

刘 洋,潘国浩,付 强,等. 盐城市滨海滩涂围垦区农作物氮、磷累积特征[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):385-389.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.112

盐城市滨海滩涂围垦区农作物氮、磷累积特征

刘 洋¹,潘国浩¹,付 强¹,高 军²,章嘉晴¹,崔立强¹,张莹莹¹,崔永平³

(1. 盐城工学院环境科学与工程学院/江苏省环境保护海涂生态与污染控制重点实验室,江苏盐城 224051;

2. 环境保护部南京环境科学研究所,江苏南京 210042; 3. 国家海洋局宁波海洋环境监测中心站,浙江宁波 315000)

摘要:为探明滨海滩涂围垦区农作物氮、磷累积特征,采集了江苏省盐城市不同围垦年代耕地春秋两季 8 种主要农作物样品,分析了农作物不同器官氮、磷、粗蛋白含量以及氮、磷化学计量特征。结果表明:盐城市滩涂围垦区耕地农作物氮含量偏低,磷含量略高,氮磷比相对较低,需要适当补充氮素;不同围垦年代耕地同类作物氮、磷、粗蛋白含量和氮磷比均没有明显差异,农作物氮、磷累积与滩涂围垦时间关系不大;农作物根部氮、磷含量呈极显著正相关,而茎叶、籽粒的氮、磷含量相关性均不显著。

关键词:盐城市;滨海;滩涂;围垦;氮;磷;粗蛋白

中图分类号: S14 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0385-05

江苏省盐城市拥有全国最大的平原淤泥质滩涂,该地区已有数千年的围垦历史。通过围垦形成大片耕地,成为我国重要的后备耕地资源^[1]。滩涂围垦后的耕地具有土体发育不明显、理化性状差、肥力水平低下等特点,可能对农作物养分吸收分配、污染物累积分布等产生影响^[2]。氮、磷等养分含量在一定程度上可以反映作物生理生化状况、土壤养分供给能力,与作物产量也有一定相关性^[3],且可作为对植物营养化学过程进行初步诊断的指标^[4]。目前有关围垦耕地土壤性质及其污染物与作物关系已有大量研究^[1,5-6],但关于其主要农作物氮、磷养分累积特征的研究尚未见报道。研究围垦耕地农作物氮、磷累积特征有助于进一步了解滩涂围垦导

致的环境效应以及对农作物产量、品质的影响。本研究通过野外采样、室内分析,调查了盐城市滩涂围垦区主要农作物氮、磷含量、分布和化学计量特征,旨在为滩涂围垦耕地水肥管理,提升农作物产量、质量提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

分别于 2011 年 10 月、2012 年 5 月对盐城市滨海滩涂围垦区秋季作物、春季作物进行采集,所采样品均为收获期作物。为消除耕作方式、种间等差异的影响,采样时进行充分的现场调研与鉴定:各采样点同种作物的耕作方式、养分供应情况等基本相同;采集同类农作物品种,大豆为黑脐王,菊花为杭白菊,水稻为淮稻 5 号,玉米为济单 7 号,大麦为苏啤 3 号,小麦为郑麦 9023,油菜为秦油 10 号,蚕豆为启豆 2 号。采样点信息与围垦年代见表 1。在各采样点随机采集足量样品,采集整株作物,根部采集范围约 20 cm × 20 cm × 20 cm (长 × 宽 × 深),将作物分为籽粒(菊花为花朵)、茎叶、根部 3 个部分,洗净、风干、粉碎保存待测。

1.2 指标测定

采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解样品,采用凯氏定氮法测定全氮含量,采用钒钼黄比色法测定全磷含量^[7-8],分析仪器分别为

收稿日期:2015-03-12

基金项目:国家自然科学基金(编号:41301551);江苏省自然科学基金(编号: BK20130426);盐城工学院人才引进项目(编号: kjc2012020、kjc2012021);江苏省大学生创新创业训练计划(编号: 2014065、2015054);公益性行业(环保)科研专项(编号: 201209028)。

作者简介:刘 洋(1982—),女,山东临沂人,博士,主要从事滩涂污染生态学研究。E-mail: ly2002wo20@126.com。

通信作者:付 强,博士,副教授,主要从事滩涂生物地球化学研究。E-mail: fuqiangaa1@126.com。

[17] Yao H, He Z, Wilson M J, et al. Microbial biomass and community structure in a sequence of soils with increasing fertility and changing land use[J]. Microbial Ecology, 2000, 40(3): 223-237.

[18] 杜 静. 不同种植年限果园土壤理化性质与酶活性研究[D]. 临汾:山西师范大学,2013:26-27.

[19] Krajewska B, Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: a review [J]. Journal of Molecular Catalysis B. Enzymatic, 2009, 59(s1-3): 9-21.

[20] 樊 军,郝明德. 长期施用化肥对黑垆土酶活性影响[J]. 土壤肥料, 2003(5): 34-37.

[21] 庞 欣,张福锁,王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 476-

480.

[22] Leprince F, Quinquempoix H. Extracellular enzyme activity in soil: effect of pH and ionic strength on the interaction with montmorillonite of two acid phosphatases secreted by the ectomycorrhizal fungus hebeloma cylindrosporum [J]. European Journal of Soil Science, 1996, 47(4): 51-52.

[23] 耿玉清,白翠霞,赵广亮,等. 土壤磷酸酶活性及其与有机磷组分的相关性[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(增刊2): 139-143.

[24] 陈永亮,李修岭,周晓燕. 低磷胁迫对落叶松幼苗生长及根系酸性磷酸酶活性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(6): 46-50.

表 1 农作物采样信息

作物类型	采样点位置	农作物种类	围垦年代
秋季作物	33°44'25.75"N,120°27'10.35"E	大豆、菊花、水稻、玉米	1949—1959 年
	33°43'11.19"N,120°24'05.22"E	大豆、菊花、水稻、玉米	
	33°35'05.87"N,120°29'17.72"E	大豆、菊花、玉米	
	33°33'36.99"N,120°28'38.68"E	菊花、玉米	
	33°25'37.46"N,120°34'49.98"E	大豆、菊花、水稻、玉米	
	33°28'46.71"N,120°35'02.91"E	大豆、菊花、水稻、玉米	1970—1979 年
	33°48'53.44"N,120°22'21.94"E	大豆、菊花、水稻、玉米	
	33°49'43.62"N,120°27'58.23"E	大豆、菊花、水稻、玉米	
	33°38'22.81"N,120°29'32.78"E	大豆、菊花、水稻、玉米	
	33°38'45.13"N,120°31'43.74"E	大豆、菊花、水稻、玉米	
	33°48'02.94"N,120°27'32.64"E	大豆、菊花、水稻、玉米	1980—1989 年
	33°45'44.84"N,120°26'12.03"E	大豆、菊花、水稻、玉米	
	33°31'51.46"N,120°30'14.57"E	大豆、菊花、水稻、玉米	
	33°31'31.25"N,120°31'40.98"E	大豆、菊花、水稻、玉米	
	33°43'19.03"N,120°23'53.77"E	油菜、大麦、小麦、蚕豆	
春季作物	33°43'59.13"N,120°25'15.30"E	油菜、大麦、小麦	1949—1959 年
	33°25'59.87"N,120°35'07.56"E	油菜、大麦、小麦、蚕豆	
	33°34'16.46"N,120°28'06.00"E	油菜、大麦、小麦	
	33°36'29.24"N,120°29'22.84"E	油菜、大麦、小麦、蚕豆	
	33°29'35.60"N,120°33'44.09"E	油菜、大麦、小麦、蚕豆	
	33°49'58.54"N,120°26'00.61"E	油菜、大麦、蚕豆	1970—1979 年
	33°49'08.76"N,120°22'37.22"E	油菜、大麦、小麦、蚕豆	
	33°38'10.29"N,120°29'27.58"E	大麦、小麦、油菜	
	33°39'12.16"N,120°30'22.22"E	油菜、大麦、小麦、蚕豆	
	33°45'31.51"N,120°25'00.19"E	油菜、大麦、小麦、蚕豆	
	33°48'10.05"N,120°27'01.07"E	油菜、大麦	1980—1989 年
	33°31'45.12"N,120°31'45.36"E	油菜、大麦、小麦、蚕豆	
	33°31'51.46"N,120°30'14.57"E	油菜、大麦、小麦、蚕豆	

VELP 型自动凯氏定氮仪和 TU-1901 双光束紫外可见分光光度计。粗蛋白含量采用氮-蛋白质转换系数进行计算^[9],转换系数如下:大豆、菊花、玉米、蚕豆为 6.25,水稻为 5.95,大麦、小麦为 5.83,油菜为 5.30。氮、磷化学计量特征采用全氮、全磷摩尔比(N/P)表示。

1.3 统计方法

采用 Origin 7.5、SAS JMP 7.0 软件对数据进行分析 and 作图;采用 Mann-Whitney U 法进行非参数检验;采用 Pearson (two-tailed)法进行相关分析,α=0.05。

2 结果与分析

2.1 滩涂围垦耕地农作物氮、磷、粗蛋白含量

如图 1 所示,滩涂围垦耕地成熟期农作物氮含量为 0.22%~4.58%。各作物氮含量平均值分别为:大豆(2.05±1.22)%、菊花(1.38±0.19)%、水稻(1.15±0.12)%、玉米(1.34±0.16)%、大麦(1.12±0.53)%、小麦(0.89±0.51)%、油菜(1.49±0.91)%、蚕豆(2.13±0.94)%。就整株而言,蚕豆氮含量最高,而小麦氮含量最低,整株氮含量表现为蚕豆≈大豆>油菜≈菊花≈玉米>水稻≈大麦>小麦(U 检验)。就籽粒而言,氮含量则表现为大豆>蚕豆>油菜≈大麦≈玉米≈小麦≈菊花≈水稻(U 检验),油料作物籽粒含氮量明显高于粮食作物,而粮食作物籽粒氮含量间差异不明显。除菊花外,不同作物各器官氮含量均表现为籽粒>

茎叶>根(U 检验)。

围垦耕地成熟期农作物整株磷含量为 0.12%~1.39%。各作物磷含量平均值分别为:大豆(0.79±0.24)%、菊花(0.92±0.19)%、水稻(0.89±0.23)%、玉米(0.91±0.18)%、大麦(0.51±0.23)%、小麦(0.61±0.25)%、油菜(0.63±0.23)%、蚕豆(0.64±0.19)%。菊花最高,而大麦最低,整株磷含量表现为菊花≈玉米≈水稻≈大豆>蚕豆≈油菜≈小麦>大麦。籽粒磷含量表现为菊花≈玉米>水稻≈蚕豆≈油菜>大豆≈小麦≈大麦,菊花和玉米籽粒磷含量相对较高,而大麦、小麦相对较低。不同作物各器官磷含量均表现为根≈籽粒>茎叶。

围垦耕地成熟期农作物整株粗蛋白含量为 1.17%~28.63%。各作物粗蛋白含量平均值分别为:大豆(12.80±7.64)%、菊花(8.64±1.20)%、水稻(6.86±0.73)%、玉米(8.42±1.03)%、大麦(6.55±3.06)%、小麦(5.18±2.97)%、油菜(7.90±4.80)%、蚕豆(13.30±5.85)%。蚕豆最高,小麦最低,整株粗蛋白含量表现为蚕豆≈大豆>菊花≈玉米≈油菜≈水稻≈大麦>小麦。籽粒粗蛋白含量则表现为大豆>蚕豆>油菜>玉米≈大麦≈小麦≈菊花>水稻,豆类籽粒粗蛋白含量较高,而菊花、水稻相对较低。除菊花外,作物各器官粗蛋白含量均表现为籽粒>茎叶>根。

2.2 不同围垦年代耕地农作物籽粒氮、磷、粗蛋白含量

不同围垦年代耕地农作物籽粒全氮、全磷、粗蛋白含量如

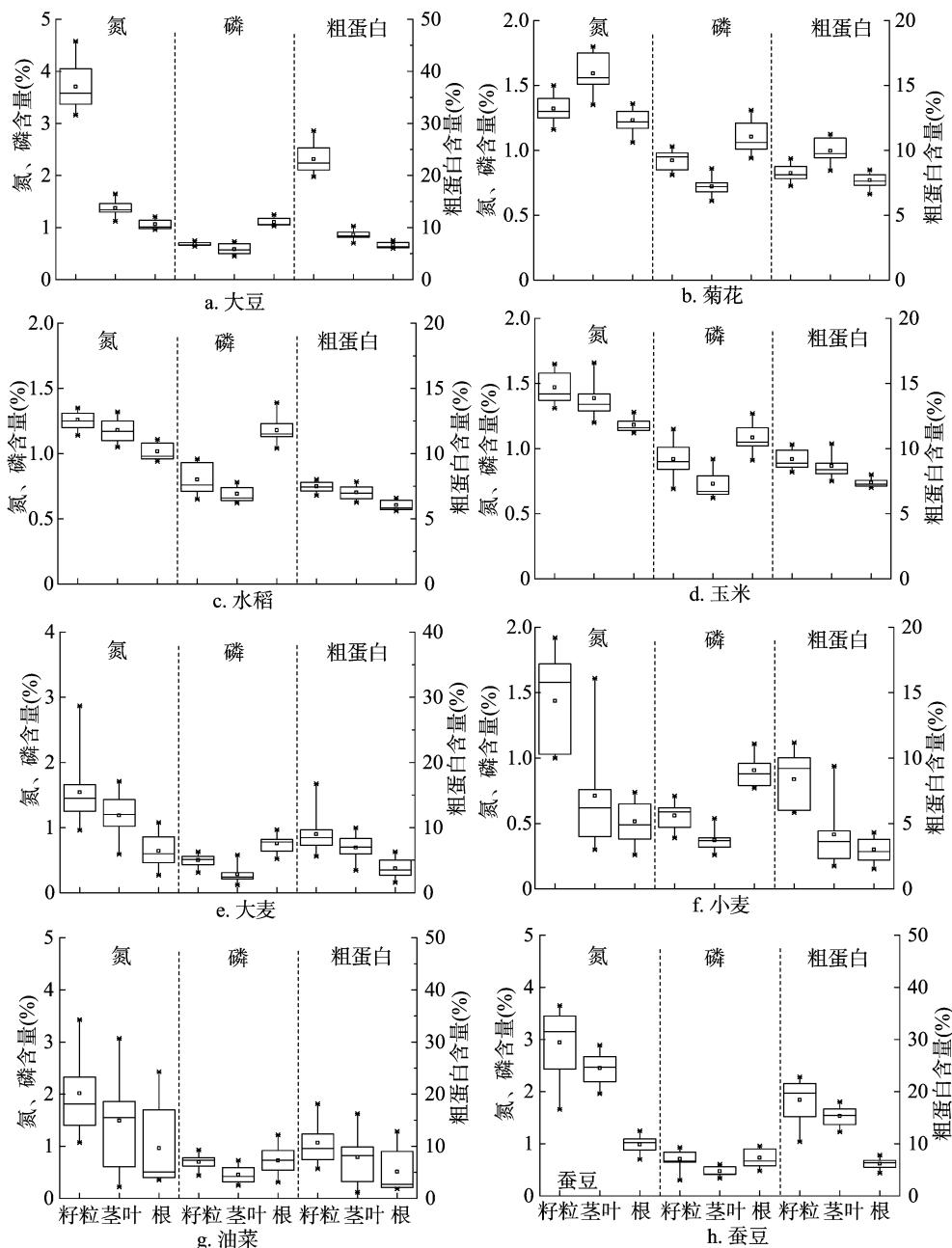


图1 滩涂围垦耕地农作物氮、磷、粗蛋白含量

图2所示。统计显示,不同围垦年代耕地中,同种作物全氮、全磷、粗蛋白含量均无显著差异;随着围垦年代增加,作物全氮、全磷、粗蛋白含量变化也没有呈现明显的规律性。

2.3 滩涂围垦耕地农作物氮、磷化学计量特征

如表2所示,滩涂围垦耕地各作物籽粒氮磷比(N/P)为3.20~12.00,大豆最高,菊花最低,豆类作物显著高于其他作物。除大豆外,其他作物N/P均表现为根<籽粒<茎叶,而大豆则表现为根<茎叶<籽粒。

2.4 不同围垦年代耕地农作物籽粒氮磷比

由图3可见,与氮、磷、粗蛋白含量类似,不同围垦年代耕地中,同种作物N/P均无明显差异;随着围垦年代增加,作物N/P变化也没有呈现明显的规律性。

2.5 农作物氮、磷、N/P间的相关分析

滩涂围垦耕地农作物氮、磷、N/P的Pearson相关分析见表3。由表3可见,作物根部氮、磷含量呈极显著正相关($r = 0.62, P < 0.001$),而茎叶和籽粒中氮、磷含量相关性不显。各器官和整株氮含量与N/P均呈极显著正相关,而磷含量与N/P均存在显著或极显著负相关。与磷含量相比,氮含量与N/P的相关系数更高,表明该地区作物N/P对氮含量的依存度更大。

3 结论与讨论

氮、磷是作物机体最重要的营养元素之一,其含量能够反映作物生长特点,并与作物产量、质量相关^[3],且可作为对植物营养化学初步诊断的指标^[5]。作物机体氮、磷含量与作物品种、土壤质量、养分供应、耕作方式等密切相关^[10-11]。很多

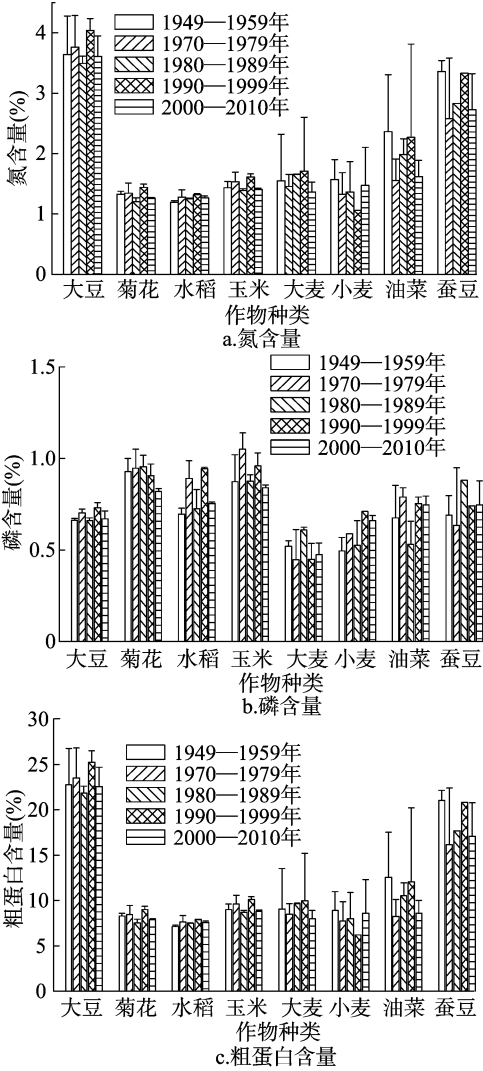


图2 不同围垦年代耕地农作物籽粒氮、磷、粗蛋白含量

表2 滩涂围垦耕地农作物氮磷比

部位	N/P							
	大豆	菊花	水稻	玉米	大麦	小麦	油菜	蚕豆
籽粒	12.00 ± 1.30Aa	3.20 ± 0.29Ab	3.53 ± 0.38Aa	3.58 ± 0.37Aa	7.08 ± 2.79Aa	4.09 ± 1.44Aa	6.58 ± 2.59Aa	9.53 ± 2.02Aa
茎叶	5.34 ± 0.91Bb	4.90 ± 0.38Ba	3.79 ± 0.28Aa	4.24 ± 0.35Bb	9.43 ± 3.81Aa	4.36 ± 2.15Aa	8.40 ± 5.70Aa	11.75 ± 2.39Bb
根	2.14 ± 0.12Cc	2.47 ± 0.21Bb	1.92 ± 0.11Bb	2.43 ± 0.18Cc	1.92 ± 0.75Bb	1.28 ± 0.42Bb	2.96 ± 1.92Bb	3.09 ± 0.72Cc

注:同列数据后不同大写、小写字母分别表示在0.01、0.05水平上差异显著。

国内外学者已对作物体内氮、磷含量进行了调查,研究显示,作物含氮量一般为0.3%~5.0%,因作物种类、测定部位、生长时期、施肥管理水平不同而异,如大豆籽粒含氮量为5.36%,茎秆为1.75%;小麦籽粒含氮量为2.20%~2.50%,而茎秆中含氮量很少,只有0.50%左右;水稻籽粒含氮量为1.31%,茎秆含氮量约为0.51%^[7],通常作物根部氮含量相对较低,而籽粒中含量较高^[12],这与本研究结果基本一致。农作物磷含量一般为0.05%~0.50%,普遍认为农作物磷含量在0.2%~0.5%范围内属正常,但由于农作物种类、生长时期、施肥管理水平不同而有差异,通常水稻含磷量为0.15%~0.30%,棉花为0.14%~0.80%,玉米为0.25%~0.40%。与以往研究结果相比,本研究中滨海滩涂围垦区农作物氮含量相对偏低,而磷含量略高,这可能与围垦耕地土壤(主要为盐土、潮土)氮含量相对贫乏、磷含量相对正常有关^[13-15]。

农作物N/P是养分供应状况的指标^[16-17],通过作物组织中N/P化学计量特征可以反映作物对氮、磷的相对利用率,进而预测氮、磷亏缺状况^[18]。与以往研究^[19-21]相比,盐城市滩涂围垦区农作物N/P相对较低,同样表明该地区植物可能主要受到氮的限制。张博等指出,盐城市滩涂围垦区土壤氮含量较为缺乏,建议适当补充氮肥^[22],这与本研究结果基本一致。因此为提高农产品产量、质量,建议盐城市滩涂围垦地区适当补充氮素。

土壤空间异质性是植被异质性的基础^[2,23-24]。经过不同年代的滩涂围垦和耕作,其土壤性质可能会发生明显变化^[6],在施肥等人影响下,通常表现为随围垦时间延长磷含量增加^[25];由于氮存在反硝化等作用,氮含量随围垦时间的变化较为复杂,通常低于磷含量增加幅度^[26],从而导致作物氮含量和N/P偏低的结果。此外研究发现,盐城市滩涂围垦区不同围垦年代土壤氮、磷含量在人类大量施肥等外部因素和反硝化等内部作用影响下,并没有出现明显异质变化。

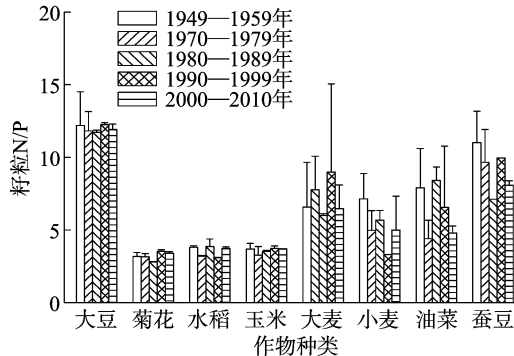


图3 不同围垦年代耕地农作物籽粒氮磷比

表3 滩涂围垦耕地农作物氮、磷、N/P的Pearson相关分析

指标	部位	相关系数		
		N含量	P含量	N/P
氮含量	籽粒(n=103)		-0.02	0.88***
	茎叶(n=103)		0.11	0.66***
	根(n=103)		0.62***	0.73***
	整株(n=309)		-0.09	0.77***
磷含量	籽粒(n=103)	-0.02		-0.44***
	茎叶(n=103)	0.11		-0.59***
	根(n=103)	0.62***		-0.24*
	整株(n=309)	-0.09		-0.59***

注:“*”“***”分别表示在0.05、0.001水平上显著相关。

研究显示,不同围垦年代土壤磷含量为 0.057% ~ 0.081%,氮含量为 0.03% ~ 0.12%,各垦区之间差异不显著(未发表数据),这可能是导致不同围垦年代耕地农作物氮、磷含量和 N/P 均没有显著差异的原因之一。

氮、磷吸收与累积是农作物形成产量、提高质量的重要基础。农作物在生长过程中,根系吸收的氮素、磷素在满足自身生长需求的同时,还将大部分氮素、磷素运输至地上部还原同化,用于器官建成和产量形成^[27]。本研究显示,在盐城市滩涂围垦区,不同作物各器官氮含量均表现为籽粒 > 茎叶 > 根,而磷含量均表现为根 ≈ 籽粒 > 茎叶,与以往研究结果^[28-30]基本一致。除大豆外,其他作物 N/P 均表现为根 < 籽粒 < 茎叶,而大豆则表现为根 < 茎叶 < 籽粒。表明在将氮素、磷素运输至地上部还原同化时,氮、磷累积速率并不相同^[31],向茎叶累积过程中,氮累积明显超过磷;而再向籽粒累积过程中,磷累积明显高于氮。大豆则始终表现为氮累积快于磷。氮、磷在不同器官中的相关性同样表明作物地上部氮、磷吸收的差异。

本研究表明:盐城市滩涂围垦区耕地农作物氮含量偏低,磷含量略高,N/P 相对较低,需要适当补充氮素;不同围垦年代耕地同类作物氮、磷、粗蛋白含量和 N/P 均没有明显差异,农作物氮、磷累积与滩涂围垦时间关系不大;农作物根部氮、磷含量呈极显著正相关,而茎叶、籽粒的氮、磷含量相关性均不显著。

参考文献:

- [1] 欧维新,杨桂山,李恒鹏,等. 苏北盐城海岸带景观格局时空变化及驱动力分析[J]. 地理科学,2004,24(5):610-615.
- [2] 金雯晖,杨劲松,王相平. 滩涂土壤有机碳空间分布与围垦年限相关性分析[J]. 农业工程学报,2013,29(5):89-94,294.
- [3] Leigh R A,Johnson A E. Nitrogen concentration in field grown spring barely:an examination of the usefulness of expressing concentration on the basis of tissue[J]. Water Journal of Agricultural Science,1985,105(10):397-406.
- [4] Oemldson C M. Plant analysis as an aid in fertilizing vegetable crop [M]. Wisconsin,USA:Soil Sci Soc Amer,1990:365-379.
- [5] 付红波,李取生,骆承程,等. 珠三角滩涂围垦农田土壤和农作物重金属污染[J]. 农业环境科学学报,2009,28(6):1142-1146.
- [6] 毛志刚,谷孝鸿,刘金娥,等. 盐城海滨盐沼湿地及围垦农田的土壤质量演变[J]. 应用生态学报,2010,21(8):1986-1992.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000.
- [8] NY/T 2017—2011 植物中氮、磷、钾的测定[S]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [9] GB 5009.5—2010 食品中蛋白质的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [10] Walley F,Yates T,Groenigen J W,et al. Relation ships between soil nitrogen availability indices, yield, and nitrogen accumulation of wheat[J]. Soil Science Society of America Journal,2002,66(5):1549-1561.
- [11] 徐祥玉,张敏敏,翟丙年,等. 不同夏玉米品种生育后期干物质及氮素积累分配的研究[J]. 西北植物学报,2006,26(4):772-777.
- [12] 贾庆宇,周广胜,周莉,等. 湿地芦苇植株氮素分布动态特征分析[J]. 植物生态学报,2008,32(4):858-864.
- [13] Verhoeven J A,Koerselman W,Meuleman A M. Nitrogen - or phosphorus - limited growth in herbaceous, wet vegetation:relations with atmospheric inputs and management regimes[J]. Trends in Ecology and Evolution,1996,11(12):494-497.
- [14] 廖启林,金洋,黄顺生,等. 江苏省耕作层土壤磷素分布特征初步研究[J]. 中国地质,2006,33(6):1411-1417.
- [15] 张辉,王绪奎,许建平,等. 江苏省不同农区土壤碳氮分布特征及其影响因素[J]. 江苏农业学报,2014,30(5):1028-1036.
- [16] 邬畏. 土壤氮/磷比对植物影响的初步研究[D]. 天津:南开大学,2010.
- [17] Shaver G R,Chapin F S. Long - term responses to factorial N P K fertilizer treatment by Alaskan wet and moist tundra sedge species [J]. Ecography,1995,18(3):259-275.
- [18] Gusewell S,Koerselman W,Verhoeven J T. Biomass N:P ratios as indicators of nutrient limitation for plant populations in wetlands[J]. Ecological Applications,2003,13(2):372-384.
- [19] 王绍强,于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报,2008,28(8):3937-3947.
- [20] 严正兵,金南瑛,韩廷申,等. 氮磷施肥对拟南芥叶片碳氮磷化学计量特征的影响[J]. 植物生态学报,2013,37(6):551-557.
- [21] 邬畏,何兴东,周启星. 生态系统氮磷比化学计量特征研究进展[J]. 中国沙漠,2010,30(2):296-302.
- [22] 张博,赵耕毛,刘兆普,等. 江苏滩涂围垦区土壤养分空间变异研究[J]. 江苏农业科学,2010(5):461-464.
- [23] 褚清河,潘根兴,李典有,等. 氮磷等比与以磷定氮条件下玉米的最大施肥量研究[J]. 土壤学报,2007,44(6):1083-1089.
- [24] Zhang L X,Bai Y F,Han X G. Differential responses of N:P stoichiometry of *Leymus chinensis* and *Carex korshinskyi* to N additions in a steppe ecosystem in Nei Mongol[J]. Acta Botanica Sinica,2004,46(3):259-270.
- [25] Li J,Pu L J,Zhu M,et al. Evolution of soil properties following reclamation in coastal areas:a review[J]. Geoderma,2014,226/227(4):130-139.
- [26] Fernández S,Santín C,Marquín J,et al. Saltmarsh soil evolution after land reclamation in Atlantic estuaries (Bay of Biscay, North coast of Spain) [J]. Geomorphology,2010,114(4):497-507.
- [27] 陈贵,陈莹,施卫明. 太湖地区主栽高产水稻的氮素利用特性[J]. 江苏农业学报,2013,29(5):928-937.
- [28] 沈玉芳,李世清,邵明安. 水肥空间组合对成熟期冬小麦各器官氮磷养分分配的影响[J]. 西北植物学报,2008,28(6):1188-1195.
- [29] 蒋高明,韩荣庄,孙建中. 闪电河流域 6 种农作物磷元素含量动态变化规律研究[J]. 植物生态学报,1995,19(4):329-336.
- [30] 邵云,赵院利,冯荣成,等. 耕层调控和有机物料还田对小麦产量及氮磷钾分配利用的影响[J]. 麦类作物学报,2013,33(1):117-122.
- [31] Niklas K J,Owens T,Reich P B,et al. Nitrogen/phosphorus leaf stoichiometry and the scaling of plant growth[J]. Ecology Letters,2005,8(6):636-642.