

云锦杜鹃林根际微生物及其生化特性的研究*

边才苗 金则新

(台州学院生命科学与医药化工学院, 浙江临海 317000)

摘要 通过对不同林型云锦杜鹃根际土壤和非根际土的养分状况、微生物区系、生化作用强度和酶活性等研究, 结果显示, 土壤细菌功能群与土壤养分和土壤酶活性有密切的联系, 在光照和通气条件好的归云洞种群, 云锦杜鹃的根际效应明显。在黄经洞和永字亭种群, 由于植被盖度高, 土壤空隙度低, 土壤接触酶和过氧化物酶活性低, 根际对土壤毒素转化能力弱及土壤腐殖质化过程缓慢; 加上真菌和放线菌数量多, 指示了土壤性质的恶化。因此, 修剪上层树种和清理箬竹等可以阻止云锦杜鹃的衰退。

关键词 云锦杜鹃; 根际土壤; 微生物区系; 生化特性

中图分类号 S154.36 文献标识码 A

云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei*) 树高 2~7 m, 为常绿灌木或小乔木^[1,2]。花期 5~6 月, 花大如碗, 花冠粉红色, 灿若云霞, 且有“千花杜鹃”之美称, 是一种观赏价值高、开发潜力大的园林树种。云锦杜鹃原产我国, 大多零星地散落在海拔 400~1 900 m 的沟谷阔叶林中或山顶灌草丛。浙江省天台县华顶国家森林公园分布着二十多公顷 (hm^2) 连片的杜鹃群落, 树 2 万多株, 500 a 以上树龄的有 108 株, 面之广、树之古、花之盛为全国之最, 世界罕见。近年来, 这片杜鹃林的生长势减弱, 开花指数降低, 呈现衰退现象^[3,4], 严重阻碍了这一资源的开发和利用。林木根际土壤在物理、化学和生物学特性上不同于原土体的特殊土壤微区, 树木根系和微生物呼吸作用、根系分泌与溢泌质子和有机物质的作用, 以及根对养分和水分吸收特性, 都决定着根际动态的方向和强度。但目前的研究仅涉及云锦杜鹃土壤肥力分析^[3], 不同林型土壤微生物区系和细菌生理多样性研究^[5,6]。本文较为系统地研究了云锦杜鹃根际土壤微生物和土壤生化特性等, 为揭示该种群衰退的机制及开发利用提供基础性资料。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地区设在浙江省天台山主峰华顶山, 地理位置为 $29^{\circ}15'N$, $121^{\circ}06'E$, 海拔 1 098 m, 属亚热带季风湿润气候, 气候温暖, 年平均气温 $13^{\circ}C$, 雨水充沛, 年降水量 1 700 mm, 平均相对湿度大于 85%, 无霜期约 230 d^[7]。山地土壤系水成岩及火成的花岗岩母质上发育的山地黄壤土, 土层厚 30~100 cm, 均为弱酸性, 凋落物较多, 含水量约为 22%。其中归云洞种群(种群 G) 位于主峰西侧, 海拔高度在 900 m 左右, 以黄山松为优势种; 黄经洞种群(种群 H) 位于主峰北侧, 海拔高度在 930 m 左右, 优势种为苦枥木(*Fraxinus insulais*)、短柄 (*Quercus glandulifera* var. *breuipetiolata*) 等落叶阔叶树种; 永字亭种群(种群 Y) 位于主峰西侧, 海拔高度在 820 m 左右, 是以云锦杜鹃为优势树种的云锦杜鹃林, 灌木层有丰富的阔叶箬竹(*Indocalamus latifolius*), 覆盖度 90% 以上。3 个种群的土壤立地条件见表 1。

1.2 供试土壤

分别在三个自然种群内各选择不同年龄的标准

* 浙江省教委科研计划项目(20030770) 资助

作者简介: 边才苗(1963~), 男, 副教授, 主要从事植物生殖生态学和微生物学研究

收稿日期: 2004-02-17; 收到修改稿日期: 2004-04-26

表 1 三个云锦杜鹃种群的土壤立地条件

Table 1 Soil conditions of the sites for the three communities of *Rhododendron fortunei*

立地条件 Condition of site	林型 Forest type		
	黄山松林 <i>Pinus taiwanensis</i> forest	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	云锦杜鹃林 <i>Heptacodium miconioides</i> forest
土壤类型 Soil type	黄壤 Yellow soil	浅黄壤 Pale yellow soil	黑壤 Black soil
海拔高度 Altitude (m)	900	930	820
坡向 Exposure	NW20°	NW80°	ES15°
植被盖度 Vegetation coverage	65% ~ 75%	80% ~ 90%	90% ~ 100%
凋落物 Litter	少 Little	多 Much	很多 Very much
含水量 ($g\ g^{-1}$) Water content	0.207 2	0.223 2	0.238 8
地温 Soil temperature ($^{\circ}C$)	24.8	23.6	22.7
容重 Bulk density ($mg\ m^{-3}$)	1.21	1.17	1.28
孔隙度 Porosity	41.7%	45.8%	35.6%
光照强度 Sunlight intensity ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	2.850	2.500	2.700

样木 3 株, 仔细挖出表层(0~ 20 cm) 细根, 保留距根表 4 mm 左右的土壤, 用抖落法取根际土壤; 按 S 形在标准地内布点(3~ 5 个), 取表层土壤带回实验室, 进行微生物、酶活性及生化作用强度和土壤化学性质等测定。

1.3 测试方法

土壤细菌、真菌、放线菌、芽孢杆菌和固氮菌采用稀释平板法分离计数; 硝化细菌、氨化细菌和纤维素分解菌用 MPN 法分离计数^[8]。土壤酶活性、生化作用强度和土壤化学性质等按常规法测定^[8,9]。

2 结果分析

2.1 根际土壤养分变化

在树木生长过程中, 根系一方面从土壤中摄取

水分、养分, 同时也向土壤溢泌质子、离子, 并释放大量的有机物质。据报道, 植物有高达 30% 的光合产物以有机碳形式释放进入根际土壤, 这些有机物质不仅为根际微生物提供丰富的碳源, 而且极大地改变根际微区的物理和化学环境, 进而对根际土壤养分产生重大影响^[10]。三个云锦杜鹃种群根际与非根际土壤的养分状况(见表 2) 显示, 根际土 pH 值分别比相应的非根际土低 0.11、0.17 和 0.08, 说明云锦杜鹃根际土壤是一个相对偏酸的环境。根际土壤的有机质含量大多在 $53.00\ g\ kg^{-1}$ 以上, 其中黄山松林的根际土是相应非根际土的 1.2 倍, 种群 H 的根际土只略高于非根际土, 而种群 Y 因阳光很少照射到地面, 地温低, 同时土壤的通气状况差, 植被盖度又高达 90% 以上, 非根际土有机质比相应的根际土还要高 5%。土壤全氮也有相似的变化, 但全磷和

表 2 三个云锦杜鹃种群根际土壤养分状况

Table 2 Distribution of soil nutrients in the rhizospheres of the *Rhododendron fortunei* communities

林型 Forest type	土壤来源 ¹⁾ Soil sample	有机质 Organic matter ($g\ kg^{-1}$)	全氮 Total N ($g\ kg^{-1}$)	全磷 Total P ($g\ kg^{-1}$)	全钾 Total K ($g\ kg^{-1}$)	pH
黄山松林(种群 G) <i>Pinus taiwanensis</i> forest	R	53.47	1.85	1.10	0.58	4.37
落叶阔叶林(种群 H) Deciduous broad-leaved forest	R	53.75	1.64	0.63	0.45	4.95
云锦杜鹃林(种群 Y) <i>Rhododendron fortunei</i> forest	R	54.33	1.81	0.95	0.78	4.29
	S	57.18	2.07	1.04	0.87	4.37

1) R: 根际土 Rhizospheric soil; S: 非根际土 Non-rhizospheric soil

全钾只有种群 G 的根际土比非根际土高, 种群 H 和种群 Y 的根际土均低于非根际土。说明光照条件及通气状况等对林地土壤的自我培肥能力有明显的影 响, 这可能是云锦杜鹃种群呈现衰退现象^[3,4]的重要原因之一。

2.2 云锦杜鹃根际土壤微生物区系

林木根的生长发育及根系分泌的有机和无机化合物是刺激微生物繁殖的重要能源和养分源, 从表 3 可见, 在种群 G, 由于植被盖度相对较低, 光照条件好, 土壤通气状况较好, 云锦杜鹃的根际效应明显, 土壤细菌的数量和各生理类群的 R/S 值(根际土与非根际土的比值)均大于 1, 其中土壤氨化细菌

的 R/S 最大, 硝化细菌 R/S 最小。芽孢杆菌在种群 G 最多, 且根际土明显多于非根际土(R/S 为 1.16), 而种群 H 和种群 Y 中, 由于灌木层丰富, 光照条件及土壤通气状况较差, 芽孢杆菌的 R/S 小于 1, 说明芽孢杆菌在土壤中对森林枯落物的分解和有机养分的转化起着重要作用。固氮菌在种群 Y 最多, 种群 H 最少, 显示其数量变化与土壤含氮量变化呈密切的正相关。另外, 在种群 Y 中, 根际土与非根际土的真菌和放线菌数量多, 且青霉属和放线菌的白色类群比例较高, 尤其非根际土分别为 76.65% 和 63.47%; 种群 H 也有相似的变化, 这可能是种群 Y 和种群 H 的土壤性质不良的反应。

表 3 三个云锦杜鹃种群的土壤微生物组成¹⁾

Table 3 Soil microbe composition in the rhizospheres of the *Rhododendron fortunei* communities

微生物类群 Type of microbes	黄山松林(种群 G) <i>Pinus taivanensis</i> forest		落叶阔叶林(种群 H) Deciduous broad leaved forest		云锦杜鹃林(种群 Y) <i>R. fortunei</i> forest	
	R	S	R	S	R	S
细菌($\times 10^7$ cfu g ⁻¹) Bacteria	4.12	3.56	3.09	2.13	5.17	4.09
真菌($\times 10^4$ cfu g ⁻¹) Fungi	5.90	4.34	6.54	7.39	7.49	8.23
放线菌($\times 10^6$ cfu g ⁻¹) Actinomycetes	4.05	3.33	4.65	5.23	5.05	5.90
固氮菌($\times 10^5$ cfu g ⁻¹) Nitrogen-fixing bacteria	1.88	1.56	1.72	1.56	1.82	1.94
芽孢杆菌($\times 10^5$ cfu g ⁻¹) Bacillus	9.66	8.35	7.90	8.12	7.64	8.26
氨化细菌($\times 10^5$ cfu g ⁻¹) Ammonifiers	3.12	2.04	1.44	1.25	1.99	2.24
硝化细菌($\times 10^3$ cfu g ⁻¹) Nitrogen-fixing bacteria	1.63	1.46	2.33	2.26	8.08	8.79
纤维素分解菌 ($\times 10^5$ cfu g ⁻¹) Cellulose-decomposing microbes	2.13	1.86	1.67	1.55	2.09	2.14

1) R: 根际土 Rhizospheric soil; S: 非根际土 Non-rhizospheric soil

2.3 根际土壤酶活性

林木根系及其残体、土壤动物及其遗骸和微生物是土壤酶主要来源者, 土壤酶促作用主要在土壤颗粒、根系和微生物细胞表面上发生的^[11]。从表 4 可见, 种群 G 的云锦杜鹃根际土壤的各类酶活性相对较高, 且 R/S 均大于 1, 这与微生物的根际效应一致。种群 H 和种群 Y 也有类似的表现, 但接触酶和过氧化物酶活性不及非根际土高, 说明在通气条件

差的生境中, 云锦杜鹃根际对土壤毒素转化能力弱, 土壤腐殖质化过程比较缓慢。

2.4 根际土壤生化作用强度

土壤生化作用强度直接影响土壤养分供应与贮存, 是土壤生物活性强度标志之一。分析结果(表 5)表明, 种群 G 中, 云锦杜鹃根际土的生化作用强度均比非根际土大, 其中氨化作用的 R/S 最大, 硝化作用最小, 这与土壤细菌的数量变化一致。同时,

表 4 三个云锦杜鹃种群根际土酶活性¹⁾Table 4 Soil enzyme activities in the rhizospheres of the *Rhododendron fortunei* communities

酶活性 Enzyme activities	黄山松林(种群 G) <i>Pinus taiwanensis</i> forest		落叶阔叶林(种群 H) Deciduous broad-leaved forest		云锦杜鹃林(种群 Y) <i>R. fortunei</i> forest	
	R	S	R	S	R	S
	脲酶 Urease ($\text{NH}_3 \text{ mg g}^{-1}$)	13.25	7.87	11.76	7.78	10.34
转化酶 Invertase ($0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ml}$)	8.93	5.88	7.45	5.29	7.72	5.47
蛋白酶 Proteinase (mg g^{-1})	1.36	0.94	1.19	0.89	1.08	0.86
酸性磷酸酶 Acid phosphatase (mg kg^{-1})	41.98	33.44	37.68	30.26	36.54	22.48
接触酶 Catalase ($0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ ml g}^{-1}$)	176	143	134	158	138	156
过氧化物酶 Peroxidase (mg g^{-1})	75.83	65.61	57.79	73.75	55.36	72.57

1) R: 根际土 Rhizospheric soil; S: 非根际土 Non-rhizospheric soil

表 5 三个云锦杜鹃种群根际土生化作用强度¹⁾Table 5 Soil biochemical activities in the rhizospheres of the *Rhododendron fortunei* communities

项目 Item	黄山松林(种群 G) <i>Pinus taiwanensis</i> forest		落叶阔叶林(种群 H) Deciduous broad-leaved forest		云锦杜鹃林(种群 Y) <i>R. fortunei</i> forest	
	R	S	R	S	R	S
	氨化作用 Ammonification ($\text{NH}_4^+-\text{N mg g}^{-1}$)	0.35	0.22	0.16	0.46	0.22
固氮作用 Nitrogen fixation (N mg g^{-1})	0.11	0.08	0.11	0.09	0.12	0.14
纤维素分解作用 Cellulose decomposition	35.68%	22.37%	20.78%	18.65%	28.96%	34.74%
硝化作用 Nitrification ($\text{NO}_3^--\text{N mg kg}^{-1}$)	46.4	37.6	43.2	35.6	56.5	62.2
呼吸作用 Respiration CO_2 ($\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	1.69	1.51	1.01	0.98	0.97	0.92

1) R: 根际土 Rhizospheric soil; S: 非根际土 Non-rhizospheric soil

呼吸作用与土壤通气状况关系密切, 种群 H 和种群 Y 的根际土和非根际土的呼吸作用明显低于种群 G。

3 讨论

林木根际是由树木根(主要是细根)-土壤-微生物和酶组成的特殊微生态系统, 亦是各种养分及其他物质进入根系参与生物链物质循环的门户。在种群 G 中, 云锦杜鹃的根际效应明显, 3 大类微生物及 5 种细菌功能群的 R/S 均大于 1, 同时根际土的养

分、酶活性和生化作用强度也比相应的非根际土高。而种群 H 和种群 Y 中, 由于植被盖度较高, 光照条件差, 地温低, 同时土壤通气状况也差, 根际土的 5 种细菌功能群(除固氮菌以外)均低于非根际土, 同时氨化作用与纤维素分解作用及全磷与全钾也低于非根际土。说明光照条件及通气状况对土壤的自我培肥能力有明显的影

响。土壤微生物群体尤其是微生物生理生态指标的改变可以作为预示土壤改变的标志^[12]。在种群 Y 和种群 H 中, 土壤呼吸作用弱, 接触酶和过氧化物酶活性低, 说明根际对土壤毒素转化能力弱及土壤

腐殖质化过程缓慢。特别是根际土和非根际土的真菌和放线菌数量多,且青霉属和放线菌的白色类群比例高,非根际土尤其明显,说明过高的植被盖度通过影响土壤的光照条件和通气状况,导致了土壤性质的恶化。因此,采用清除阔叶箬竹和修剪上层树种等措施,可以减缓甚至消除云锦杜鹃的衰退现象。另外,这 2 个种群中,根际土的全钾和全磷含量低于非根际土,说明在根际施钾肥和磷肥也有利于减缓云锦杜鹃的衰退现象。

参考文献

- [1] 浙江植物志编辑委员会. 浙江植物志 (第五卷). 杭州: 浙江科学技术出版社, 1989. 9~ 10. "Flora of Zhejiang" Editorial Board. Flora of Zhejiang (Volume V) (In Chinese). Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1989. 9~ 10
- [2] 丁炳扬, 方云亿. 浙江杜鹃花属的研究. 杭州大学学报, 1989, 16(2): 194~ 200. Ding B Y, Fang Y Y. *Rhododendron* L. from Zhejiang (In Chinese). Journal of Huzhou University, 1989, 16(2): 194~ 200
- [3] 管康林, 吴家森, 范义荣, 等. 华顶山云锦杜鹃林衰退原因及对策. 浙江林学院学报, 2001, 18(2): 195~ 197. Guan K L, Wu J S, Fan Y R, *et al.* Causes and countermeasures of deterioration of *Rhododendron fortunei* forests in Mount Huading (In Chinese). Journal of Zhejiang Forestry College, 2001, 18(2): 195~ 197
- [4] 吴家森, 庞加钱, 周祖耀, 等. 华顶山云锦杜鹃林地土壤肥力分析. 浙江林业科技, 2002, 22(2): 26~ 28. Wu J S, Pang J Q, Zhou Z Y, *et al.* Analysis of soil fertility of *Rhododendron fortunei*

woodland in Mount Huading (In Chinese). Jour. of Zhejiang For. Sci. & Tech., 2002, 22(2): 26~ 28

- [5] Noble A D, Moody P, Liu G D, *et al.* Quantification and Remediation of Soil Chemical Degradation in Tropical Australia, China and Thailand. *Pedosphere*, 2003, 13(1): 31~ 39
- [6] Liao M, Xie X M, Subhani A, *et al.* Combined Effect of Nutrient and Pest Managements on Substrate Utilization Pattern of Soil Microbial Population in Hybrid Rice Cropping System. *Pedosphere*, 2002, 12(3): 219~ 228
- [7] 金则新. 浙江天台山七子花群落分布格局研究. 广西植物, 1999, 19(1): 47~ 52. Jin Z X. Studies on distribution pattern of *Heptaodium miconioides* communities in Tiantai Mountains of Zhejiang Province (In Chinese). *Guihaia*, 1999, 19(1): 47~ 52
- [8] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985. 40~ 274. Microbiology Group, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. ed. Soil Microbiological Study Method (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985. 40~ 274
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 60~ 126. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. ed. Soil Physical and Chemical Analysis (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978. 60~ 126
- [10] Lynch J M. The Rhizosphere. Chichester: John Wiley Chichester, 1990
- [11] 哈兹耶夫著. 郑洪元译. 土壤酶活性. 北京: 科学出版社, 1980. 土酶. ed. Zheng H Y. trans. 土壤酶活性. Beijing: Science Press, 1980
- [12] Doran J W, Kothe J S. Defining soil quality for a sustainable environment. *Soil Amer. Special Publication*, 1994, 35: 223~ 234

SOIL MICROBES AND BIOCHEMISTRY OF RHIZOSPHERIC AND NON-RHIZOSPHERIC SOIL IN *RHODODENDRON FORTUNEI* FOREST IN TIAN TAI MOUNTAINS

Bian Caimiao Jin Zexin

(School of Life Sciences and Pharmaceutical and Chemical Engineering,
Taizhou University, Linhai, Zhejiang 317000, China)

Abstract Soil nutrient status, microflora and their biochemical activities and enzyme activity in the rhizospheric soil and non-rhizospheric soil under *Rhododendron fortunei* in 3 different types of forests were investigated. The results showed that the number of soil bacteria functional colonies were closely related to soil nutrients and soil enzyme activities. Under good sunlight and aeration, the rhizospheric effect was significant in the Guiyundong *Rhododendron fortunei* community (R/S value) as compared with that of the other two. However, because of high vegetation coverage and low soil porosity, the activities of catalase and peroxidase were low, the soil capacity of transforming toxin was weak and the process of humification was slow in rhizosphere of the *Rhododendron fortunei* communities in Huangjingdong and Yongziting. Besides the populations of fungi and actinomycetes in the soil increased significantly. These are clear indicators of degradation of the soil properties. All the results indicate that degeneration of *Rhododendron fortunei* could be prevented by pruning canopies of the surroundings arboreal trees and cleaning out *Indocalamus latifolius*.

Key words *Rhododendron fortunei*; Rhizospheric soil; Microbial flora; Biochemical properties