

施氮、磷肥对秦岭北麓华北落叶松人工林地土壤生物学特性影响

赵海燕

(甘肃省平凉市农业科学院, 甘肃 平凉 744000)

摘要: 为了研究施肥对秦岭北麓地力衰退的中龄林华北落叶松人工林地的土壤生物学特性影响, 评价施肥对缓解地力衰退的作用。在陕西省太白县南滩苗圃选取 20 年的华北落叶松人工林地, 并对其进行了施肥处理, 通过野外采样和室内分析相结合的方法, 研究了施肥对华北落叶松人工林地土壤酶(蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶)活性和土壤微生物数量的影响。结果表明: 不同施肥处理均不同程度地提高了土壤过氧化氢酶活性、磷酸酶活性、脲酶活性和蔗糖酶活性; 其中在 5 和 7 月, 氮磷配施处理对酶活性的影响最大。施肥处理对酶活性的影响 9 月不及 5 和 7 月显著。不同的施肥处理提高了华北落叶松林地土壤放线菌数量, 氮磷配施效果最明显, 单施氮肥降低了细菌的数量, 施氮肥 75 kg/hm² 和磷肥 75 kg/hm² 处理降低了土壤真菌的数量。土壤酶活性和土壤微生物数量都随着月份推进呈先升高后降低的趋势。研究表明, 施肥处理对秦岭北麓中龄林华北落叶松人工林地的生物学特征有一定的改善作用, 可以有效缓解 20 年华北落叶松人工林地的衰退问题。

关键词: 华北落叶松; 施肥; 土壤肥力; 土壤酶; 土壤微生物

华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 为松科落叶松属的落叶乔木, 在我国分布广泛, 由于其速生性较好, 木材品质优良, 具有良好的水土保持作用, 是华北亚高山地区的主要人工造林树种^[1-2]。由于对优质木材和生态保护的需求, 陕西省于 1958 年引种华北落叶松, 大部分种于秦岭地区^[3], 在引种初期人工林长势良好, 但随着林龄的增加, 林木生长速度减慢。很多学者研究发现在相似立地条件下, 与对照林相比较, 落叶松人工林地地力退化比较严重^[4-5]。于是学者又研究了施肥对华北落叶松林地土壤养分的影响, 结果表明施肥可以提高土壤养分^[6], 但关于施肥对其土壤生物学特性的影响却鲜有报道。

土壤生物学特性主要指土壤酶活性和微生物分布, 土壤酶是植物根系和微生物分泌的、具有生物活性的蛋白质, 与土壤氮、磷、钾等多个土壤指标密切相关, 所以可以利用酶活性来评价土壤质量^[7-9]。土壤微生物对调节土壤生态系统的养分循环和能量流动具有重要作用, 对施肥反映敏感, 其特征可作为生物指标指示土壤质量, 评价土壤肥力^[10-12]。

为了促进华北落叶松健康生长, 改善华北落叶松林地土壤营养状况和评价土壤生物学特性变化, 本研究对地力衰退的 20 年华北落叶松林地进行了氮、磷的施肥试验, 通过野外采样和室内分析相结合的方法, 研究了氮、磷施肥对华北落叶松林地土壤酶(蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶)活性和土壤微生物(细菌、真菌、放线菌)数量等生物学特性的影响, 为华北落叶松人工林养分管理和调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

试验地选择位于陕西省太白县的南滩苗圃, 属秦岭谷地小气候地带, 草本植物有披针苔草 (*Arthraxon hispidus*)、大油芒 (*Sporiopogon sibiricus*)、黄精属 (*Polygonatum*)、菊科 (Compositae) 等多种植物。东经 107° 32', 北纬 34° 07', 海拔 1600 ~ 1700 m, 年均气温 7.7 °C, 无霜期 158 d, 年降水量 600 ~ 1000 mm。

1.2 试验材料

试验材料为 20 年生华北落叶松中龄林林地, 林地土壤以山地黄棕壤为主, 土壤厚度为 65 cm 左右。

收稿日期: 2022-03-16; 录用日期: 2023-05-13

作者简介: 赵海燕 (1989-), 助理研究员, 硕士, 研究方向为植物营养高效利用。E-mail: zhaohaiyan647@163.com。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

共设 6 个施肥处理 (表 1), 每个处理 3 次重复, 共 18 个小区。选择平整的 20 年华北落叶松人工林样地 18 块作为固定样地, 每块样地面积为 20 m × 20 m, 每两块样地之间留 3 m 作为过道。于 2014 年 4 月 15 日施肥, 其中氮肥为尿素, 磷肥为过磷酸钙, 一次性均匀撒施到样地内。

表 1 施肥处理方案

处理	施肥量	
	氮肥 (N kg/hm ²)	磷肥 (P ₂ O ₅ kg/hm ²)
CK	0	0
N1	75	0
N2	150	0
P	0	75
N1P	75	75
N2P	150	150

1.3.2 取样方法

于华北落叶松新叶期 (5 月上旬)、华北落叶松生长旺盛期 (7 月上旬) 和华北落叶松落叶前期 (9 月上旬) 在样地内采集土样。采样点选在离标准木 50 cm 处, 沿 “S” 型采集深度为 0 ~ 20 cm 的土壤, 每个样方内取 5 个点, 充分混匀, 装塑封袋带回实验室, 一部分保存于 4℃ 冰箱中, 用于测定土壤微生物数量, 另一部分风干、研磨并过 1 mm 土壤筛, 装入塑封袋, 测定土壤酶活性。

1.4 分析方法

蔗糖酶: 3,5-二硝基水杨酸比色法; 脲酶: 靛酚比色法; 磷酸酶: 磷酸苯二钠比色法; 过氧化氢酶: KMnO₄ 滴定法^[13]; 土壤微生物计数: 稀释平板法^[14]。

1.5 数据处理

应用 Excel 2010 作图, 用 SPSS 20.0 对数据进行方差分析和多重比较, 显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 施氮、磷肥对华北落叶松林地土壤酶活性的影响

2.1.1 土壤过氧化氢酶活性的变化

过氧化氢酶在土壤中和生物体内广泛存在, 它能促进过氧化氢的分解, 防止过氧化氢的毒害作用, 可以表征土壤腐殖质化强度和有机质积累情况, 与有

机质含量有关, 所以人们很早就建议采用过氧化氢酶活性来作为土壤肥力的指标。表 2 为施肥对华北落叶松林地土壤过氧化氢酶活性的影响, 与 CK 相比, 单施氮肥 (N1、N2) 处理的过氧化氢酶活性在 5 月提高, 但是进入 7 月之后低于 CK。单施磷肥处理 (P) 的过氧化氢酶活性在 5 和 7 月都高于 CK, 而且 7 月时显著高于 CK, 进入 9 月低于 CK。氮磷配施处理的过氧化氢酶活性在 5 月显著高于 CK, 但进入 7 月提升作用下降, 直至 9 月低于 CK。综上所述, 施肥后, 林地的过氧化氢酶活性有所提高, 尤其是氮磷配施, 但是这种提升效率大概只能持续 3、4 个月, 当落叶松进入落叶期, 施肥处理林地的过氧化氢酶活性却低于 CK。从 5 月到 9 月, 华北落叶松林地土壤过氧化氢酶活性总体表现出先升高后降低的趋势。

表 2 施肥对土壤过氧化氢酶活性的影响

(0.02 mol/L KMnO₄ mL/g)

月份	处理					
	CK	N1	N2	P	N1P	N2P
5 月	3.10b	3.28b	3.29b	3.46b	3.81a	4.00a
7 月	3.75b	3.71b	3.49c	4.11a	3.92a	3.73b
9 月	2.34a	1.77b	1.96ab	1.63b	1.89ab	1.37c

注: 数据后字母不同表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.1.2 土壤磷酸酶活性的变化

土壤中的磷酸酶参与有机磷的转化过程, 加速有机磷的释放, 增加磷的有效性, 累积的磷酸酶活性对磷的有效性具有重要的作用。施肥对华北落叶松林地土壤磷酸酶的影响如表 3 所示。N1 处理在 5 月显著提高了林地的磷酸酶活性, 到了 7 月及之后, N1 处理对磷酸酶活性的影响已不大, 而 N2 处理对磷酸酶活性一直不大。P 处理对林地磷酸酶活性影响到了 7 月才体现出来, 显著高于 CK。N1P 和 N2P 处理也是进入 7 月才显著提高磷酸酶活性, 到了 9 月 N2P 处理提高效果已经不明显。从 5 月到 9 月, 华北落叶松林地土壤磷酸酶活性总体表现出先升高后下降的趋势。这可能是由于从 5 月到 7 月, 气温回升, 生物、气候等环境因子给土壤磷酸酶提供了理想的环境。

表 3 施肥对土壤磷酸酶活性的影响

(Phenol mg/g)

月份	处理					
	CK	N1	N2	P	N1P	N2P
5 月	0.31bc	0.43a	0.29c	0.33b	0.33b	0.34b
7 月	0.33c	0.37bc	0.35c	0.42b	0.40b	0.48a
9 月	0.21b	0.19c	0.21b	0.23a	0.23a	0.21b

2.1.3 土壤脲酶活性的变化

脲酶是一种酰胺酶,可以酶促有机物分子中酰胺键的水解,水解的最终产物是氨和碳酸,可以用来表征土壤中有机态氮的转化状态。表4显示了施肥对华北落叶松林地土壤脲酶活性的影响。N1和N2处理的林地脲酶活性在5月到9月都高于CK, N2效果更明显些。P处理显著提高了林地脲酶活性,在5、7和9月分别比CK高出30%、38%和64%。N1P和N2P处理下的林地脲酶活性从5月到9月显著高于其他处理,尤其在7月, N1P和N2P处理的分别达到0.39和0.51 mg/g。总体来看, N2P处理对脲酶活性影响最大。从5月到9月,华北落叶松林地土壤脲酶活性总体呈现先上升后下降的趋势。

表4 施肥对土壤脲酶活性的影响

月份	处理					
	(NH ₃ -N mg/g)					
	CK	N1	N2	P	N1P	N2P
5月	0.20c	0.23c	0.26b	0.26b	0.29a	0.31a
7月	0.21e	0.25d	0.24d	0.29c	0.39b	0.51a
9月	0.11e	0.12d	0.14d	0.18c	0.19b	0.21a

2.1.4 土壤蔗糖酶活性的变化

土壤中的蔗糖酶可加速蔗糖的分解,可以有效地增加土壤中易溶性营养物质,受到底物的诱导作用。一般情况下土壤肥力越高,蔗糖酶活性也越高,它可以表征土壤生物活性强度,也可以评价土壤熟化程度和土壤肥力水平。施肥对华北落叶松林地土壤蔗糖酶活性影响如表5所示, N1和N2处理下林地的蔗糖酶活性与CK无明显变化(除5月N2与CK差异显著外)。与CK相比, P处理显著提高了林地蔗糖酶活性,在5、7和9月,分别高于CK 74.4%、71.9%和89.2%。N1P和N2P处理的林地蔗糖酶活性显著高于N1、N2和CK处理, N1P处理效果更明显,从5月到9月分别比CK高88.7%、73.2%和127.8%。总体上蔗糖酶活性也是随着月份推进有先升高后降低的趋势。

表5 施肥对土壤蔗糖酶活性的影响 (Glc mg/g)

月份	处理					
	(Glc mg/g)					
	CK	N1	N2	P	N1P	N2P
5月	29.38d	30.34d	36.86c	51.25b	55.45a	49.14b
7月	36.55c	35.33c	36.33c	62.84a	63.32a	52.98b
9月	21.76d	23.22d	22.04d	41.18b	49.57a	31.57c

2.2 施氮、磷肥对华北落叶松林地土壤微生物数量的影响

2.2.1 土壤细菌数量的变化

表6为施肥对华北落叶松林地土壤细菌数量的影响,单施氮肥(N1和N2处理)减少了林地土壤中的细菌数量,而单施磷肥(P处理)对其无明显影响。氮磷配施(N1P和N2P处理)可以显著增加林地土壤中的细菌数量,在7月分别比CK高49.5%和83.5%, N2P处理的效果更明显,但到了9月,增加效果有所下降。从时间来看,5和7月的林地土壤细菌数量无明显差别,但进入9月,明显减少。

表6 施肥对土壤细菌数量的影响

($\times 10^6$ cfu/g DW)

月份	处理					
	($\times 10^6$ cfu/g DW)					
	CK	N1	N2	P	N1P	N2P
5月	1.11c	0.88d	0.93d	1.08c	1.49b	1.90a
7月	1.09c	0.86d	1.04c	1.33bc	1.63b	2.00a
9月	0.88cd	0.74d	0.80d	0.86c	0.92b	1.01a

2.2.2 土壤放线菌数量的变化

表7为施肥对华北落叶松林地土壤放线菌数量的影响,与CK相比, N1和N2处理的林地中放线菌数量在5月是稍有增多,但到了7和9月,却有低于CK的趋势。而P处理的放线菌数量在5和7月明显高于CK。N1P和N2P处理下的林地放线菌数量从5月到9月均高于其他任何处理, N2P处理效果更明显。从5月到9月,华北落叶松林地土壤放线菌数量总体先上升后下降,9月达到最低值。

表7 施肥对土壤放线菌数量的影响

($\times 10^4$ cfu/g DW)

月份	处理					
	($\times 10^4$ cfu/g DW)					
	CK	N1	N2	P	N1P	N2P
5月	5.05d	5.21c	5.35c	6.13b	6.42a	6.65a
7月	6.34bc	6.43bc	6.13c	7.63b	7.95b	8.50a
9月	3.35b	2.68c	2.55c	3.55b	4.60a	4.75a

2.2.3 土壤真菌数量的变化

华北落叶松林地土壤真菌数量对氮、磷肥的响应如表8所示, N1处理在7和9月显著增加了林地土壤中真菌的数量, P处理从5月到9月都使其明显升高,在7月份达到 8.63×10^3 cfu/g DW, N1P

处理的林地真菌数量在3个月都显著低于CK。相比CK, N2P处理也增加了真菌数量, 只是不及P处理明显。从5月到9月, 华北落叶松林地土壤真菌数量呈先上升后下降的趋势, 这可能是由于在5月时试验地气温才开始回升, 而9月时试验地气温已经下降到不利于土壤真菌的旺盛繁殖, 所以在5和9月土壤真菌数量较低。

表8 施肥对土壤真菌数量的影响

[$\times 10^3$ cfu/g DW]

月份	处理					
	CK	N1	N2	P	N1P	N2P
5月	6.30b	6.56b	5.77c	7.32a	5.96c	7.13a
7月	7.75b	8.30a	8.63a	8.63a	7.00c	8.25ab
9月	5.50b	6.30a	5.88b	6.33a	5.13c	6.25a

3 讨论

土壤酶活性反映土壤中各种生物过程的方向和强度, 是土壤肥力评价的重要指标之一, 也是土壤自洁能力的一个重要指标^[15-16]。在林木生长初期, 施肥处理对酶活性的影响不是很大, 进入生长旺盛期, 氮磷配施处理下的几种酶活性都明显高于CK。氮磷配施处理(N1P和N2P)提高了土壤中过氧化氢酶活性, 而且在7月时这种现象更明显, 但在林木的生长旺盛季节, 过氧化氢酶活性较低。随着林木的生长, 施肥处理对蔗糖酶活性的影响越明显, 而且氮磷配施的效果更明显, 这可能是随着时间的推移, 氮磷的投入刺激了根系的生长和微生物的繁殖, 对土壤中蔗糖酶的底物含量有影响。随着时间推移, 蔗糖酶活性呈降低的趋势。5月时施肥处理对脲酶活性的影响不大, 7月时影响有所提高, 到了9月施肥处理对脲酶活性的影响大幅度提高, 尤其是P、N1P和N2P处理。这与陈立新^[17]对落叶松的施肥试验结果一致, 施肥不同程度地提高了土壤酶的活性。罗雪华等^[18]对橡胶人工林进行了施肥试验, 研究结果显示施肥短期内可以显著提高土壤脲酶活性, 这与本研究结果一致。

微生物的动态变化受凋落物质量、根系生长等多种因素影响^[19], 施肥对土壤中微生物数量的影响在5月就表现出来, 说明微生物利用养分的能力要强于林木根系, 它们可以直接利用肥料中的养分。施氮肥处理显著增加了细菌数量, 细菌的碳氮

比较小, 需要较多的氮素来满足自身的繁殖, 施入氮肥增加了土壤中细菌的营养基质, 所以细菌有较充足的氮源进行繁殖。单施磷肥对真菌数量的影响较大, 说明真菌的氮磷比可能要远远低于细菌, 也就是说真菌繁殖时比细菌需更多的磷。氮磷配施对3种微生物数量都有明显提高, 7月时的微生物数量较高于5和9月。本研究施肥处理中N1P和N2P处理均显著提高了土壤真菌的数量, 贾淑霞等^[20]对水曲柳和落叶松进行了施肥试验, 结果表明施肥降低了2种人工林土壤微生物量碳、氮, 以及细菌、放线菌和真菌的数量, 改变了微生物的群落结构。这一结果与本研究的结论不一致, 可能是由于施肥对象的土壤环境不一致, 在本研究中所选取的20年华北落叶松林地地力衰退, 通过施肥提高了土壤肥力^[21], 土壤微生物数量也相应提高了。9月土壤酶活性和微生物数量都明显低于5和7月, 这可能是由于气温、水分等原因不宜酶活性释放和微生物繁殖。

4 结论

施肥不同程度地提高了土壤过氧化氢酶活性、磷酸酶活性、脲酶活性和蔗糖酶活性; 不同的施肥处理提高了华北落叶松林地土壤放线菌数量, 单施氮肥降低了细菌的数量, N1P处理降低了土壤真菌的数量。

华北落叶松林地土壤中养分不足是限制华北落叶松健康快速生长的主要原因, 施肥作为解决这一问题的措施, 对土壤养分不足的林地进行施肥处理可以有效地提高林地土壤养分含量、土壤酶活性和土壤微生物数量, 缓解华北落叶松林地力衰退, 为我国未来人工林经营和发展提供技术支持和保障。

参考文献:

- [1] 吕瑞恒, 李国雷, 刘勇, 等. 不同立地条件下华北落叶松凋落物的分解特性[J]. 林业科学, 2012, 48(2): 31-37.
- [2] 叶胜兰, 李娟, 牛岩. 不同林龄华北落叶松土壤养分及酶活性变化规律研究[J]. 西部大开发, 2019, 4(2): 51-56.
- [3] 陕西省林业发展区划办公室. 陕西省林业发展区划[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2008.
- [4] 雷瑞德, 党坤良, 张硕新, 等. 秦岭南坡中山地带华北落叶松人工林对土壤的影响[J]. 林业科学, 1997, 33(5): 463-470.
- [5] 陈钦程, 徐福利, 王渭玲, 等. 秦岭北麓不同林龄华北落叶松土壤速效钾变化规律[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1244-1250.

- [6] 刘向龙, 杜芬芬. 华北落叶松人工林经营措施研究 [J]. 甘肃林业科技, 2002 (1): 34-36.
- [7] 周礼恺. 土壤酶学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 239-254.
- [8] Johansson E, Krantz-Rulcker C, Zhang B X. Chlorination and biodegradation of lignin [J]. *Soil Biol Biochem*, 2000, 32: 1029-1032.
- [9] Zhang Y M, Zhou G Y, Wu N, et al. Soil enzyme activity changes in different-aged spruce forests of the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Pedosphere*, 2004, 14: 305-312.
- [10] Schloter M, Dilly O, Munch J N. Indicators for evaluating soil quality [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2003, 98: 255-262.
- [11] Steenwertha K L, Jackson L E, Caldero F J, et al. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 34: 1599-1611.
- [12] 时鹏, 高强, 王淑平, 等. 玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响 [J]. *生态学报*, 2010, 30 (22): 6173-6182.
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [14] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [15] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响 [J]. *中国农业科学*, 2008, 41 (1): 144-152.
- [16] 刘恩科, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响 [J]. *植物生态学报*, 2008, 32 (1): 176-182.
- [17] 陈立新. 施肥对落叶松人工林根际土壤生化活性的影响 [J]. *水土保持学报*, 2003, 17 (3): 133-136, 177.
- [18] 罗雪华, 吴小平, 王文斌. 施肥对橡胶人工林土壤脲酶活性的影响 [J]. *热带作物学报*, 2006, 27 (2): 39-44.
- [19] An S S, Huang Y M, Zheng F. Evaluation of soil microbial indices along a revegetation chronosequence in grassland soil on the loess plateau Northwest China [J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, 41: 286-292.
- [20] 贾淑霞, 赵妍丽, 孙玥, 等. 施肥对落叶松和水曲柳人工林土壤微生物生物量碳和氮季节变化的影响 [J]. *应用生态学报*, 2009, 20 (9): 2063-2071.
- [21] 马亚娟, 徐福利, 王渭玲, 等. 氮磷提高华北落叶松人工林地土壤养分和酶活性的作用 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (3): 664-674.

Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on soil enzymatic activities and microorganism in *Larix principis-rupprechtii* plantation

ZHAO Hai-yan (Gansu Province Pingliang Academy of Agricultural Sciences, Pingliang Gansu 744000)

Abstract: In order to study the effect and function of fertilization on soil biological characteristics in *Larix principis-rupprechtii* plantations, we chose 20 years old *Larix principis-rupprechtii* plantation in the Nantan nursery garden of Taibai county in Shaanxi province as the experimental sites, and set up different fertilization treatments, and studied the effect of different fertilization treatments on soil enzyme activity (sucrase, urease, phosphatase, catalase) and number of microorganisms (bacteria, fungi, actinomycetes) by combining field sampling and indoor analysis. The result showed that all fertilization treatments enhanced soil activities of catalase, phosphatase, urease and sucrase. Nitrogen and phosphorus combined treatment had the greatest effect on enzyme activity in May and July. All fertilization treatments enhanced soil actinomycetes number, nitrogen and phosphorus combined application had the most obvious effect. Applying only nitrogen reduced the number of bacteria, and 75 kg/hm² nitrogen and 75 kg/hm² phosphorus treatment reduced the number of soil fungi. Soil enzyme activity and soil microbial quantity increased first and then decreased with the promotion of month. The result of this study showed that applying fertilizer could improve soil biological characteristics and effectively alleviate the fertility decline of 20 years old *Larix principis-rupprechtii* plantation

Key words: *Larix principis-rupprechtii*; fertilization; soil fertility; soil enzyme; soil microorganism