方案 Fertilization scheme	尿素/(g/株) Urea	重过磷酸钙/(g/株) Superphosphate	硫酸钾/(g/株) Potassium sulphate	有机肥/(kg/株) Organic fertilizer
CK	不施肥				
T_1	秋施50%有机肥+春施50%化肥	12.00	5.88	8.24	1.08
T_2	秋施70%有机肥+春施30%化肥	7.20	3.43	6.73	1.52
T_3	春施50%有机肥+春施50%化肥	12.00	5.88	8.24	1.08
T_4	春施70%有机肥+春施30%化肥	7.20	3.43	6.73	1.52

1.3 测定项目及方法

1.3.1 沙地柏生长状况 各处理测定 10 株苗木的苗高和地径,取平均值。各处理选择具有代表性植株 6 株,用铁锹将整株沙地柏苗木挖出,按照根、茎、叶 3 个部位分开,冲洗干净后,在 105 ℃ 下杀青 30 min,置于 70 ℃ 下烘干称质量,取平均值作为平均生物量测定结果。

第 1 次取样测定在施肥前(2021 年 10 月 25 日),经测定,沙地柏平均苗高 5.45 cm,平均地径 1.35 mm,平均总生物量 78.46 g/株(根生物量 18.35 g/株,平均茎生物量 27.66 g/株,平均叶生物量 32.45 g/株);第 2 次取样测定在苗木生长 1 a 后(2022 年 10 月 25 日),苗高、地径增长量为第 2 次测定结果减去第 1 次测定结果。

1.3.2 土壤理化性质测定 用土钻钻取各处理 0~15 cm 土层土壤,带回实验室晾干后用于测定土壤理化性质。采用环刀法测定土壤容重、孔隙度和毛管持水量;采用重铬酸钾容量法测定有机质含量;采用凯氏定氮法测定全氮含量;采用碱解扩散法测定碱解氮含量;采用钼锑抗比色法测定有效磷含量;采用火焰光度计法测定速效钾含量^[10]。采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定脲酶活性;采用磷酸苯二钠比色法测定磷酸酶活性;采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定蔗糖酶活性;采用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性^[11]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 处理数据,采用 SPSS 23.0 软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)检验不同处理之间的差异(LSD, $\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 施用有机肥对沙地柏苗木生长的影响

不同施肥处理对沙地柏生长的影响如表 2 所示,与 CK 相比,施肥处理显著提高沙地柏苗木生长和生物量,秋季施肥对促进沙地柏苗高、地径生长和根、茎、叶生物量、总生物量效果均显著优于春季施肥($P<0.05$)。T₁、T₂、T₃、T₄ 处理沙地柏的苗高、地径增长量及根、茎、叶生物量、总生物量显著高于 CK($P<0.05$)。T₂ 处理沙地柏的苗高、地径增长量均最大,较 CK 分别显著提高了 98.86%、103.21% ($P<0.05$),较 T₄ 处理分别显著提高了 46.70%、29.25% ($P<0.05$)。从生物量来看, T₁、T₂ 处理的根、茎、叶、总生物量均显著高于 CK($P<0.05$), T₂ 处理的根、茎、叶生物量、总生物量较 CK 分别提高了 80.15%、34.17%、79.94%、62.68%, T₂、T₁ 处理间无显著差异。与春施有机肥(T₃ 和 T₄) 相比,除茎生物量外,秋施有机肥(T₁ 和 T₂) 显著提高了沙地柏的根生物量、叶生物量和总生物量($P<0.05$)。秋季施用有机肥比春季施用有机肥更有利于沙地柏生长。

表 2 沙地柏苗木生长与生物量

Tab.2 The growth and biomass of *Sabina vulgaris* seedlings

处理 Treatment	苗高增长量/cm Height increment	地径增长量/mm Ground diameter increment	根生物量/(g/株) Root biomass	茎生物量/(g/株) Stem biomass	叶生物量/(g/株) Leaf biomass	总生物量/(g/株) Total biomass
CK	3.51±0.21c	1.25±0.19c	17.57±0.48c	26.55±1.15b	31.44±1.21c	75.22±2.38c
T ₁	6.44±0.30a	2.47±0.27a	29.67±3.00a	34.68±2.09a	59.39±4.01a	125.74±6.26a
T ₂	6.97±0.50a	2.53±0.24a	31.65±2.21a	35.62±3.06a	56.57±3.10a	122.36±6.18a
T ₃	5.25±0.41b	2.21±0.12b	24.66±2.19b	31.64±2.21a	47.54±2.31b	105.30±4.74b
T ₄	4.75±0.37b	1.96±0.23b	26.62±3.05ab	32.69±2.10a	42.58±1.51b	99.87±3.92b

注:不同小写字母表示不同处理间存在显著差异($P<0.05$)。下表同。

Note: The different lowercase letters indicated significant difference among the treatments ($P<0.05$). The same as below.

2.2 施用有机肥对沙地柏苗圃土壤物理性质的影响

从表 3 可以看出,与 CK 相比,施用有机肥可以提高土壤孔隙度,降低土壤容重,改善土壤物理性质。T₂ 处理的毛管孔隙度最大,较 CK 和 T₃、T₄ 处理分别显著提高了 18.09%、9.18%、6.10% ($P<$

0.05),但 T₃ 与 T₄ 处理间、T₁ 与 T₂ 处理间无显著差异。T₂ 处理的非毛管孔隙度显著高于 CK 和其他处理($P<0.05$)。T₂ 处理的总孔隙度最大,且 T₁、T₂ 处理均显著高于 T₃ 处理($P<0.05$)。表明秋季施用 50% 有机肥可以提高土壤总孔隙度。各施用有机肥处理的土壤容重均显著低于 CK($P<0.05$)。

T₂处理的毛管持水量显著高于T₁、T₃、T₄处理($P<0.05$)。秋施70%有机肥+春施30%化肥可

以提高土壤毛管孔隙度、土壤非毛管孔隙度、总孔隙度和毛管持水量,降低土壤容重。

表3 施用有机肥对沙地柏苗圃土壤物理性质的影响

Tab.3 Effects of organic fertilizer application on soil physical properties of *Sabina vulgaris* seedling nursery

处理 Treatment	毛管孔隙度/% Capillary porosity	非毛管孔隙度/% Non-capillary porosity	总孔隙度/% Total porosity	容重/(g/cm ³) Bulk density	毛管持水量/% Capillary water capacity
CK	53.46±2.30d	2.42±0.11d	55.88±2.41d	1.36±0.06a	52.31±0.96d
T ₁	69.55±3.16ab	4.66±0.30b	74.22±3.45ab	1.17±0.02bc	65.33±4.14ab
T ₂	71.54±1.86a	5.23±0.20a	76.77±2.06a	1.15±0.04c	67.54±2.87a
T ₃	62.37±2.14c	3.88±0.12c	66.25±2.26c	1.24±0.05b	58.44±1.97c
T ₄	65.44±3.21bc	4.03±0.17c	69.47±3.41bc	1.21±0.04bc	60.44±0.86bc

2.3 施用有机肥对沙地柏苗圃土壤化学性质的影响

不同施肥处理对沙地柏苗圃土壤化学性质的影响存在差异,包括有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾(表4)。T₂处理的土壤有机质含量最高,显著高于CK和其他处理($P<0.05$),T₁处理显著高于T₃、T₄处理,表明秋季施用有机肥与春季施用相比,更有利于提高沙地柏苗圃土壤内有机质含量,秋季有机肥施用比例从50%提高至70%,对提高土壤有机质含量效果显著,但春季并不显著。

T₂处理的土壤全氮含量显著高于T₃处理($P<0.05$),表明秋施70%有机肥较春季施用50%有机肥显著提高土壤全氮含量。T₂处理的碱解氮含量比CK和T₃、T₄处理分别显著增加了127.99%和51.25%、33.03%($P<0.05$),表明相同有机肥施用量下,秋季施肥比春季施肥更能提高土壤碱解氮含量。T₂处理的有效磷、速效钾含量均显著高于CK和T₃处理($P<0.05$),表明有机肥施用比例为50%时,秋季施用与春季施用相比能够显著提高土壤有效磷、速效钾含量。

表4 施用有机肥对沙地柏苗圃土壤化学性质的影响

Tab.4 Effects of organic fertilizer application on soil chemical properties of *Sabina vulgaris* seedling nursery

处理 Treatment	有机质含量/(g/kg) Organic matter content	全氮含量/(g/kg) Total nitrogen content	碱解氮含量/(mg/kg) Alkali-hydrolyzable nitrogen content	有效磷含量/(mg/kg) Available phosphorus content	速效钾含量/(mg/kg) Available potassium content
CK	6.68±0.20d	1.03±0.08c	17.72±2.25d	11.73±1.39c	102.37±4.15c
T ₁	9.68±0.31b	1.34±0.12ab	36.35±5.96ab	18.52±2.09a	134.64±10.00ab
T ₂	10.56±0.51a	1.42±0.13a	40.40±2.16a	19.58±0.95a	138.51±8.14a
T ₃	7.69±0.45c	1.24±0.11b	26.71±2.95c	14.39±1.19bc	118.75±4.51b
T ₄	8.46±0.34c	1.27±0.08ab	30.37±4.09bc	16.59±2.21ab	123.02±9.51ab

2.4 施用有机肥对沙地柏苗圃土壤酶活性的影响

施用有机肥对沙地柏苗圃土壤酶活性的影响

情况如表5所示。

表5 施用有机肥对沙地柏苗圃土壤酶活性的影响

Tab.5 Effects of organic fertilizer application on soil enzyme activities of *Sabina vulgaris* seedling nursery mg/(g·d)

处理 Treatment	脲酶活性 Urease activity	磷酸酶活性 Phosphatase activity	蔗糖酶活性 Sucrase activity	过氧化氢酶活性 Catalase activity
CK	18.65±0.60c	5.65±0.60d	9.99±0.48d	0.96±0.07d
T ₁	36.61±3.11a	12.41±1.08b	19.47±1.06b	1.68±0.09ab
T ₂	34.50±2.03a	15.47±1.15a	22.58±2.03a	1.76±0.13a
T ₃	25.47±2.15b	8.65±0.60c	15.43±1.16c	1.36±0.11c
T ₄	29.58±0.97b	10.52±1.12bc	17.50±2.11bc	1.49±0.14bc

从表 5 可以看出,施用有机肥提高了沙地柏苗圃土壤内的脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性,但是不同施肥处理之间存在差异。 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 处理的脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性均显著高于 CK ($P < 0.05$),表明施肥有利于提高土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性; T_1 处理的脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性显著高于 T_3 处理 ($P < 0.05$), T_2 处理的脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性显著高于 T_4 处理 ($P < 0.05$),表明在相同有机肥施用比例下,秋季施用更有利于提高土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性。 T_2 处理的磷酸酶、蔗糖酶活性显著高于 T_1 处理 ($P < 0.05$),表明秋季施用有机肥比例为 70% 时,更有利于提高土壤的磷酸酶、蔗糖酶活性。

3 结论与讨论

3.1 施用有机肥对沙地柏苗木生长和生物量的影响

本研究发现,施肥处理显著提高沙地柏苗木生长和生物量,而秋季施肥对促进沙地柏株高、地径生长和根、茎、叶生物量、总生物量效果均显著优于春季施肥。秋季施用 50% 和 70% 比例的有机肥与 CK、春季施肥相比,显著提高了沙地柏苗木株高、地径和总生物量,这与张吉立^[12]的研究结果相似。有研究表明,较高的土壤肥力可以显著促进植物生长,提高株高和生物量,秋施有机氮肥可以延长幼苗的速生期,提高苗木生长形态指标,如苗木株高、基径,并影响苗木生物量的分配^[13]。本试验中,不同有机肥处理对沙地柏茎生物量的影响处于同一水平,这可能与茎对土壤养分变化不敏感有关。施用有机肥显著提高了根、叶生物量,这与李絮花等^[14]、查晋燕等^[15]的研究结果相似,表明有机肥对促进沙地柏生长具有显著效果。与传统施肥方式相比,施用有机肥的苗木根系往往可分配到更多的生物量,有利于提高苗木的生物量^[16]。从有机肥不同施肥季节比较来看,秋季施肥比春季施肥更有利于促进沙地柏生长,这与金星^[17]在侧柏 (*Platycladus orientalis*) 上的研究结果一致,原因可能是由于秋季施用有机肥增加了其在土壤内的分解与转化时间,有利于营养元素充分释放并供应沙地柏生长发育^[18]。

3.2 施用有机肥对沙地柏苗圃土壤理化性质的影响

化肥与有机肥配施可以显著改善土壤物理性

状,提高土壤孔隙度,降低土壤容重,有利于促进植物根系发育^[19]。本研究结果表明,所有施用有机肥处理与 CK 相比均显著提高了沙地柏苗圃土壤孔隙度,降低了土壤容重,这与樊吴静等^[20]的研究结果相似,可能与有机肥有利于土壤团聚体的形成有关。从不同有机肥施用季节对土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度的影响上来看,秋季施用 70% 有机肥处理效果最明显,土壤孔隙度的增加有利于降低土壤容重,增加土壤通气和透水能力^[21],从而促进根系生长,这可能是该处理沙地柏根系生物量显著高于其他处理的重要原因。有机肥在提高土壤孔隙度的同时,也降低了土壤容重,有利于毛管持水量的升高^[22]。从不同施用有机肥季节来看,秋季施用有机肥比春季施用更有利于提高沙地柏苗圃土壤毛管持水量。

施用有机肥是提高土壤有机质含量的有效手段。本试验结果表明,各施用有机肥处理均显著提高了土壤有机质含量,这与陈海波等^[23]的研究结果一致,但在相同有机肥施用比例下,秋季施肥提高有机质含量的效果优于春季施肥,这可能与秋季施肥延长了有机肥在土壤中的转化时间有关。施用有机肥处理的土壤全氮、碱解氮含量均高于常规施肥,这与张祺等^[24]的研究结果一致,这可能与有机肥肥效较长有关。在相同施肥时期,不同有机肥施用比例对全氮、碱解氮含量的影响无显著差异,但秋季施用有机肥效果高于春季施用,这可能与秋季施肥促进了有机质的转化有关^[25]。有机肥能够显著改善土壤物理性质,提高土壤微生物活性,提高磷元素有效性,加上有机肥还能改善土壤表层持水能力,从而也会提高速效钾含量^[26]。本研究结果表明,施用有机肥提高了土壤有效磷、速效钾含量,但 50% 和 70% 比例有机肥在相同施肥季节不会对有效磷、速效钾含量产生显著影响,这可能与有机肥施用量接近有关。

3.3 沙地柏苗圃土壤酶活性对施肥的响应

脲酶、磷酸酶等是氮代谢过程中的关键酶,参与多种氮代谢调节,对植物生长和土壤中氮元素的循环至关重要。本试验结果表明,施用有机肥提高了土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性,且以秋施 70% 有机肥 + 春施 30% 化肥处理活性最高,这与郑钰钢等^[27]的研究结果一致。由于化肥提供速效养分,有机肥较强的吸附功能将养分吸附在有机肥表面,缓慢释放,提高养分利用率,

充足供应氮肥,从而提高氮代谢关键酶活性。施用有机肥可以显著改善土壤微生物活性,从而也会对土壤酶活性产生显著影响^[22]。此外,刘瑞霞等^[22]研究表明,有机肥可以有效防止土壤板结,提高土壤孔隙度,提高土壤微生物数量和活性,并间接提高了土壤酶活性。从不同季节施肥对土壤酶活性的影响来看,秋季施肥比春季施肥更能提高土壤酶活性,这可能是由于秋季施肥会促进土壤速效养分提高。

综上所述,秋季施用70%比例有机肥与春季施用相比显著促进了沙地柏生长,改善了土壤理化性状,提高了土壤酶活性,因此,秋季施用70%比例有机肥为适宜施肥处理。

参考文献:

- [1] 董泽鹏,薛世通,董琦,等. 有机无机培肥对复垦土壤肥力和水稻产量的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(8): 1366-1370.
DONG Z P, XUE S T, DONG Q, et al. Effects of organic-inorganic fertilization on reclaimed soil fertility and rice yield[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47(8): 1366-1370.
- [2] 李继承,余华,焦森林,等. 不同土壤条件下云杉苗木的施肥效应[J]. 林业科技, 1992, 17(2): 11-15.
LI J C, YU H, JIAO S L, et al. Fertilization effect of spruce seedlings under different soil conditions[J]. Forestry Science and Technology, 1992, 17(2): 11-15.
- [3] 杨准. 土壤板结的原因及解决途径[J]. 河南农业, 2020(10): 22.
YANG Z. Causes and solutions of soil hardening[J]. Agriculture of Henan, 2020(10): 22.
- [4] 李新美,齐红志,何家帅,等. 不同比例有机肥替代化肥对夏玉米氮肥利用率及N₂O排放的影响[J]. 河南农业科学, 2024, 53(5): 92-100.
LI X M, QI H Z, HE J S, et al. Effects of different ratios of organic fertilizers substituting chemical fertilizers on nitrogen use efficiency and N₂O emissions in summer maize season[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2024, 53(5): 92-100.
- [5] LIN W W, LIN M H, ZHOU H Y, et al. The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards[J]. PLoS One, 2019, 14(5): e0217018.
- [6] 王亚宁,程振国,郭力莉,等. 褐煤基有机肥与秸秆联施对土壤肥力及油菜生长的影响[J]. 土壤与作物, 2021, 10(4): 440-448.
WANG Y N, CHENG Z G, GUO L L, et al. Effects of lignite based organic fertilizer combining straw application on soil fertility and oil sunflower growth[J]. Soils and Crops, 2021, 10(4): 440-448.
- [7] 梁元振,赵京考,吴德亮,等. 秋施有机肥对土壤生物学、理化性状及玉米产量的影响[J]. 水土保持研究, 2017, 24(3): 113-118.
LIANG Y Z, ZHAO J K, WU D L, et al. Effects of application of organic fertilizer in autumn on the soil biological, physical and chemical properties and maize yield[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(3): 113-118.
- [8] 蒋媛,王勇,谢宏江,等. 库尔勒香梨园有机质含量提升及有机肥施用技术[J]. 果农之友, 2022(4): 37-39.
JIANG Y, WANG Y, XIE H J, et al. Improvement of organic matter content and application technology of organic fertilizer in Korla fragrant pear orchard[J]. Fruit Growers' Friend, 2022(4): 37-39.
- [9] 元秀慧. 氮对沙地柏生长以及生理特性的影响[J]. 山东林业科技, 2016, 46(1): 26-29.
YUAN X H. Effect of nitrogen fertilizer on *Sabina vulgaris* antoine growth and physiological characteristics[J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 2016, 46(1): 26-29.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
GUAN S Y. Soil enzyme and its research method[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [12] 张吉立. 旅游景观园林早熟禾合理施肥试验研究[J]. 中国土壤与肥料, 2012(4): 65-69.
ZHANG J L. Study of tourism landscape *Poa pratensis* L. reasonable fertilization experiment[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2012(4): 65-69.
- [13] 张彦东,范志强,王庆成,等. 不同形态N素对水曲柳幼苗生长的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 665-667.
ZHANG Y D, FAN Z Q, WANG Q C, et al. Effect of different nitrogen forms on growth of *Fraxinus mandshurica* seedlings[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(5): 665-667.
- [14] 李絮花,杨守祥,于振文,等. 有机肥对小麦根系生长及根系衰老进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 467-472.
LI X H, YANG S X, YU Z W, et al. Effects of organic manure application on growth and senescence of root in winter wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2005, 11(4): 467-472.
- [15] 查晋燕,魏志远,姜成东,等. 化肥减施与有机肥增施对荔枝秋梢生长及叶片质量的影响[J]. 中国南方果树, 2021, 50(1): 54-61.
ZHA J Y, WEI Z Y, JIANG C D, et al. Effects of reduced chemical fertilizer and increased organic fertilizer on growth and leaf quality of *Litchi* autumn shoot[J]. South China Fruits, 2021, 50(1): 54-61.
- [16] TIMMER V R, MILLER B D. Effects of contrasting fertilization and moisture regimes on biomass, nutrients, and water relations of container grown red pine seedlings[J]. New Forests, 1991, 5(4): 335-348.
- [17] 金星. 抚育剩余物堆肥对侧柏和油松苗木的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
JIN X. Effects of tending residue compost on seedlings of *Platycladus orientalis* and *Pinus tabulaeformis*[D]. Beijing:

- Beijing Forestry University, 2016.
- [18] 杨治平, 周怀平, 李红梅, 等. 旱地玉米秸秆还田秋施肥的增产培肥效应[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(4): 10-15.
YANG Z P, ZHOU H P, LI H M, et al. Effect of straw returned to field on dryland soil fertility and the growth of corn [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1999, 17(4): 10-15.
- [19] 罗兴录, 岑忠用, 谢和霞, 等. 生物有机肥对土壤理化、生物性状和木薯生长的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(1): 167-173.
LUO X L, CEN Z Y, XIE H X, et al. Effects of bio-organic fertilizer on the growth of cassava and the physical and chemical biological character of soil[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2008, 17(1): 167-173.
- [20] 樊吴静, 杨鑫, 韦玉恒, 等. 有机无机复混肥对旱藕生长发育及土壤理化性状的影响[J]. 热带作物学报, 2021, 42(7): 1981-1987.
FAN W J, YANG X, WEI Y H, et al. Effect of organic-inorganic compound fertilizer on the growth of edible *Canna* and the physical and chemical properties of soil[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(7): 1981-1987.
- [21] 彭娜, 王开峰, 谢小立, 等. 长期有机无机肥配施对稻田土壤基本理化性状的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(2): 6-10.
PENG N, WANG K F, XIE X L, et al. Effects of long-term integrated fertilization with organic manure and chemical fertilizers on basic physical and chemical properties in paddy soils [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2009(2): 6-10.
- [22] 刘瑞霞, 张先平, 余波, 等. 施肥对连作苗圃新疆杨生长及土壤理化性质的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(1): 80-84.
LIU R X, ZHANG X P, SHE B, et al. Effects of fertilization on the growth and soil physical and chemical properties of *Populus alba* var. *pyramidalis* in continuous cropping nursery [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(1): 80-84.
- [23] 陈海波, 束华琴, 陶盼盼, 等. 不同有机肥替代化肥对葡萄幼树生长及土壤理化性状的影响[J]. 上海农业科技, 2022(4): 103-105.
CHEN H B, SHU H Q, TAO P P, et al. Effects of different organic fertilizers instead of chemical fertilizers on the growth of young grape trees and soil physical and chemical properties [J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2022(4): 103-105.
- [24] 张祺, 孙万春, 俞巧钢, 等. 长期施用有机肥对稻田土壤理化性状的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(7): 1441-1444.
ZHANG Q, SUN W C, YU Q G, et al. Effect of long-term application of organic fertilizer on physical and chemical properties of paddy soil[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(7): 1441-1444.
- [25] 陈云梅, 肖厚军, 赵欢, 等. 商品有机肥替代化肥对春玉米生长、产量及土壤肥力的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(1): 148-152.
CHEN Y M, XIAO H J, ZHAO H, et al. Effects of commercial organic fertilizer as substitution of chemical fertilizer on growth, yield of spring maize and soil fertility[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(1): 148-152.
- [26] 赵秀东, 陈晓芳, 袁自然, 等. 有机肥替代对土壤养分的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(16): 74-80.
ZHAO X D, CHEN X F, YUAN Z R, et al. Organic fertilizer substitution: effects on soil nutrients[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022, 38(16): 74-80.
- [27] 郑钰钢, 胡素萍, 陈辉, 等. 油茶饼粕生物炭和有机肥对土壤酶活性的影响[J]. 森林与环境学报, 2018, 38(3): 348-354.
ZHENG Y Y, HU S P, CHEN H, et al. Effects of *Camellia* cake biochar and organic fertilizer on soil enzymatic activities [J]. Journal of Forest and Environment, 2018, 38(3): 348-354.