

黄河三角洲盐碱地不同混交林土壤 可溶性有机碳氮的研究

陈印平¹, 夏江宝¹, 曹建波², 王进闯³

(1. 滨州学院 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 山东 滨州 256603;

2. 滨州学院, 山东 滨州 256603; 3. 中国科学院 成都生物研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 对黄河三角洲盐碱地刺槐纯林、刺槐+白蜡、刺槐+白榆和刺槐+臭椿混交林土壤可溶性有机碳(DOC)和土壤可溶性氮(TSN)进行了研究。结果表明,4种人工林中,腐殖质层 DOC 和 TSN 含量显著大于 0—20 和 20—40 cm 层土壤。刺槐+臭椿混交林的 DOC 含量最高,为 257.70 mg/kg。另外,总氮(TN)和 TSN 含量分别为 1 065.79 和 55.80 mg/kg,均显著高于其他三种林型。各层土壤 DOC 和 TSN 含量由高到底的顺序依次为:刺槐+臭椿混交林>刺槐+白榆混交林>刺槐纯林>刺槐+白蜡混交林。相关分析结果表明,土壤 DOC 和 TSN 与土壤的全氮、有效磷、速效钾和含盐量相关性显著。

关键词: 黄河三角洲; 混交林; 可溶性有机碳; 可溶性氮

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0087-05

中图分类号: S153.6, S714.8

Dissolved Organic Carbon and Nitrogen in Different Mixed Forest Stands in Saline Land of Yellow River Delta

CHEN Yin-ping¹, XIA Jiang-bao¹, CAO Jian-bo², WANG Jin-chuang³

(1. Binzhou University, The Key Laboratory for Ecological Environment of Yellow River Delta,

Shandong Province, Binzhou 256603, China; 2. Binzhou University, Shandong Province, Binzhou 256603,

China; 3. Key Lab of ECORES, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China)

Abstract: The contents of soil dissolved organic carbon(DOC) in *Robinia pseudoacacia*, *Robinia pseudoacacia* + *Fraxinus chinensis* mixed forest, *Robinia pseudoacacia* + *Ulmus pumila* mixed forest, and *Robinia pseudoacacia* + *Ailanthus altissima* mixed forest in saline land of the Yellow River Delta were studied. Among the four forest patterns, the DOC and dissolved organic N(TSN) in soil humus had significantly higher contents than those in the 0—20 and 20—40 cm soil layers, and the highest content of the DOC was founded in *Robinia pseudoacacia* + *Ailanthus altissima* mixed forest (257.70 mg/kg). In addition, the contents of total N(TN) and the TSN in *Robinia pseudoacacia* + *Ailanthus altissima* mixed forest were 1 065.79 and 55.80 mg/kg, respectively. Soil contents of the DOC and TSN in the four forest patterns were showed as the order of *Robinia pseudoacacia* + *Ulmus pumila* > *Robinia pseudoacacia* + *Ailanthus altissima* stand > *Robinia pseudoacacia* stand > *Robinia pseudoacacia* + *Fraxinus chinensis*. The DOC and TSN were significantly correlated with TN, available P, available K and salinity.

Keywords: Yellow River delta; mingled forest; DOC; TSN

森林土壤有机碳库储量的微小变化,可显著地引起大气 CO₂ 浓度的改变,土壤可溶性有机碳(dissolved organic carbon, DOC)的生物有效性极高,是土壤有机质的重要组分,也是陆地生态系统中极为活

跃的有机碳组分及物质交换的重要形式^[1],对生态系统土壤养分的有效性和流动性等有直接的影响。土壤可溶性有机碳占土壤有机碳总量的比例较小,但可直接参与土壤生物化学转化过程,也是土壤微生物活

收稿日期:2013-02-19

修回日期:2013-04-24

资助项目:国家“十一五”科技支撑计划课题“盐碱地改良沿海防护林体系研究与示范”(2009BADB2B05);山东省中青年科研奖励基金“黄河三角洲盐碱耕地土壤碳氮周转对盐胁迫的响应机制”(2011BSHZ001);山东省高校科研发展计划项目“黄河三角洲退化人工刺槐林 CNP 化学计量特征”(J13LE58);滨州学院青年基金项目“沾化冬枣种植区土壤氮矿化研究”(BZXKYKJ0818)

作者简介:陈印平(1978—),女(汉族),山东省菏泽市人,硕士,讲师,主要从事植物生态学研究。E-mail: yinchen@126.com。

通信作者:夏江宝(1978—),男(汉族),山东省安丘市人,博士,副教授,主要从事植被恢复与生态重建研究。E-mail: xiajb@163.com。

动能源和土壤养分的驱动力^[2],因此,可与土壤微生物生物量和土壤酶活性等一起作为土壤健康的生态指标,评价退化生态系统的恢复进程,从而指导生态系统管理^[3]。近年来,拥有中国人工刺槐林面积最大的黄河三角洲地区,刺槐人工林出现了大面积枯梢,甚至成片死亡的退化现象,严重影响了黄河三角洲盐碱地土壤的改良和人工林的生态功能。目前,大多数研究集中在黄河三角洲人工林的土壤可溶性氮含量、造林模式、林分配置、林冠健康及其土壤水盐动态、土壤理化性状等方面^[4-7]。研究发现,黄河三角洲不同林地改造模式下,刺槐人工林土壤可溶性氮含量高于杨树和白蜡林,而刺槐混交林土壤酶活性及养分等土壤性状优于刺槐纯林。土壤可溶性有机碳可反映林地土壤中潜在活性养分含量和周转速率、表征土壤碳平衡和生物学肥力,那么在不同造林模式下土壤可溶性有机碳含量是否发生变化?其变化是否影响林分的配置模式及土壤其他理化性状?相关研究还未见报道。

因此,本研究以黄河三角洲盐碱地刺槐纯林、刺槐+白蜡、刺槐+白榆和刺槐+臭椿混交林四种人工林为对象,通过比较不同人工刺槐纯林与混交林土壤 DOC 含量的变化特征和差异性,分析土壤理化指标与 DOC 的相关关系以及不同植被类型对 DOC 的影响,以期完善刺槐人工林可持续经营的理论体系及盐碱地土壤的改良提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于山东省东营市河口区,该区位于山

东省北部黄河三角洲地区,属于暖温带半湿润地区,大陆性季风气候,年均气温 12.1 °C,无霜期长达 201 d,≥10 °C 的积温约 4 200 °C,年降水量 500~600 mm。试验区土壤为冲积性黄土母质在海浸母质上沉淀而成,机械组成以粉沙为主,沙黏相间,层次变化复杂。试验区主要造林模式有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林、白蜡(*Fraxinus chinensis*)林、杨树(*Populus euramericana*)林、柽柳(*Tamarix chinensis*)林、刺槐+白蜡(*Robinia pseudoacacia*+*Fraxinus chinensis*)混交林、刺槐+白榆(*Robinia pseudoacacia*+*Ulmus pumila*)混交林、刺槐+臭椿(*Robinia pseudoacacia*+*Ailanthus altissima*)混交林等,天然植被以盐生、湿生的禾本科芦苇(*Phragmites australis*)、白茅(*Imperata cylindrica*)以及翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*)为主。

1.2 样品采集

2008 年 7 月中旬,在试验区内选择造林时间及管理措施相同,株行距 3 m×3 m 的 26 年生人工刺槐纯林(CHL)、刺槐+白蜡混交林(CBL)、刺槐+白榆混交林(CBY)、刺槐+臭椿混交林(CCC)4 种林分类型。4 种林地的土壤理化性质见表 1,植被状况见表 2。在每个林分类型内分别设置 3 个 30 m×30 m 的样地,按“S”型设 5 个取样点,分表层 0—5 cm 的腐殖质层、除去腐殖质层在土壤 0—20,20—40 cm 两层进行采样,将相同土层样品混合,低温保鲜带回实验室。部分土壤样品过 2 mm 筛后在 4 °C 下保存,用于测定 pH 值、全盐量、有效磷、速效钾和可溶性全氮(TSN);另一部分风干过 0.25 mm 筛用于分析测试土壤的全氮(TN)和土壤总有机碳(TOC)。

表 1 4 种人工林土壤肥力状况

林型	土层/cm	含盐量/%	pH 值	土壤容重/ (g·cm ⁻²)	总孔隙度/ %	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	全氮/%	土壤总有机 碳/%
CHL	腐殖质层	0.08	8.18	—	—	18.98	23.16	0.08	2.41
	0—20	0.08	8.22	1.39	47.31	20.13	5.85	0.04	2.50
	20—40	0.06	8.23	1.43	44.32	18.62	5.74	0.04	1.69
CBL	腐殖质层	0.23	8.15	—	—	13.71	16.32	0.09	2.93
	0—20	0.36	7.80	1.38	47.14	11.05	7.28	0.06	3.47
	20—40	0.38	7.76	1.26	48.98	14.11	5.05	0.04	2.85
CBY	腐殖质层	0.09	8.06	—	—	26.63	17.58	0.10	4.54
	0—20	0.04	8.28	1.35	42.99	23.04	7.05	0.03	1.50
	20—40	0.07	8.22	1.29	46.39	17.49	3.92	0.02	1.07
CCC	腐殖质层	0.08	7.93	—	—	16.05	15.06	0.11	3.39
	0—20	0.06	8.11	1.32	48.22	23.53	7.57	0.05	1.64
	20—40	0.03	8.17	1.31	50.89	25.46	9.51	0.03	1.59

表 2 样地植被基本概况

林型	密度/ (株·hm ⁻²)	平均胸径/ cm	平均树高/ m	平均枝下 高/m	平均冠幅/ m	保存率/ %	郁闭度	林下植被总 盖度/%	
CBL	刺槐	3 333	13.97	8.60	2.68	3.38	63.33	0.83	89
	白蜡	1 111	22.17	13.00	3.70	6.27	60.00		
CY	刺槐	2 222	12.84	8.82	1.87	4.05	75.00	0.73	92
	白榆	2 222	18.47	13.34	4.16	4.60	50.00		
CC	刺槐	2 222	17.53	12.60	2.73	5.33	59.09	0.70	95
	臭椿	2 222	13.87	11.64	5.34	3.98	59.09		
CHL	刺槐纯林	4 444	16.41	10.74	2.88	4.38	53.33	0.70	99

1.3 测定方法

pH 值采用电位法测定,可溶性盐采用质量法测定,土壤总有机碳用重铬酸钾—浓硫酸外加加热法,可溶性总氮(TSN)和可溶性有机碳(DOC)采用水浸提法(水土比 10:1)用仪器 Liqui TOC II 测定浸提液,全氮和碳用元素分析仪(VARIO EL III),有效磷用钼锑抗比色法测定,速效钾用火焰光度计测定。

1.4 数据处理

采用 SPSS 11.5 和 Excel 对数据进行统计及单因素方差分析(ANOVA)和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 各林分 DOC 含量

由图 1 可知,4 种林型的腐殖质层 DOC 的平均含量为 219.67 mg/kg,显著大于 0—20 和 20—40 cm 层土壤($p < 0.05$),其中刺槐+臭椿混交林腐殖质层的 DOC 含量最高,为 257.70 mg/kg,是刺槐+白蜡混交林的 1.3 倍,而 0—40 cm 层土壤 DOC 含量在 92.62~158.78 mg/kg,其中最高的是刺槐+白蜡混交林 0—20 cm 的土壤,为 158.78 mg/kg。这可能是因为该层土壤有机质含量(3.47%)高(表 1),腐殖质层 DOC 向下层移动,使 0—20 cm 层土壤的 DOC 含量高于其他林型,而 20—40 cm 的土壤孔隙度较高(表 1),土壤 DOC 易向下层迁移,致使 20—40 cm 层土壤的 DOC 含量较其他林型同层土壤的含量低。

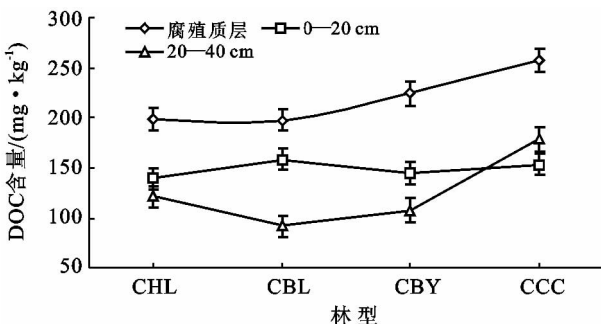


图 1 各林型土壤可溶性有机碳(DOC)

土壤 DOC 主要来自于土壤的腐殖质、植物残体、根系分泌物及微生物的代谢产物等^[8]。综合分析,4 种林型土壤各层土壤 DOC 含量由高到底依次为刺槐+臭椿混交林>刺槐+白榆混交林>刺槐纯林>刺槐+白蜡混交林,表明刺槐+臭椿混交林土壤的性质优于其他林地。

2.2 各林分土壤氮和可溶性总氮

由图 2 可知,刺槐+臭椿混交林腐殖质层 TSN 含量较其他三种林型高,为 55.80 mg/kg。而在 0—20 和 20—40 cm 土层刺槐+白蜡混交林的 TSN 含量最低,分别为 23.58 和 19.21 mg/kg,最高的为刺槐+臭椿混交林为 35.07 和 34.38 mg/kg,其次为刺槐+白榆混交林,刺槐纯林土壤 TSN 含量比刺槐+白蜡混交林高,而低于臭椿、白榆与刺槐的混交林。由此可见,刺槐+臭椿和刺槐白榆混交林土壤 TSN 含量较其他两种林型高。

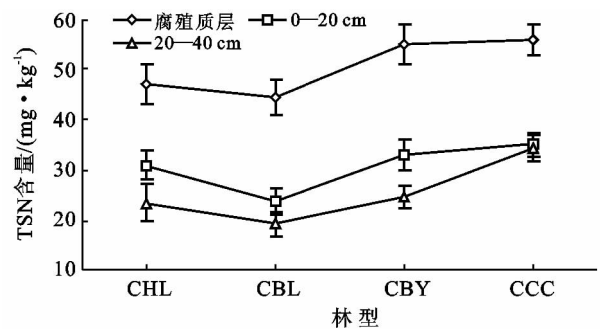


图 2 各林型土壤可溶性总氮(TSN)

各林型土壤总氮的含量在 0.02%~0.11%(表 1,图 3),其含量较其他林地土壤含量低^[9-10],可能因为该区域为盐碱地土壤,相对比较贫瘠。在腐殖质层,刺槐+臭椿混交林土壤 TN 含量最高,最低的为刺槐+白蜡混交林,而 0—20 和 20—40 cm TN 含量最高,TSN 含量则最低,TN 由可溶性和不溶性的两部分组成,土壤的物理性状和腐殖质层的分解速率影响氮的迁移和转化,刺槐+白蜡混交林土壤的容重

大,孔隙度低,腐殖质层 TN 含量在 4 种林型中最低,这些因素可能限制了土壤氮的转化和迁移。

综合分析比较 4 种林型各层土壤 TN 和 TSN 含量,腐殖质层显著高于其他两层($p < 0.05$),并随着土层的加深而降低(图 2—3),因此,在人工林管理过程中,应该重视腐殖质在人工林生态系统中的作用,特别注意保护刺槐纯林和刺槐+白蜡混交林土壤的表层,防止腐殖质流失。

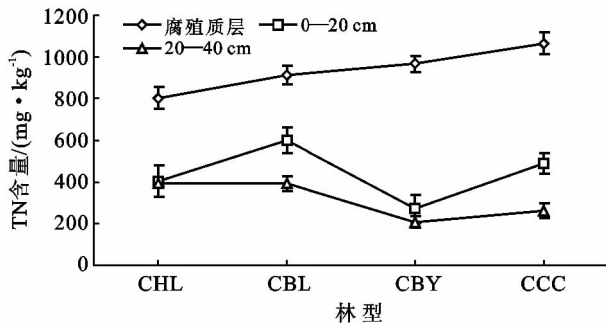


图 3 各林型土壤全氮(TN)

2.3 不同元素的比例关系

土壤中的 C, N, P 组成决定了能量流动和物质循环,土壤 C/N 比值与有机质分解、土壤呼吸等密切相关^[11],土壤及植物的 N 和 P 共同决定着生态系统的生产力,因此土壤营养元素间的比例关系是土壤有机质组成和土壤质量的一个重要指标。分析黄河三角洲不同林型土壤的 C/N 比以及可溶性总氮与有效磷的比值关系发现,4 林型土壤的 C/N 比范围在 19.52~54.61(表 3),平均为 34.08,较中国土壤(250 cm 深)C/N 比平均比 11.9 高 186%^[12],可能是因为本研究分析的土壤深为 40 cm,而 11.9 的比值是土壤 250 cm 深层次的平均值,随着土层的加深,其比值随之下降。刺槐+白榆和刺槐+臭椿混交林 0—40 cm 层土壤有较高的 C/N 比(表 3),表明两林地可能拥有丰富的潜在碳源。

土壤 TSN 与有效磷的平均比值为 1.94(表 3),较中国土壤的平均比值 5.2 低^[12]。本研究分析了植物易于吸收的可溶性氮和有效磷的比值,而中国土壤的研究是基于全氮及全磷的分析,因此所得比例小于全国土壤的比值。土壤中的氮磷是植物生长所必需的矿质营养元素和生态系统中最常见的限制性元素,二者之间具有重要的相互作用,并在植物体内存在功能上的联系。黄河三角洲人工林土壤可溶性氮和有效磷的比值低,可供植物吸收利用的营养元素受到限制,因此人工林可能因土壤营养元素的供给不足而使其生长发育受到限制。人工林地退化的具体原因还需进一步研究。

表 3 不同元素间的比例关系

林型	土层	TSN/N	DOC/TOC	C/N	TSN/有效 P
CHL	腐殖质	5.86	0.83	21.37	2.48
	0—20	7.69	0.56	35.29	1.54
	20—40	6.00	0.72	34.76	1.26
CBL	腐殖质	4.86	0.67	21.46	3.24
	0—20	3.92	0.46	29.54	2.13
	20—40	4.90	0.33	37.09	1.36
CBY	腐殖质	5.70	0.49	22.05	2.07
	0—20	12.17	0.97	48.21	1.43
	20—40	11.81	1.01	54.61	1.41
CCC	腐殖质	5.24	0.76	19.52	3.48
	0—20	13.49	0.94	52.95	1.49
	20—40	7.02	0.92	32.11	1.35

注:TSN/N 和 DOC/TOC 单位是百分比;C/N 和 TSN/有效 P 是比值,无单位。

分析 4 种林型各层土壤 TSN/N 和 DOC/TOC 的百分比随土壤深度无明显的变化规律。刺槐+白蜡混交林 0—20 cm 层土壤 TSN 占 N 的百分含量较低为 3.92%;而其他三种林型 0—20 cm 层土壤的百分含量较同林型腐殖质层和 0—40 cm 层高,表明刺槐+白蜡混交林上层土壤可供植被吸收利用的可溶性氮较低。土壤 DOC 含量一般不超过土壤有机碳总量的 2%^[13],本研究的结果显示,不同林型和土层内 DOC 占 TOC 的百分含量在 0.33%~1.01%,其平均百分含量为 0.72%,比不同栽植代数杉木人工林土壤(平均百分含量为 0.58%)^[9]和红松阔叶混交林土壤 DOC/TOC(平均百分含量为 0.10%)高。在刺槐+白榆混交林和刺槐+臭椿混交林中,0—20 和 20—40 cm 层土壤 DOC/TOC 含量显著高于腐殖质层($p < 0.05$),而刺槐纯林和刺槐+白蜡混交林则相反。

3 结论与讨论

(1) 不同林型土壤可溶性有机碳分析。可溶性有机碳是有机碳的活性组分,具有易流动、易分解、生物活性较高等特点,在提供土壤养分方面起着重要的作用。森林土壤的可溶性有机碳的含量一般不超过 200 mg/kg^[14],本研究的结果也表明,4 种人工林土壤的 DOC 含量范围在 92.62~178.54 mg/kg,与王清奎等^[9]对人工林的研究结果较接近。土壤 TSN 和 DOC 含量由高到低依次为:刺槐+臭椿和刺槐+白榆混交林>刺槐纯林>刺槐+白蜡混交林,从 0—40 cm 层土壤可溶性有机碳和氮来看,以刺槐纯林为对照,白榆和臭椿的植入均有利于刺槐林土壤性状的改善,其土壤含盐量与 pH 值有不同程度的下降,土壤孔隙度略有增加,土壤容重下降(表 1),有利于植

物根系的伸展和生长。此外,土壤碳氮储存能力与凋落物的量与分解速率也密切相关^[15],凋落物质量影响凋落物的分解及营养元素的归还。在刺槐+白榆和刺槐+臭椿混交林内,林下植被相对丰富,凋落物较刺槐纯林和刺槐+白蜡混交林多。刺槐+白榆混交林中土壤呼吸速率较高,微生物活性强^[16],并且叶中氮含量高^[17],凋落物具较低的 C/N 比,有利于微生物对凋落物的分解,使土壤中的碳氮及时得到补充,DOC 和 TSN 的含量高。而白蜡叶片表面有蜡质,分解缓慢,使刺槐+白蜡混交林土壤中的可溶性碳含量低,因此刺槐与白榆和臭椿混交有利于土壤的改良。

(2) 可溶性有机碳与土壤理化指标的关系。混交林土壤性状较纯林土壤有所改善,分析土壤 DOC 与其他理化指标的相关关系发现,土壤 DOC 与 TSN 及速效钾呈极显著正相关($p < 0.01$,表 4),这与王清

奎等^[9]和张文义等^[18]对林地土壤的研究结果是一致的。与全氮和有效磷呈显著正相关($p < 0.05$),与含盐量呈负相关($p > 0.05$),TSN 与有效磷和速效钾呈极显著正相关($p < 0.01$);土壤含盐量随 TSN 的增加而下降,呈极显著负相关($p < 0.01$)(表 4)。这表明土壤 DOC 与 TSN 可降低土壤中的盐含量,而有机质与含盐量呈极显著正相关,与 pH 值呈显著负相关,因此有机质的增加可降低土壤的酸碱性。本研究中 DOC 与 pH 值的相关性不强,这与土壤活性有机碳与 pH 值呈显著或极显著负相关的研究结果不一致^[10],可能和研究对象以及林地的树龄有关。本研究选择的研究对象为 26 年生的人工林,而刘振花等^[10]研究的红松阔叶混交林分别是 30,50,70 年的自然林,植被对土壤的作用时间较长,对土壤性质的影响明显。

表 4 可溶性有机碳与土壤理化指标的相关关系

指标	TSN	DOC	C 含量	TN	C/N	TOC	有效磷	速效钾	pH 值	含盐量	容重	孔隙度
TSN	1											
DOC	0.75**	1										
C 含量	-0.24	0.35	1									
TN	-0.06	0.47*	0.79**	1								
C/N	0.28	-0.21	-0.87**	-0.51*	1							
TOC	-0.39	0.09	0.77**	0.77**	-0.66**	1						
有效磷	0.87**	0.48*	-0.42*	-0.30	0.33	-0.64**	1					
速效钾	0.67**	0.89**	0.391	0.50*	-0.27	0.15	0.52**	1				
pH 值	0.27	0.08	-0.36	-0.27	0.20	-0.42*	0.41*	-0.06	1			
含盐量	-0.71**	-0.33	0.50*	0.46	-0.40	0.82**	-0.83**	-0.19	-0.46*	1		
容重	0.10	0.26	0.30	0.17	-0.28	0.10	0.00	0.15	0.09	-0.19	1	
孔隙度	0.08	0.20	0.28	0.18	-0.34	0.27	0.04	0.28	-0.17	0.18	-0.44*	1

注: ** 表示相关性在 0.01 水平上显著; * 表示相关性在 0.05 水平上显著。

综上所述,刺槐+白榆和刺槐+臭椿混交林土壤 DOC,TSN 含量以及 TSN/N 和 DOC/TOC 的百分含量较刺槐纯林和刺槐+白蜡混交林高,对提高两林地的土壤质量起到了重要的作用,针对黄河三角洲盐碱地改良,可种植白榆、臭椿与刺槐的混交林。作为土壤碳氮主要来源之一的腐殖质层,其 DOC,TSN 和 TN 含量均显著高于 0—20 和 20—40 cm 土层含量,因此在人工林的管理过程中应防止土壤腐殖质层的流失。由相关性分析得出,土壤 DOC,TSN 与土壤全氮、有效磷、速效钾和含盐量相关性显著。土壤中 DOC 含量的大小可反映土壤中潜在活性养分含量和周转速率,从而反映出土壤养分循环和供应状况^[19],而作为衡量土壤碳氮营养平衡状况的土壤 C/N 比和土壤全碳和全氮呈极显著相关性($p < 0.01$),与其他营养元素和物理指标的相关性不显著。因此土壤 C/N 比作为衡量土壤碳氮平衡是较好的指标,而土壤 DOC 和 TSN 含量用于判断土壤的综合营养状况可

能更合适。采取措施增强土壤有机质或腐殖质层向可溶性碳氮的转化,对黄河三角洲人工纯林和混交林生态系统的维持和改良具有重要的现实意义。

[参 考 文 献]

- [1] 柳敏,宇万太,姜子绍,等. 土壤溶解性有机碳(DOC)的影响因子及生态效应[J]. 土壤通报,2007,38(4):758-764.
- [2] Haynes R J. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soil in New Zealand[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 32(2):211-219.
- [3] Xing Shihe, Chen Chengrong, Zhou Biqing, et al. Soil soluble organic nitrogen and active microbial characteristics under adjacent coniferous and broadleaf plantation forests[J]. Journal of Soils and Sediments, 2010,10(4): 748-757.
- [4] 陈印平,夏江宝,王进闯,等. 黄河三角洲盐碱地人工林土壤可溶性有机氮含量及特性[J]. 水土保持学报,2011, 25(4):121-124.

(下转第 104 页)

φ 值依次降低,这也说明了土体含水率的变化对其强度有很大的影响,对于不同含水率的土样,土样抗剪强度的凝聚力和内摩擦角均有不同的变化。原因是含水率的增加,使土样中流动的水增加,流动的水促进了土颗粒之间的滑动,降低了土颗粒之间的摩擦力和机械咬合力,进而使得土体强度降低。因此,分析不同含水率下的非饱和黄土的抗剪强度对于研究非饱和黄土的工程性质十分重要。

3 结论

(1) 在不同含水率下非饱和黄土的偏应力随着轴向应变的变化的曲线皆为硬化或者强硬化型,偏应力与体变关系曲线存在明显的拐点,在拐点之前土样表现为受剪压缩,拐点之后土样表现为受剪剪胀,其原因是在拐点之前土样随压力的增大而处于压密状态,而在拐点之后土样开始破坏,所以呈现剪胀变化。

(2) 非饱和黄土的抗剪强度随含水率的变化呈明显的变化,随着含水率的增大,凝聚力与内摩擦角均降低;非饱和黄土的强度要高于饱和黄土的强度。在实际工程要充分考虑土体含水率的变化。

[参 考 文 献]

[1] 刘祖典. 黄土力学与工程[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.

- [2] 殷宗泽. 土工原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [3] 朱思哲, 刘 虔, 包承纲, 等. 三轴试验原理与应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [4] 邓楚键, 郑颖人, 朱建凯. 平面应变条件下 M-C 材料屈服时的中主应力公式[J]. 岩土力学, 2008, 29(2): 310-314.
- [5] 华承博. 新型土工平面应变仪的开发与研制[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [6] 黄茂松, 钱建固. 平面应变条件下饱和土体分叉后的力学性状[J]. 工程力学, 2005 22(1): 48-53.
- [7] 李福林, 彭芳乐, 雷亮, 等. 平面应变条件下砂土局部化剪切带的有限元模拟[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(4): 851-857.
- [8] 李刚, 谢云, 陈正汉. 平面应变状态下黏性土破坏时的中主应力公式[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(18): 3174-3177.
- [9] 李广信, 张其光, 黄勇男. 土体平面应变方向上的主应力[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(3): 358-361.
- [10] 刘爱华, 王思敬. 平面坡体渐进破坏模型及其应用[J]. 工程地质学报, 1994, 2(1): 1-8.
- [11] 赵锡宏, 张启辉. 土的剪切带试验与数值分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

(上接第 91 页)

- [5] 张建锋, 邢尚军. 环境胁迫下刺槐人工林地土壤退化特征研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1086-1091.
- [6] 夏江宝, 许景伟, 陆兆华, 等. 黄河三角洲滩地不同植被类型的土壤贮水功能[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 79-83.
- [7] 王群, 夏江宝, 张金池, 等. 黄河三角洲退化刺槐林地不同改造模式下土壤酶活性及养分特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 133-137.
- [8] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soil: a review [J]. Soil Science, 2000, 165(4): 277-304.
- [9] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜. 杉木人工林土壤可溶性有机质及其与土壤养分的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1299-1305.
- [10] 刘振花, 陈立新, 王琳琳. 红松阔叶混交林不同演替阶段土壤活性有机碳的研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1098-1103.
- [11] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle[J]. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 7-20.
- [12] 程滨, 赵永军, 张文广, 等. 生态化学计量学研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1628-1637.
- [13] 李玲, 肖和艾, 苏以荣, 等. 土地利用对亚热带红壤区典型景观单元土壤溶解性有机碳含量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 122-128.
- [14] Linn D M, Doran J W. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1984, 48(4): 1267-1272.
- [15] Saner T, Cambardella C, Brandle J. Soil carbon and tree litter dynamics in a red cedar scotch pine shelterbelt[J]. Agroforestry Systems, 2007, 71(3): 163-174.
- [16] 秦娟, 上官周平. 白榆/刺槐不同林型生长季土壤呼吸速率的变化特征[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(6): 91-98.
- [17] 秦娟, 上官周平. 白榆—刺槐互作条件下叶片养分与光合生理特性[J]. 生态科学, 2012, 31(2): 121-126.
- [18] 孙文义, 郭胜利. 天然次生林与人工林对黄土丘陵沟壑区深层土壤有机碳氮的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2611-2620.
- [19] 李淑芬, 俞元春, 何晟. 南方森林土壤溶解有机碳与土壤因子的关系[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(10): 119-123.