

石灰土地区几种作物根际与非根际 土壤养分特征对比研究

——以重庆市中梁山为例

陈高起, 傅瓦利, 张 婷, 文志林, 伍宇春

(西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

摘 要:以重庆市中梁山石灰土地区为研究区,选择莴笋、红菜苔、白菜、瓢儿菜和桔子 5 种不同的作物,通过野外采样和室内实验分析的方法,分别测定了 5 种作物的根际与非根际土壤的全氮、全磷、全钾、水解氮、速效磷、速效钾、有机质的含量以及土壤 pH 值,并进行了对比分析。结果表明,根际与非根际土壤的全氮、全磷、全钾、水解氮、速效磷、速效钾、有机质和 pH 值之间均表现出显著的差异性($p < 0.05$)。这 5 种作物的养分含量除了桔子树的根际土壤速效磷出现亏缺外,其余 4 种作物根际土壤的全氮、全磷、全钾、水解氮、速效磷以及速效钾都高于非根际土壤,不同作物出现了不同程度的富集现象。另外,根际土壤的 pH 值均低于非根际土壤;根际土壤有机质含量均高于非根际土壤。

关键词:石灰土; 根际土壤; 非根际土壤; 养分含量; 根际效应

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)01-0104-06

Comparative Study on Nutrient Characteristics of Several Crops' Rhizosphere and Non-rhizosphere Soils in Lime Soil Area —A Case Study of Zhongliang Mountain, Chongqing City

CHEN Gao-qi, FU Wa-li, ZHANG Ting, WEN Zhi-lin, WU Yu-chun

(School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Taking the lime soil area in Zhongliang Mountain, Chongqing City as a case, five kinds of crops-*Lactucapsativa* p L. var. *asparaginap* Bailey, *Brassica compestris*, *Brassica pекinensis*, *Brassica narinosa*, *Citrus reticulata* were selected, by way of field sampling and laboratory analysis to investigate the nutrient contents, namely, total nitrogen, hydrolyzable nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, total potassium and available potassium of their rhizosphere and non-rhizosphere soils, and the pH value and the content of organic matter. The results show that there are significant differences between nutrient contents, the pH values and the contents of organic matter in rhizosphere and non-rhizosphere soils ($p < 0.05$). Among the five crops, only the available phosphorus of orange trees' rhizosphere soil is insufficient, and nutrient contents of the other crops' rhizosphere soils are all higher than non-rhizosphere soil, having enrichment phenomenon in various degrees. Besides, the five kinds of crops' pH values of rhizosphere soils are all lower than their non-rhizosphere soil and the organic matter contents of rhizosphere soils are all obviously higher than those of the non-rhizosphere soils.

Key words: lime soil; rhizosphere soil; non-rhizosphere soil; nutrient content; rhizosphere effect

根际(Rhizosphere)是指受到植物根生命活动的影响,在物理、化学和生物学特征上明显不同于原土体周围的土壤区域。它是土壤—根系—微生物相互作用的产物,并随不同的植物种类或品种,土壤性质

和环境条件形成的特殊的微生态体系^[1]。因此,根际是植物、土壤、微生物及其环境相互作用的中心,是植物和土壤进行物质和能量交换的区域。各种养分和水分包括有毒物质都能通过这一环境进入根系进而

影响植物的生长,因而使得这一环境的土壤性质不同于非根际土壤。

自从德国科学家 Lorenz Hiltner 于 1904 年提出根际这一概念之后,100 多年来,根际研究的领域不断地扩展,已经成为包括土壤学、植物学、环境学、生态学、污染生态学等学科联合研究的热点。目前国外在这一方面的研究已经取得了很大的进展,国内起步较晚,从 20 世纪 80 年代开始,主要是对林木根际土壤展开研究,张学利等^[2]对樟子松根际与非根际土壤性质的研究;张海涵^[3]、李国辉^[4]对黄土高原植物根际进行的研究;张鼎华^[5]、蒋秋怡^[6]、马玉莹^[7]等对杉木根际土壤特性的研究;姜海燕等^[8]对胡杨根际土壤化感物质成分的研究等。研究不同植被类型的根际与非根际土壤的性质差别有助于了解土壤养分水平及养分转化和循环,而且对提高肥料利用率和科学施肥有重要的意义。

本文拟对重庆市中梁山地区的几种常见的蔬菜及水果作物的根际与非根际土壤养分以及 pH 值、有机质变化特征进行研究,以期探讨不同作物根际与非根际土壤之间的养分特征差异,为石灰土地区蔬菜及水果作物根际土壤养分研究提供相应的实验基础和理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

实验研究区位于重庆市中梁山,位于东经 106°18′14″—106°56′53″,北纬 29°39′10″—30°03′53″,是观音峡背斜的一部分,在地质构造上属于西南地

台、川东南褶皱带、华蓥山隔挡式复背斜扫帚状弧形构造区重庆弧的一部分。中梁山地貌特征受地质构造和岩性的强烈控制,两翼由黄色砂岩构成半边山地形,轴部由紫色页岩构成波状起伏的丘陵地形,二者之间由灰岩组成,经过岩溶作用后形成了岩溶槽谷,组成“一山两槽三岭”的构造地貌格局。研究区域属于中亚热带季风性湿润气候,年平均温度 18℃,海拔 400~700 m,年平均降水量 1 000 mm 左右,地带性植被为中亚热带常绿阔叶林。土壤母质均为三叠纪嘉陵江组的角砾状白云质灰岩,土壤类型为黄色石灰土。目前受到海拔和地形的限制,耕地主要分布在山脚和谷地,种植着白菜、莴笋等蔬菜以及桔子等水果作物。

1.2 土样的采集与分析

1.2.1 作物选择与土样采集 选用重庆市几种常见的蔬菜及水果作物,包括莴笋(*Lactuapsativap* L. var. *asparaginap* Bailey)、红菜苔(*Brassica compes-tris*)、白菜(*Brassica pekinensis*)、瓢儿菜(*Brassica narinosa*)、桔子(*Citrus reticulata*),其生活习性详见表 1。供试土壤为这五种作物的根际与非根际土壤。采集方法选用 Riley 和 Barber 的抖落法^[9-10],即在一片菜园里随机选取几株长势比较一致的健壮作物,带根拔起,剪下作物带土的根,轻轻抖动,落下的土壤为非根际土壤(标为 NR),仍然粘在根上的即为根际土壤(标为 R),用刷子将土壤轻轻刷下来收集到样品袋中保存。对于桔子树,选择在距离植株 0.3 m 左右的地方挖一个坑,沿着侧根找到其须根部分剪下来,也用上述方法收集样品。

表 1 5 种作物对应名称与生活习性

作物名称	生活习性
莴笋	莴笋又称青笋,属菊科,一年生或两年生草本植物,是春季及秋冬季的主要蔬菜之一,产期 1~4 个月。直根系,移植后发生多数侧根,浅而密集,主要分布在 20—30 cm 土层中。茎短缩,叶互生,披针形或长卵圆形等,颜色有浅绿、绿、深绿或紫红,叶面平展或有皱褶
红菜苔	红菜苔,俗称油菜苔,十字花科芸薹属种,属一年生草本植物。土壤的适应性广,由于根系浅宜选择保水和肥力较高的土壤种植。7 月下旬—8 月下旬播种,8 月下旬—9 月下旬进行移栽,一般栽植行距 60~65 cm,株距 25~30 cm
白菜	白菜是十字花科芸薹属芸薹种白菜亚种的一个变种,以绿叶为产品的一二年生草本植物。富含碳水化合物、蛋白质、维生素 C 以及纤维素等。8—9 月份播种、适宜轮作栽培。浅根性,须根发达,再生力强,适于育苗移栽
瓢儿菜	瓢儿菜又称瓢儿白,是十字花科芸薹属芸薹种白菜亚种的一个变种,是以墨绿色叶为产品的二年生草本植物。植株贴地生长,叶片近圆形,向外反卷,黑绿色,有光泽,富含维他命。在我国,主要分布在长江流域
桔子	桔子是芸香科柑桔属的一种水果。主要分布在北纬 35°以南的区域,性喜温暖湿润。每年 10 月到 11 月为产期。质地疏松、结构良好、有机质含量 2%~3%,以及 pH 值在 5.5~6.5 的土壤最适宜于桔子生长。桔子根系生长也要求有较高的含氧量、排水良好的土壤

1.2.2 实验分析方法 将在野外采集的土壤样品放在实验室自然风干后,剔除土壤中夹杂的石块、植物残体、根系混入物以及人为的杂质等,然后将土样进行研磨,并根据需要通过不同大小的土壤筛,装于土样袋中备用。

土壤 pH 值测定采用酸度计法;有机质含量测定选用丘林法;全氮测定采用半微量凯氏法;水解氮的测定采用扩散吸收法;全磷和速效磷含量测定采用钼锑抗比色法;选用火焰光度法测定全钾和速效钾的含量^[11]。每个土壤样品进行 3 次平行测定。

1.3 实验数据分析

用“富集率”来表示根际环境对土壤养分的富集程度,其中富集率=[(根际含量-非根际含量)/非根际含量]×100%^[12]。

用根际土壤含量与非根际土壤含量的比值,即根土比(R/NR)与 1 的大小关系反映土壤的根际效应^[1]。若 R/NR>1,则表现出正根际效应,反之,表现出负根际效应。

采用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件整理数据并进行统计分析,其中根际与非根际土壤之间使用配对样本 T-检验进行差异分析。

2 结果与分析

土壤养分在自然环境中是一个复杂的变量,植物的生长状况与土壤养分的动态变化有着密切的关系^[13]。土壤养分是土壤肥力的重要物质基础,是植物三大营养元素氮、磷、钾的主要来源。通过分析几种作物根际与非根际土壤养分元素的变化以及相关的化学性质来探讨根际土壤与非根际土壤的养分差异。

2.1 根际与非根际土壤养分含量特征分析

从表 2 可以看出,几种作物的根际土壤与非根际土壤之间,土壤的全氮、全钾、水解氮、速效磷、速效钾均表现出显著的差异性($p<0.05$),其中全磷、有机质和土壤 pH 值表现出极显著的差异性($p<0.01$)。从富集率来看,根际土壤相对于非根际土壤,全氮含量平均高出 20.0%,全磷含量平均高出 11.3%,全钾含量平均高出 24.4%,水解氮的富集率最高,达到了 0.278,速效磷和速效钾的富集率分别是 0.217 和 0.160。此外,根际土壤有机质含量也相对高出了 0.197,值得一提的是非根际土壤 pH 值高出根际土壤 0.25 个单位。根际土壤对养分表现出了比较明显的截留效应^[14]。

表 2 根际与非根际土壤养分含量、富集率及其检验值

变量	土壤部位	数值	富集率	配对样本的 T-检验	
				t 值	p 值
全氮/%	R	0.12±0.01a	0.200	2.555	0.023
	NR	0.10±0.01b			
全磷/ (g·kg ⁻¹)	R	2.46±0.16a	0.113	3.236	0.006
	NR	2.21±0.11b			
全钾/ (g·kg ⁻¹)	R	7.20±0.38a	0.244	2.949	0.011
	NR	5.79±0.31b			
水解氮/ (mg·kg ⁻¹)	R	109±6.04a	0.278	2.595	0.021
	NR	85.3±7.76b			
速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	R	46.0±5.84a	0.217	2.605	0.021
	NR	37.8±4.16b			
速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	R	101±7.31a	0.160	2.463	0.027
	NR	87.1±7.74b			
有机质/%	R	2.43±0.16a	0.197	3.033	0.009
	NR	2.03±0.14b			
pH 值	R	5.74±0.16a	-0.042	-3.481	0.004
	NR	5.99±0.14b			

注:R 表示根际土壤;NR 表示非根际土壤(下同),数值以平均值±标准差表示,同一变量的根际土壤与非根际土壤若字母不同则表示差异显著, $p<0.05$ 。

2.2 不同作物根际与非根际土壤养分含量特征分析

2.2.1 全量养分含量 土壤中某种养分的全量,虽然不能直接反映出土壤的供肥能力,但却是持续供应此种养分的基础,反映出了土壤供应此种养分潜在能力的大小^[1],通常将其形象地比喻成植物的“营养库”。从表 3 可以看出,几种作物根际与非根际土壤全量养分含量均是根际土壤大于非根际土壤,其中全量养分含量的根土比值(R/NR)均大于 1,表现出明显的正根际效应,几种作物的根际都表现出了不同程度的富集。

土壤中全氮含量是衡量土壤环境中氮素供应情况的重要指标之一,从表 3 可以看出,这五种作物的根际土壤的全氮含量均高于非根际土壤,介于 0.09%~0.14%。其中,只有莴笋差异显著,其它 4 种作物根际与非根际差异全氮含量都不显著。根际土壤全氮含量的平均富集率为 0.264,五种作物根际土壤全氮富集率的大小顺序为:莴笋>红菜苔>白菜>桔子>瓢儿菜。

磷素和钾素都是植物生长的必需元素。从表 3 可以看出,根际土壤的全磷、全钾含量都大于非根际土壤。根际土壤对磷素和钾素都表现出了不同程度的富集,但是不同的作物类型根际土壤的富集率也不相同。根际土壤全磷含量与非根际土壤相比,平均富集率为 0.105,其中红菜苔和桔子根际与非根际差异

显著,其它三种作物差异不显著。这五种作物的根际与非根际土壤全钾含量在(5.05~8.75) g/kg 之间,根际土壤全钾含量大小依次为:瓢儿菜>桔子>红菜苔>白菜>莴笋。桔子全钾富集率最大,高达36.0%,莴笋最小为16.4%,其它依次为瓢儿菜>红

菜苔>白菜。根际与非根际土壤全钾含量只有瓢儿菜差异显著,其它几种作物均没有表现出显著的差异性。五种作物的全磷与全钾的 R/NR>1,表现出了明显的正根际效应,几种作物的根际呈现出不同程度的富集。

表 3 5 种作物根际与非根际土壤养分含量变化

作物种类	指标	全氮/ %	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	水解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
莴笋	R	0.14a	2.29a	5.88a	96.5a	49.4a	74.3a
	NR	0.10b	2.19a	5.05a	66.9a	42.2a	69.4a
	R/NR	1.40	1.05	1.16	1.44	1.17	1.07
	富集率	0.400	0.046	0.164	0.442	0.171	0.071
红菜苔	R	0.12a	1.90a	7.47a	98.7a	34.9a	89.0a
	NR	0.09a	1.68b	6.09a	71.6b	24.8b	82.3a
	R/NR	1.33	1.13	1.23	1.38	1.41	1.08
	富集率	0.333	0.131	0.227	0.378	0.407	0.081
白菜	R	0.11a	3.40a	6.43a	118a	75.7a	84.4a
	NR	0.09a	2.67a	5.47a	88.9b	59.8a	70.3a
	R/NR	1.22	1.27	1.18	1.33	1.27	1.20
	富集率	0.222	0.273	0.176	0.327	0.266	0.201
瓢儿菜	R	0.14a	2.01a	8.75a	137a	35.6a	113a
	NR	0.12a	1.99a	6.85b	117a	26.0a	89.3b
	R/NR	1.17	1.01	1.28	1.17	1.37	1.27
	富集率	0.167	0.010	0.277	0.171	0.369	0.265
桔子	R	0.12a	2.69a	7.48a	92.7a	34.5a	146a
	NR	0.10a	2.53b	5.50a	82.6a	36.1b	124a
	R/NR	1.20	1.06	1.36	1.12	0.96	1.18
	富集率	0.200	0.063	0.360	0.122	-0.044	0.177

注:同种作物根际与非根际土壤若字母不同则表示差异显著, $p<0.05$ 。

2.2.2 有效态养分含量 土壤元素的速效性养分又称为有效养分,主要是指能直接被植物吸收利用的养分,它反映的是植物能够直接吸收利用的养分数量,其数量多少说明土壤肥力的大小^[1],相应地可以将其称为植物的“营养源”。土壤中的氮素多以有机态氮为主,其中水解性有机氮含量最高,这种形态也最容易被微生物分解供植物吸收利用。由表 3 可知,5 种作物的根际与非根际土壤水解性氮含量为(66.9~137) mg/kg,根际土壤水解氮含量高于非根际土壤。红菜苔和白菜的根际与非根际土壤表现出了差异性,其它几种间的差异均不显著。不同作物根际土壤水解氮富集率差异很大,依次为莴笋>红菜苔>白菜>瓢儿菜>桔子。水解氮 R/NR 差别很大,最低的桔子为1.12,最高的是莴笋达到了1.44。

从表 3 还可以看到,莴笋、红菜苔、白菜、瓢儿菜这 4 种蔬菜作物的根际与非根际土壤速效磷含量在(24.8~75.7) mg/kg 之间,其根际土壤速效磷含量均高于非根际土壤。5 种作物根际土壤速效磷富集率

大小依次为红菜苔>瓢儿菜>白菜>莴笋>桔子,其中桔子呈现负富集率,为-4.43%。速效磷根土比值(R/NR)除桔子外均大于1,表现出“正效应”。桔子树根际土壤速效磷 R/NR 为0.96,小于1,表现出明显的“负效应”。这 5 种作物中红菜苔和桔子根际与非根际土壤速效磷差异显著,其它 3 种作物没有表现出显著差异。

5 种作物根际土壤的速效钾含量均大于非根际土壤,但只有瓢儿菜差异显著。不同的作物类型富集率差异较大,其中,瓢儿菜富集率最大,为26.5%,莴笋富集率最小,为7.06%,其他依次为:白菜、桔子树、红菜苔。土壤速效钾 R/NR 均大于1,表现出了明显的正根际效应。

2.3 不同作物根际与非根际土壤 pH 值及有机质含量分析

本研究的土壤类型为石灰土,石灰土的 pH 值一般呈中性或者是微碱性。从图 1 可以看出,这五种作物根际与非根际土壤的 pH 值均小于7,介于4.90~

6.47,属于微酸性。这5种作物根际土壤的pH值均小于非根际土壤,只有红菜苔表现出显著差异。不同作物根际酸化程度也不相同,pH值降低幅度在0.06~0.7个单位之间,其大小顺序为莴笋、红菜苔、白菜、瓢儿菜、桔子。

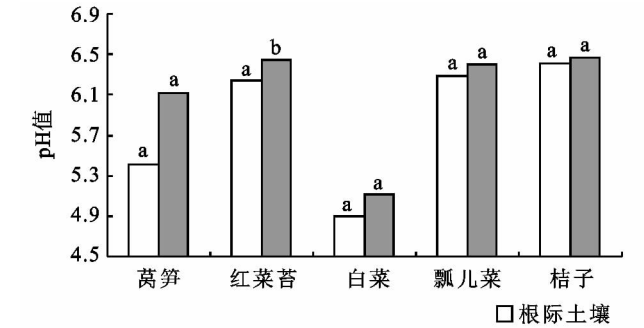


图1 5种作物根际与非根际土壤的pH值和有机质含量

注:同种作物根际与非根际土壤若字母不同则表示差异显著, $p<0.05$ 。

3 讨论

3.1 根际与非根际土壤养分差异

作物在生长过程中所吸收的养分一般来自根际部分,根际环境的养分状况很大程度上决定了作物的生长状况^[15]。通过实验结果可知,五种作物的根际对全氮、全磷、全钾、水解氮、速效磷以及速效钾都表现出了富集作用。总体上看,根际部分对土壤养分有着不同程度的截留。这可能是不同的作物根系与土壤以及土壤微生物之间长期复杂的相互作用的结果。

根际土壤全量养分的含量均大于非根际土壤,这与张学利等^[2,15]对不同树龄樟子松全氮含量以及章古台固沙林主要树种根际土壤的全磷、全钾含量的研究结果相一致。刘建军等^[16]研究秦岭火地塘林区主要树种根际土壤的全氮、水解氮含量也是根际土壤均大于非根际土壤。大量研究表明,这些养分在根际土壤中存在一定程度的富集,但是不同的作物富集率不同,可能是由于不同的作物生理特性存在差异,根系对养分的吸收效率也不一样,可能还与之受到的环境因素有关。

这5种作物根际的养分含量除了桔子根际的速效磷外,都表现出了明显的正根际效应($R/NR>1$),这与黄刚等^[17]对科尔沁沙地灌木根际土壤养分状况的研究结果是一致的。根际研究中,磷素与钾素受影响情况比较复杂,可能会出现富集或者是亏缺的现象。魏勇等^[18]研究杨树根际土壤磷的分布时出现了磷素的亏缺,而丁应祥等^[19]的研究则出现了磷素和钾素富集的现象。马玉莹等^[7]研究杉木林的根际土壤时表现为磷富集,而速效钾则相反,表现为根际土壤速效钾亏缺。本研究中钾素表现为富集,速效磷在四

由图1还可以看出,不同作物的根际与非根际土壤有机质差异很大,其中瓢儿菜根际土壤有机质含量最高,红菜苔非根际土壤有机质含量最低。这五种作物根际土壤的有机质含量均大于非根际土壤,但均未表现出显著差异。

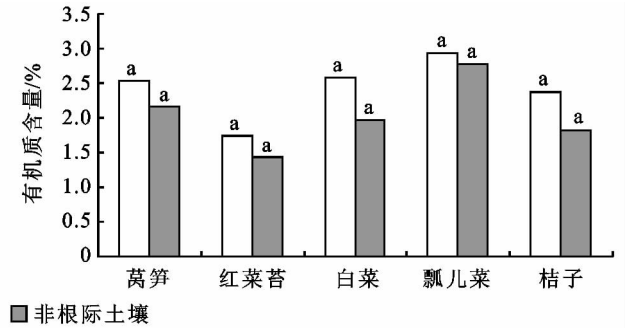


图1 5种作物根际与非根际土壤的pH值和有机质含量

种蔬菜作物中表现为富集,而在桔子树中则表现为亏缺,可能与不同作物的生物特性有关,也有可能是因为桔子树正处于挂果期而吸收了大量的磷素造成的。有学者认为,在石灰性土壤中,由于植物的吸收作用以及土壤中Fe和Al氧化物对磷的吸附导致根际土壤速效磷浓度低于非根际土壤^[20]。还有研究者发现,在低磷条件下作物根际土壤速效磷含量明显低于非根际土壤,表现出明显的根际效应特征,这样植物可以通过适应根际土壤环境对磷产生比较强的活化能力,在一定程度上可能会掩盖根际速效磷亏缺的现象^[21]。根际土壤磷素的有效性会受到植物根的吸收力、根分泌物、微生物活动以及根际pH的影响,同时又反过来影响这4个因素^[22]。本研究中桔子树根际土壤全磷呈现富集,而速效磷表现出亏缺,从实验结果可知,桔子树根际土壤pH值为6.41,相对于非根际土壤的6.47降低了0.06个单位,可能是为了增加磷素的活化作用,桔子根际部分酸化以减少磷的固定作用,提高其有效性。

3.2 根际土壤pH值与土壤养分的关系

根际土壤pH值是目前根际研究中涉及比较多的一个方面。pH值是影响土壤养分有效性的重要因素,作物的根系活动往往会对根际土壤的酸碱性产生显著的影响,适宜的pH值有利于提高土壤养分的生物有效性,促进土壤动物及微生物的活动,加速养分循环,从而促进植物生长^[23]。目前大部分的根际研究结果都表明,根际部分土壤会出现酸化现象,根际土壤的pH值小于非根际土壤。叶功福等^[24]对于木麻黄林地的研究以及马玉莹等^[7]对杉木林地根际pH值的研究结果均是根际土壤pH值小于非根际土壤;丁应祥等^[19]对滨海土壤、张超等^[25]对黄土丘陵区植

被根际的研究结果也都是根际土壤的 pH 值小于非根际土壤。本研究中五种作物的根际土壤 pH 值同样也都低于非根际土壤,根际与非根际土壤的 pH 值都比较低,呈微酸性。一般认为,引起根际土壤 pH 值变化的原因可能由离子吸收不平衡、根际微生物活动、根系的呼吸作用所释放出的 CO_2 以及在离子的主动吸收和根尖细胞生长过程中分泌质子和有机酸所致^[14,19]。不过很多研究也证实了根际土壤 pH 值的变化同植物生物学特性紧密相关^[17]。pH 值的变化是根际微区域中一个活跃的因素,从多个方面影响着土壤养分的有效性。有学者发现,不同形态的氮肥 (NH_4^+ 或 NO_3^-) 对根际 pH 值有不同的影响,铵态氮引起作物 pH 值明显下降,硝态氮则引起土壤 pH 值的上升。磷素与 pH 值关系的比较复杂,不同磷素条件下根系对 pH 值变化的影响不同,如在缺磷条件下,植物根系会主动分泌质子和有机酸来降低根际土壤 pH 值以增加磷的活化作用,提高其有效性^[26]。根际土壤 pH 值的变化直接影响着根际微区域养分的形态、含量与转化,所以也影响着养分的有效性。

3.3 根际土壤有机质与土壤养分的关系

土壤有机质是构成土壤肥力的核心物质,它可以通过改善根际区域化学环境,从而对根际土壤养分产生重大影响^[23]。土壤有机质中含有大量的植物营养元素,是土壤氮、磷最重要的营养库,也是植物速效氮、磷的主要来源^[1]。本研究中五种作物的根际与非根际土壤有机质含量为 1.43%~2.93%,不同作物根际土壤有机质富集差异较大。大多数研究表明,植物的根际土壤有机质含量均高于非根际土壤。如张学利等^[2,13,15]对樟子松的根际有机质的研究、张超等^[25]对黄土丘陵区植物根际土壤有机碳的研究以及黄刚等^[17]对科尔沁沙地灌木根际土壤有机质的研究结果都与本研究中根际与非根际土壤有机质含量的实验结果一致。有机质在根际富集的原因可能是根际土壤承接了大量的根系分泌物及根表组织脱落物,也是微生物比较丰富的区域,因此表现出了比较强烈的富集作用。

4 结论

(1) 根际与非根际土壤的各项特征均表现出显著的差异性。根际土壤的全氮、全磷、全钾、水解氮、速效磷、速效钾以及有机质都表现出了不同程度的富集,根际土壤 pH 值相对于非根际土壤降低了 0.25 个单位。根际土壤表现出比较明显的根际效应。

(2) 这五种作物根际土壤全氮、全磷、全钾含量都高于非根际土壤,不同的作物富集率有很大差异,

全量养分的 $\text{R/NR}>1$,表现出正根际效应。

(3) 除了桔子根际土壤速效磷低于非根际土壤含量外,其余作物的根际土壤水解氮、速效磷、速效钾含量都高于非根际土壤,不同的作物富集率差异很大。桔子根际速效磷 $\text{R/NR}<1$,出现负根际效应;其余作物根际有效态养分的 $\text{R/NR}>1$,表现出正根际效应。

(4) 五种作物根际与非根际土壤的 pH 值都比较低,呈微酸性,根际土壤 pH 值均低于非根际土壤;不同作物的根际与非根际土壤有机质含量差异很大,几种作物根际土壤有机质含量均高于非根际土壤。

参考文献:

- [1] 林大仪. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,2002.
- [2] 张学利,杨树军,张百习,等. 不同林龄樟子松根际与非根际土壤的对比[J]. 福建林学院学报,2005,25(1):80-84.
- [3] 张海涵,唐明,陈辉. 黄土高原典型林木根际土壤微生物群落结构与功能特征及其环境指示意义[J]. 环境科学,2009,30(8):2432-2437.
- [4] 李国辉,陈庆芳,黄懿梅,等. 黄土高原典型植物根际对土壤微生物生物量碳、氮、磷和基础呼吸的影响[J]. 生态学报,2010,30(4):976-983.
- [5] 张鼎华,林开森,李宝福. 杉木、马尾松及其混交林根际土壤磷素特征[J]. 应用生态学报,2011,22(11):2815-2821.
- [6] 蒋秋怡,叶仲节,钱新标,等. 杉木根际土壤特性的研究:杉木根际的生物化学特性[J]. 浙江林学院学报,1991,8(4):450-456.
- [7] 马玉莹,周德明,梅杰. 杉木林地根际与非根际土壤特性分析[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(7):120-123.
- [8] 姜海燕,袁秀英,樊石磊. 胡杨根际土壤化感物质成分分析[J]. 内蒙古农业大学学报,2011,32(2):48-51.
- [9] Riley D, Barber S A. Bicarbonate accumulation and pH changes at the soybean root-soil interface[J]. Soil Science Society of America Journal,1969,33(6):905-908.
- [10] Riley D, Barber S A. Salt accumulation at the soybean (*Glycine Max.* (L.) Merr.) root soil interface[J]. Soil Science Society of America Journal,1970,34(1):154-155.
- [11] 林大仪. 土壤学实验指导[M]. 北京:中国林业出版社,2004:100-120.
- [12] 马斌,周志宇,张彩萍,等. 超旱生灌木根际土壤磷的含量特征[J]. 草业学报,2005,14(3):106-110.
- [13] 张学利,杨树军,张百习,等. 不同感病等级樟子松根际与非根际土壤性质对比研究[J]. 林业科学研究,2006,19(1):88-92.
- [14] 詹媛媛,薛梓瑜,任伟,等. 干旱荒漠区不同灌木根际土壤氮素的含量特征[J]. 生态学报,2009,29(1):59-66.

- [8] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 2006, 111, D05109.
- [9] Rahimzadeh F, Asgari A, Fattahi E. Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades [J]. *International Journal of Climatology*, 2009, 29(3):329-343.
- [10] 王志福, 钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. *水科学进展*, 2009, 20(1):1-9.
- [11] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. *地理学报*, 2003, 58(增刊):1-10.
- [12] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 西北地区近 50a 气温和降水极端事件的变化特征[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(10):1720-1733.
- [13] 陈贺, 李原园, 杨志峰, 等. 地形因素对降水分布影响的研究[J]. *水土保持研究*, 2007, 14(1):119-122.
- [14] 单树模. 中国名山大川辞典[M]. 济南: 山东教育出版社, 1992:158-159.
- [15] 张春山, 张业成, 胡景江, 等. 中国地质灾害时空分布特征与形成条件[J]. *第四纪研究*, 2000, 20(6):559-566.
- [16] 蔡新玲, 吴素良, 贺皓, 等. 变暖背景下陕西极端气候事件变化分析[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(4):1095-1101.
- [17] 姜创业, 魏娜, 程肖侠, 等. 1962—2008 年陕西省年际气温和降水区域性变化特征分析[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(1):197-200.
- [18] 王宝鉴, 李栋梁, 黄玉霞, 等. 东亚夏季风异常与西北东部汛期降水的关系分析[J]. *冰川冻土*, 2004, 26(5):563-568.
- [19] 黄秉维. 中国综合自然区划的初步草案[J]. *地理学报*, 1958, 24(4):348-365.
- [20] 张利平, 杜鸿, 夏军, 等. 气候变化下极端水文事件的研究进展[J]. *地理科学进展*, 2011, 30(11):1370-1379.
- [21] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent L A, et al. Characteristic of daily and extreme temperature over Canada [J]. *Climate*, 2001, 4(9):1959-1976.
- [22] Folland C, Anderson C. Estimating changing extremes using empirical ranking methods[J]. *Climate*, 2002, 15(20):2954-2960.
- [23] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007:42-106.
- [24] 纪忠萍, 谷德军. 广州近百年来气候变化的多时间尺度分析[J]. *热带气象学报*, 1999, 15(1):48-55.
- [25] 周晓霞, 丁一汇, 王盘兴. 夏季亚洲季风区的水汽输送及其对中国降水的影响[J]. *气象学报*, 2008, 66(1):59-70.

(上接第 109 页)

- [15] 张学利, 杨树军, 刘亚萍, 等. 章古台固沙林主要树种根际土壤性质研究[J]. *中国沙漠*, 2004, 24(1):72-76.
- [16] 刘建军, 陈海滨, 田呈明, 等. 秦岭火地塘林区主要树种根际微生态系统土壤特性研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998, 4(3):52-57.
- [17] 黄刚, 赵学勇, 张同会, 等. 科尔沁沙地 3 种灌木根际土壤 pH 值及其养分状况[J]. *林业科学*, 2007, 43(8):138-142.
- [18] 魏勇, 张焕朝, 张金屯. 杨树根际土壤有效磷的分布特征及其有效性[J]. *南京林业大学学报*, 2003, 27(5):20-25.
- [19] 丁应祥, 梁珍海, 康立新, 等. 滨海土壤上杨树根际微区性状的研究[J]. *南京林业大学学报*, 1996, 20(2):15-19.
- [20] Zoysa A K N, Loganathan P, Hedledy M J. A technique for studying rhizosphere processes in tree crops: soil phosphorus depletion around camellia (*Camellia japonica* L.) roots[J]. *Plant and Soil*, 1997, 190(2):253-265.
- [21] 张锡洲, 阳显斌, 李廷轩, 等. 不同磷效率小麦对磷的吸收及根际土壤磷组分特征差异[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(15):3083-3092.
- [22] 张广莉. 根际土壤磷的动态[J]. *土壤农化通报*, 1997, 12(2):39-45.
- [23] 侯杰, 叶功富, 张立华. 林木根际土壤研究进展[J]. *防护林科技*, 2006, 70(1):30-33.
- [24] 叶功富, 侯杰, 张立华. 木麻黄连栽林根际土壤化学性质与酶活性动态[J]. *亚热带水土保持*, 2012, 24(2):1-4, 19.
- [25] 张超, 刘国彬, 薛蕙, 等. 黄土丘陵区不同植被根际土壤微量元素含量特征[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(3):645-650.
- [26] 张福锁. 环境胁迫与植物根际营养[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998:21-75.