

# 滦河口湿地植物—土壤生态化学计量相关性研究

谭海霞<sup>1</sup>, 金照光<sup>2</sup>, 孙富强<sup>2</sup>, 耿世刚<sup>1</sup>

(1. 河北环境工程学院, 河北 秦皇岛 066102; 2. 昌黎黄金海岸自然保护区管理处, 河北 秦皇岛 066102)

**摘要:** 河口湿地是河海交汇地带, 环境变化剧烈, 土壤碳氮磷变化显著影响着湿地生态系统的生产力。为了解滦河口植物与土壤碳氮磷计量特征关系, 在滦河口湿地设置 4 个采样区选取典型植物群落采集土壤及植物, 并对样品养分含量进行了分析。结果表明: 不同植物群落地上部分和地下部分养分含量均表现为  $C > N > P$ , 氮磷均呈正相关, 植物氮含量呈现出地上部分大于地下部分的规律; 土壤则表现为  $C > P > N$ , 碳与氮、磷均呈现显著正相关。不同植物群落之间土壤养分含量存在一定差异, 土壤碳、氮、磷含量的变化范围分别为  $(3.8 \pm 0.44) \sim (10.52 \pm 0.6) \text{ g/kg}$ ,  $(0.29 \pm 0.12) \sim (0.11 \pm 0.21) \text{ g/kg}$ ,  $(0.99 \pm 0.27) \sim (2.24 \pm 0.51) \text{ g/kg}$ , 研究区土壤养分含量低于全国湿地养分平均水平。不同植被—土壤之间的  $C:N$ ,  $C:P$ ,  $N:P$  存在一定的差异性, 植物地上部分、地下部分生态化学计量比由大到小为:  $C:P > C:N > N:P$ , 土壤生态化学计量比由大到小为:  $C:N > C:P > N:P$ , 植物群落碳氮磷及其化学计量比与土壤化学计量比相关性较弱, 植物与土壤养分表现出不完全同步的变化形式。

**关键词:** 滦河口; 湿地; 土壤; 生态化学计量

中图分类号: Q948.1; S153

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)02-0068-06

## Correlation Between the Stoichiometric Characteristics of Plants and Soils in Luanhe Estuary Wetland

TAN Haixia<sup>1</sup>, JIN Zhaoguang<sup>2</sup>, SUN Fuqiang<sup>2</sup>, GENG Shigang<sup>1</sup>

(1. Hebei University of Environmental Engineering, Qinhuangdao, Hebei 066102, China;

2. Management Office of Changli Golden Coast National Nature Reserve, Qinhuangdao, Hebei 066102, China)

**Abstract:** The changes of soil carbon, nitrogen and phosphorus in estuarine wetland significantly affect the productivity of wetland ecosystem. A typical plant community was selected to take soil and plant samples in the estuary of Luanhe River. The nutrient contents of samples were determined and analyzed. The results showed that the nutrient contents of the above-ground parts and underground parts of different plant communities decreased in the order:  $C > N > P$ ; there was a certain difference in soil nutrient contents between different plant communities. The variation ranges of soil carbon, nitrogen and phosphorus contents were  $(3.8 \pm 0.44) \sim (10.52 \pm 0.6) \text{ g/kg}$ ,  $(0.99 \pm 0.27) \sim (2.24 \pm 0.51) \text{ g/kg}$ ,  $(0.99 \pm 0.27) \sim (2.24 \pm 0.51) \text{ g/kg}$ , respectively. The soil nutrient contents in the study area were lower than those of the national average values. Stoichiometric ratios of plants decreased in the order:  $C:P > C:N > N:P$ ; stoichiometric ratios of soils decreased in the order:  $C:N > C:P > N:P$ , which indicated that the soil organic matter decomposition rate was fast, nitrate leaching risk and nitrogen mineralization degree were high. Therefore, increasing the content of soil organic matter and nitrogen fertilizer can improve the productivity of wetland ecosystem in this area.

**Keywords:** estuary of Luanhe River; wetland; soil; ecological stoichiometry

生态化学计量学是利用有机体所需的碳、氮、磷等多种元素的比率来研究生态过程和生态作用的一

种新方法, 为研究植物与土壤之间的相关性提供了有效手段。当前森林、草地等陆生系统生态计量学已经

取得了广泛研究<sup>[1-2]</sup>,对植物生态化学计量学特征也有些研究<sup>[3]</sup>,而对于湿地生态系统植物—土壤中碳氮磷计量学特征研究相对较少。王维奇等<sup>[4]</sup>分析了河口湿地植物活体、枯落物、土壤的碳氮磷季节动态。朱俊瑾等<sup>[5]</sup>探讨不同水分条件下植物土壤中碳氮化学计量特征,揭示不同水分条件下植物对碳、氮的利用效率不同。肖烨等<sup>[6]</sup>探讨了吉林东部山地沼泽湿地土壤碳、氮、磷含量及其生态化学计量学特征,揭示土壤含水量是影响土壤 C/P 和 N/P 变化的关键影响因子。张森等<sup>[7]</sup>研究了黄河三角洲不同湿地群落氮磷化学计量特征及其生境适应策略对陆地生态系统,除了土壤条件,滨海湿地中氮、磷的化学计量模式也与植物本身的生理调节有关。河口湿地是连接陆地和海洋的重要过渡带,碳氮磷的循环是全球碳氮磷循环重要的组成部分,土壤和植物的碳、氮、磷比例关系可以指示生态系统的养分限制状况以及有机质的分解程度等<sup>[8]</sup>。近年来滦河口湿地入海泥沙减少、人类开发利用,导致滦河口自然湿地面积在逐渐减少,植物多样性下降。为进一步揭示河口湿地植物—土壤碳、氮、磷元素的动态关系,以滦河口湿地獐毛群落(*Aeluropus sinensis*)、盐地碱蓬群落(*Suaeda salsa*)、芦苇群落(*Phragmites communis*)、怪柳灌丛(*Tamarix chinensis* Lour)为研究对象,研究不同植物—土壤碳氮磷含量及化学计量特征,分析探讨植物—土壤碳氮磷及化学计量之间的相关性,为滦河口湿地的生态恢复、可持续利用提供参考。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

滦河口湿地总面积 7 657.89 hm<sup>2</sup>,地理位置北纬 39°24′—39°27′,东经 119°15′—119°19′,区域范围包括秦皇岛昌黎县南部至唐山乐亭县交界处,是发育较为完好的中小型三角洲滨海湿地。属暖温带半湿润大陆季风气候区,处于不规则半日混合潮,年平均气温 10~11℃,平均降水量 578 mm。研究区内植物群落包括:獐毛群落(AS)多分布在部分脱盐的土壤上,含盐量一般在 0.5%~1.0%;盐地碱蓬群落(SS)分布在海岸带含盐量 1.5%以上的滩涂裸地;芦苇群落(PC)分布在河口两岸及河漫滩上,土壤含盐量 1%左右;怪柳灌丛(TC)多散生于盐生草甸,土壤含盐量 1%左右。研究区内土壤区属于滨海平原潮土区、滨海盐土区,主要土壤类型包括:滨海盐土、草甸盐土、沼泽化盐土、沼泽土、风沙土、潮土、水稻土等。

### 1.2 研究方法

样品采集与处理:根据研究区滨海盐土环境和优势种设置 4 个采样区,分别为獐毛群落(AS)、盐地碱蓬群落(SS)、芦苇群落(PC)、怪柳灌丛(TC),在每种植被群落中选择有代表性的样地设 2~3 个 1 m×1 m 样方,采用对角线法在每个样方内采集 0—30 cm 的土壤及对应的植物样品,土壤样品自然风干、磨细、过筛保存;采集的植物根、茎、叶分离且标记,在 60℃下烘干至恒重,研磨过筛,保存在聚乙烯塑料袋中待测。

元素测定:碳的测定采用重铬酸钾容量法;全氮含量的测定采用凯氏定氮法;全磷含量的测定采用钼锑抗比色法。

数据处理:研究中所有基础数据处理、分析、绘图运用 Excel 2017, SPSS 22 和 Origin 8.6 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物—土壤碳氮磷养分含量特征

研究区不同群落植物地上部分和土壤碳氮磷特征见表 1。从均值看,植物地上部分和地下部分均表现为 C>N>P,土壤则表现为 C>P>N。4 种湿地盐生植物群落地上部分和地下部分养分含量呈现出一定的差异性,植物地上部分碳含量在 AS 与 PC 之间差异不显著( $p>0.05$ ),氮含量在 TC 和 PC 之间不显著( $p>0.05$ ),磷含量差异均显著( $p<0.05$ );地下部分(根系)各群落碳含量差异显著( $p<0.05$ ),氮含量 AS 与 SS 之间差异不显著( $p>0.05$ ),磷含量在 AS 与 PC 间差异不显著( $p>0.05$ )。土壤碳含量(0—30 cm 土层)的变化范围为(3.8±0.44)~(10.52±0.6) g/kg, PC>TC>AS>SS,在 4 种植物群落之间差异显著( $p<0.05$ );土壤氮含量均值变化范围为(0.29±0.12)~(0.99±0.21) g/kg, TC 与其他群落差异显著( $p<0.05$ );磷含量均值变化范围为(0.99±0.27)~(2.24±0.51) g/kg, PC 与 SS, TC 差异不显著( $p>0.05$ ), TC 与 AS, SS 差异显著( $p<0.05$ )。

### 2.2 植物—土壤碳氮磷生态化学计量特征

由图 1 可知,研究区 4 种植物群落生态化学计量特征。植物地上部分、地下部分生态化学计量比为 C:P>C:N>N:P,土壤的生态化学计量比为 C:N>C:P>N:P。4 种植物群落 C:N 范围为:地上部分 14.31~19.28,地下部分 11.81~32.39,土壤为 10.84~21.28,獐毛群落 C:N 表现为地下>土壤>地上( $p>0.05$ );芦苇群落 C:N 表现为地上>地下>土壤( $p>0.05$ );碱蓬群落、怪柳群落 C:N 表现为地下>地上>

土壤;4种植物群落 C:P 范围为:地上部分 149.22~286.92,地下部分 137.46~307.42,土壤为 3.91~5.23,4种植物群落 N:P 范围为:地上部分 10.45~14.89,地下部分 4.42~12.72,土壤为 0.24~0.48。

樟毛群落、桤柳群落 C:P,N:P 均为地上>地下>土壤;芦苇、碱蓬 C:P,N:P 均为地下>地上>土壤。4种植物群落地上部分、地下部分、土壤 C:P 与 N:P 之间均存在极显著差异( $p<0.01$ )。

表 1 植物—土壤碳氮磷养分含量特征

			g/kg		
类型	组成	位置	C	N	P
樟毛群落	营养器官	地上部分	219.92±3.19	11.49±1.16	0.77±0.08
		地下部分	198.82±3.37	6.57±1.91	1.47±0.2
	土壤	0—30 cm	5.4±0.53	0.29±0.12	1.25±0.42
芦苇群落	营养器官	地上部分	222.9±3.7	15.69±1.46	1.509±0.12
		地下部分	219.259±3.74	18.92±2.95	1.56±0.43
	土壤	0—30 cm	10.52±0.6	0.99±0.21	2.12±0.59
盐地碱蓬群落	营养器官	地上部分	197.23±3.49	10.0±0.74	0.89±0.1
		地下部分	242.749±4.58	8.029±0.74	0.799±0.07
	土壤	0—30 cm	3.8±0.44	0.32±0.12	0.99±0.27
桤柳群落	营养器官	地上部分	297.15±4	15.28±1.81	1.33±0.15
		地下部分	279.85±3.92	11.71±1.17	2.15±0.41
	土壤	0—30 cm	8.46±0.53	0.75±0.19	2.24±0.51

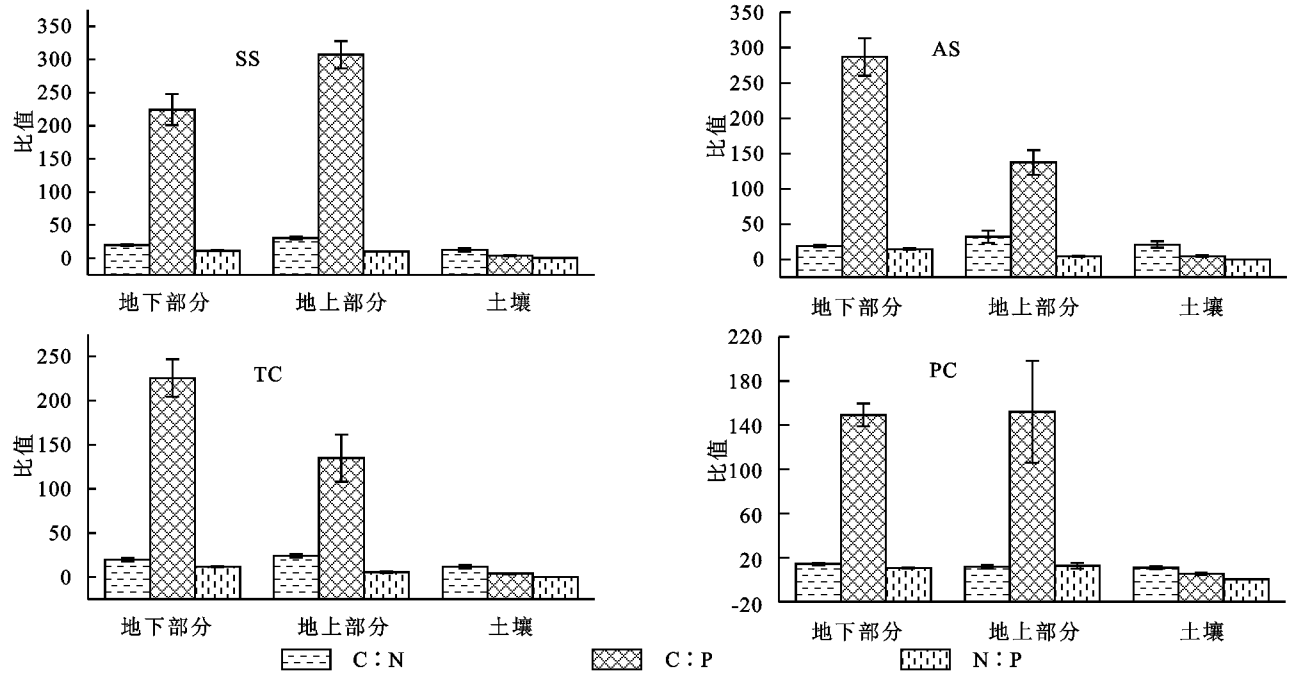


图 1 滦河口湿地典型植物群落 C:N,C:P,N:P 分布特征

2.3 植物—土壤碳氮磷化学计量相关性

经相关分析得出,研究区 4 种植物群落的地上部分、地下部分的氮磷含量均呈正相关(图 2);土壤碳与氮、磷均呈现显著正相关(图 3),AS,SS 群落的土壤氮含量与 C:N,P 与 C:P 呈负相关( $R_{as}=-0.941$ ,  $R_{as}=-0.918$ ,  $R_{ss}=-0.960$ ,  $R_{ss}=-0.925$ ,  $p<0.01$ ),氮含量与磷含量呈不相关( $p>0.05$ );TC,PC 群落土壤氮与磷显著正相关( $R_{tc}=0.829$ ;  $R_{pc}=0.880$ ,  $p<0.01$ );植物地上部分 C:N 与地下部分的 C:N 均呈正相关( $R=0.828$ ,  $p<0.01$ );PC 群落、TC 群落土壤 C:N 与 C:P 呈正相关( $R=0.701$ ,  $p<0.05$ ),SS 群落 C:N 与 N:P 呈负相关( $R=$

$-0.723$ ,  $p<0.05$ )。研究区植物群落碳氮磷及其化学计量比与土壤化学计量比表现出与土壤不完全同步的变化形式,其中 TC 群落土壤 N:P 均显著或极显著地随植物地上部分和地下部分的磷含量增加而增加( $R=0.707$ ,  $p<0.05$ ;  $R=0.769$ ,  $p<0.01$ )。

3 讨论

植物对营养元素的吸收及运输机制不同,导致各器官中养分积累的不同。研究区 4 种植物群落的碳氮磷含量存在显著差异,植物氮含量呈现出地上部分大于地下部分的规律,这可能是植物将有限的氮资源优先分配给地上部分以满足植物光合作用的需求,适

应滨海河口湿地氮限制的一种生活策略。不同植物对养分的吸收与归还能力是决定土壤养分的关键因素。本项研究中,滦河口滨海湿地养分含量较低,其中碳平均含量 7.04 g/kg 远远低于中国湿地碳平均含量 11.1 g/kg,氮平均含量 0.59 g/kg 低于中国湿地氮平均含量 1.1 g/kg<sup>[9-10]</sup>,4 种植物群落土壤碳含量差异显著( $p<0.05$ )。相关研究证实生态系统养分含量受植被覆盖度、种类、水文条件等的影响<sup>[11]</sup>,研究区域人为活动影响频繁,浅层地下水盐度差异显著<sup>[12]</sup>,加之研究区属于典型的滨海河口湿地,植物多

处于水湿环境,凋落物在潮汐作用下大量流失,氮磷营养元素易被淋溶,导致滦河口湿地养分含量较低。土壤中磷素主要来源于沉积物风化和动植物残体归还,研究区怪柳群落磷含量与獐毛、盐地碱蓬群落差异显著,可能也是由于群落间土壤含盐量的变化引起的<sup>[1,13]</sup>。氮和磷元素是植物生长生存所必需的矿质营养元素和陆地生态系统生产力最重要的限制元素,土壤中的氮主要来源于动植物残体和生物固氮,随着有机质的分解,释放出植物生长所需的氮磷等营养元素,故研究区土壤碳与氮、磷均呈现显著正相关。

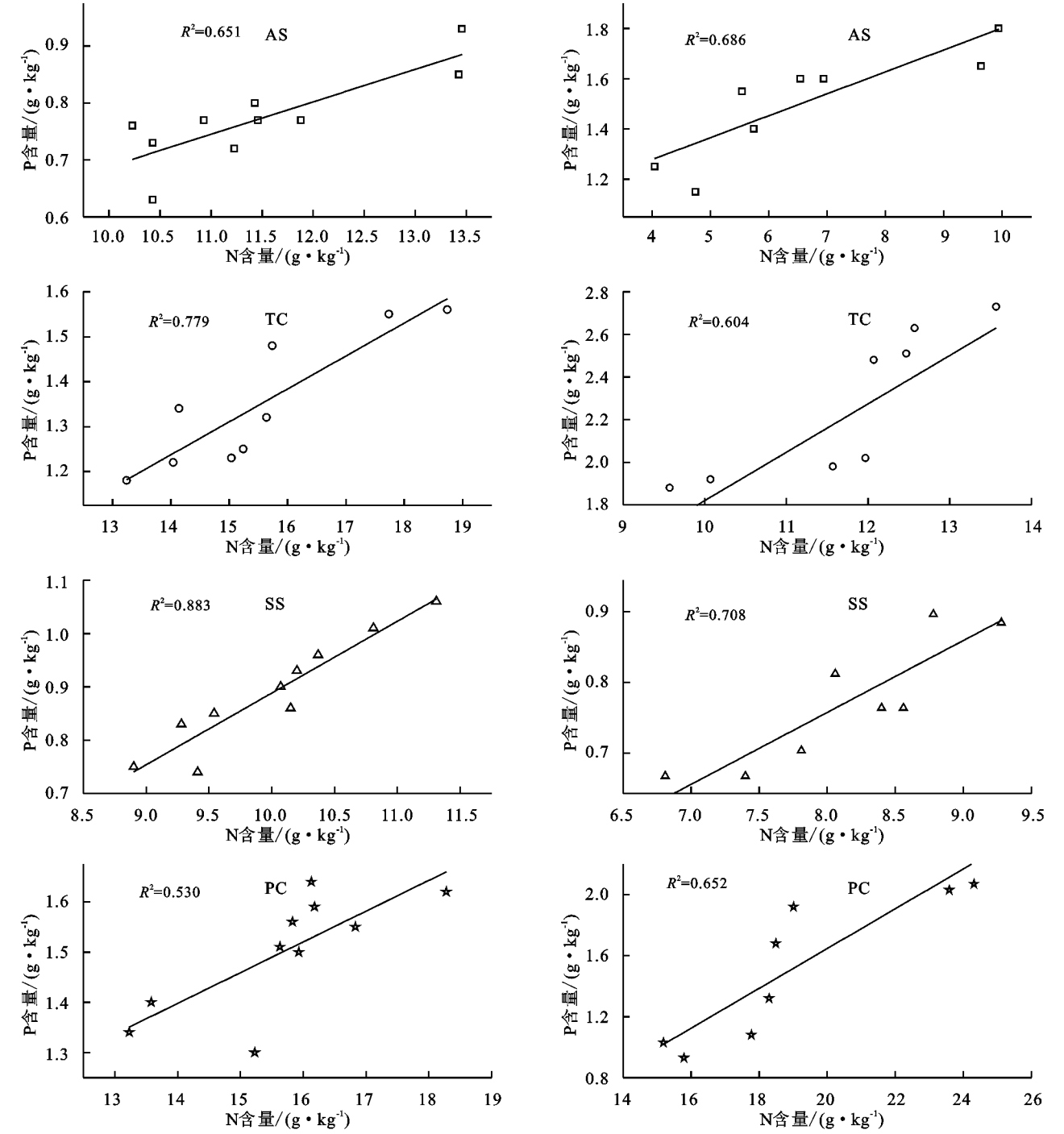


图 2 不同植物地上部分和地下部分全氮和全磷线性相关性

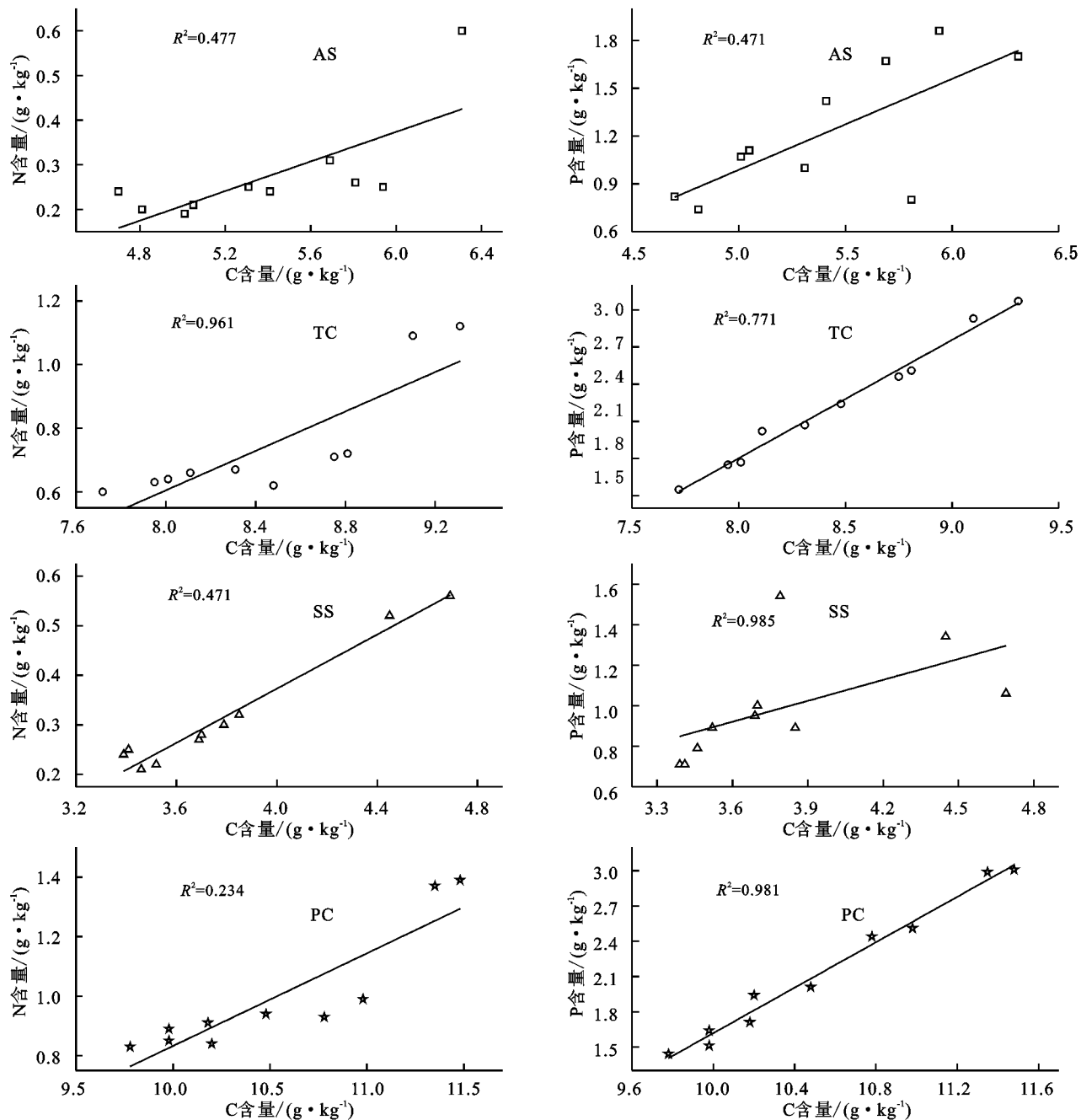


图 3 不同植物群落土壤碳含量和氮含量、磷含量线性相关性

碳氮磷比是有机质组成和养分平衡的重要指标。相关研究表明土壤 C : N 可以指示土壤生物分解过程中碳氮关系,当 C : N 小于 25 : 1 时,有机质的腐殖化程度高<sup>[14]</sup>,分解速率增加,滦河口湿地碳氮比均值为 14.19,说明研究区土壤碳氮比相对较低,有机质分解快,硝酸盐淋溶风险高,加之研究区剧烈的水文交互作用,植物归还的养分及植物残体会被冲刷入海,导致滦河口湿地碳氮比较低。C : N 还可以表征土壤有机质为陆源还是海源,当土壤 C : N 小于 8 时为海源有机质,C : N 大于 12 时为陆源有机质<sup>[11]</sup>,滦河口湿地的有机质主要来源于陆源。近年来滦河口湿地人类活动影响加大,天然异质性降低,植被覆盖

率降低,呈分散状态分布<sup>[15]</sup>,生物量低,储碳能力降低,植物体的 C : P 可以反映植物体的养分利用效率<sup>[16-17]</sup>,研究区域植物群落 C : P 均较同类生态系统低,且低于全球平均水平 232,说明滦河口湿地植被的营养利用效率较低。土壤 N : P 在一定程度上间接预测群落养分的供给性水平和限制性水平<sup>[8]</sup>,滦河口湿地的 N : P 为 0.34,表明氮是研究区的限制性营养元素,这与张友等<sup>[8]</sup>关于河口湿地生态化学计量特征的研究结果一致。

目前对于植物与土壤营养元素之间的相关关系还没有确切的结论。植物生长的矿物养分大部分来自土壤,但是不同元素在土壤中的含量受元素的生物

地球循环和土壤的理化性质的影响,也会使得营养元素含量在土壤和植物间的变化不一致。张森等<sup>[7]</sup>提出黄河三角洲土壤 N 与植物 N 含量相关性不显著;张亚亚<sup>[18]</sup>提出青藏高原区植物碳磷含量与土壤碳氮磷含量及其化学计量相关性均不显著。本研究中植物群落碳氮磷及其化学计量比与土壤化学计量比呈较弱的相关性,这与相关研究结论相似<sup>[7,18-20]</sup>。这可能由于土壤的含盐量、pH 值、含水率等影响,植物形成了不同的养分利用策略,其中土壤 pH 值是影响土壤养分有效性的重要因素,氮在 pH 值大于 8 时,土壤硝化作用受到抑制,磷在 pH 值高于 7.5 的土壤中,易形成磷酸二氢钙,削弱了土壤养分的有效性,研究区 pH 值为 6.9~8.5,氮含量受潮汐作用、酸碱度的影响,波动较大,土壤磷含量相对稳定,但有效磷低,导致营养元素在土壤和植物间的变化不一致。

## 4 结论

(1) 不同植物群落—土壤养分含量存在一定差异,研究区植物群落地上部分和地下部分养分含量均表现为  $C > N > P$ ,氮磷呈正相关;土壤碳含量为  $(3.8 \pm 0.44) \sim (10.52 \pm 0.6) \text{ g/kg}$ ,芦苇群落含量最高;土壤氮含量为  $(0.29 \pm 0.12) \sim (0.11 \pm 0.21) \text{ g/kg}$ ,芦苇群落含量最高;土壤磷含量为  $(0.99 \pm 0.27) \sim (2.24 \pm 0.51) \text{ g/kg}$ ,怪柳群落含量最高。研究区碳氮含量均低于全国湿地养分含量的平均水平,总体表现为养分含量较低。

(2) 研究区植物群落  $C:N$ ,  $C:P$  均比同类生态系统低,植物的同化能力和养分元素循环利用率均较低,属于低输入型湿地;氮是滦河口湿地植物群落生长的限制营养元素,因此,增加该地区土壤有机质归还,减少氮素损失,可促进湿地植被的恢复。

(3) 研究区植物(库)—土壤(源)之间养分相关性较弱,表现出与土壤不完全同步的变化形式,说明滨海湿地氮磷化学计量格局还与环境等因素有关,植物与土壤间不同营养元素含量关联特征还有待于进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 毕建华,苏宝玲,于大炮.辽东山区不同森林类型生态化学计量特征[J].生态学杂志,2017,36(11):3109-3115.
- [2] 饶丽仙,沈艳,聂明鹤.宁夏典型草原不同退耕年限草地植物—土壤生态化学计量特征[J].草业学报,2017,26(4):43-52.
- [3] 王晓光,乌云娜,宋彦涛.土壤与植物生态化学计量学研

- 究进展[J].大连民族大学学报.2016,18(5):437-442.
- [4] 王维奇,徐玲琳,曾从盛.河口湿地植物活体—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征[J].生态学报,2011,31(23):7119-7124.
- [5] 朱俊瑾,朱新萍,韩东亮.新疆巴音布鲁克高寒湿地植物—土壤碳氮化学计量特征[J].新疆农业大学学报,2017,40(1):53-59.
- [6] 肖烨,商丽娜,黄志刚.吉林东部山地沼泽湿地土壤碳、氮、磷含量及其生态化学计量学特征[J].地理科学,2014,34(8):994-1001.
- [7] 张森,刘福德,刘庆.黄河三角洲不同湿地群落氮磷化学计量特征及其生境适应策略[J].生态学杂志,2015,34(11):2983-2989.
- [8] 张友,徐刚,高丽.黄河三角洲新生湿地土壤碳氮磷分布及其生态化学计量学意义[J].地球与环境,2016,44(6):441-450.
- [9] Tian H, Chen G, Zhang C. Pattern and variation of  $C:N:P$  ratios in China's soils: a synthesis of observational data[J]. Biogeochemistry, 2010,98(1/3):139-151.
- [10] 张仲胜,吕宪国,薛振山.中国湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征研究[J].土壤学报,2016,53(5):1160-1169.
- [11] 王维奇,全川,贾瑞霞.不同淹水频率下湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征[J].水土保持学报,2010,24(3):238-242.
- [12] 张聪伟,朱琴,刘春原.滦河入海口三角洲地区地下水及土壤盐度分析[J].人民长江,2017,48(15):17-20.
- [13] 刘长发,苑静涵,刘远.双台河口翅碱蓬生长与根、茎、叶碳、氮的分配[J].生态学报,2017,37(16):5492-5503.
- [14] 宋晓林,吕宪国,张仲胜.双台子河口湿地不同植物群落土壤营养元素及含盐量研究[J].环境科学,2011,32(9):2632-2638.
- [15] 时玉涛,温海燕,乔光建.人类活动对滦河口湿地生态环境影响分析[J].南水北调与水利科技,2011,9(3):124-128.
- [16] 邢雪荣,韩兴国,陈灵芝.植物养分利用效率研究综述[J].应用生态学报,2000,11(5):785-790.
- [17] 江大龙,徐侠,阮宏华.植物养分重吸收及其影响研究进展[J].南京林业大学学报:自然科学版,2017,41(1):183-188.
- [18] 张亚亚.青藏高原植物—土壤碳氮磷化学计量特征及其对环境因子的响应[D].天津:天津师范大学,2017.
- [19] 李婷,邓强,袁志友.黄土高原纬度梯度上的植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征[J].环境科学,2015,36(8):2988-2996.
- [20] 丁小慧,罗淑政,刘金巍.呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化[J].生态学报,2012,32(11):3467-3476.