

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

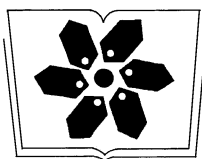
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 22 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征

韩春丽¹, 刘娟¹, 张旺锋^{1,*}, 刘梅², 黄皖疆³, 高旭梅¹, 张宏芝¹

(1. 石河子大学新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 石河子 832003; 2. 新疆生产建设兵团农一师 3 团农业技术推广中心, 阿克苏 843011;
3. 新疆生产建设兵团农一师 1 团农业技术推广中心, 阿克苏 843008)

摘要: 在新疆绿洲区, 对不同连作棉田土壤中 9 种矿质元素含量、棉花植株的吸收和富集特性以及棉田养分收支量等进行分析, 研究了农田土壤-棉花系统矿质元素的生物循环特征。结果表明: 棉田土壤中微量元素和大量元素均有一定程度的贫化趋势, 以 Mo 的耗竭最为严重。棉株不同器官累积矿质元素的能力有明显差异, 叶片中 Ca、Mg 和 Mn 的含量较高, 根、茎中 K、Na、Fe、Mo 含量较高, 棉籽中 Zn 和 Cu 含量最高; 不同产品器官对矿质元素的吸收和富集能力不同, 秸秆为: Mo > K > Mg > Ca > Cu > Zn > Na > Mn > Fe, 纤维: Mo > K > Mg > Zn > Cu > Ca > Na > Mn > Fe, 棉籽: Mo > Zn > K > Mg > Cu > Ca > Mn > Na > Fe。棉花对 Mo 的吸收能力最强, 长期连作导致土壤中 Mo 耗竭较为严重; 随籽棉的收获, 从棉田移出 Zn、Cu 的比例和数量较高, 大量元素中移出 Mg、K 较多; 棉花对 Mn、Fe、Ca、Na 的吸收量虽然较多, 然而大部分富集在秸秆中, 随着棉花秸秆的还田作用, 将归还于耕作层并有大量富集, 消耗量不大。新疆棉花长期单一种植, 应重点补充 Mo、Zn 和 Cu 微量元素肥料, 酌情补充 Mg、K 等大量元素肥料。棉田 Ca、Na 含量较新疆土壤背景低, 预示着棉田土壤在向着脱盐碱方向发展, 然而两元素在秸秆中的比例较高, 因此棉花长期连作农田, 应注意防止耕作层土壤向次生盐碱化方向发展。

关键词: 新疆绿洲; 土壤; 棉花; 矿质元素; 生物循环

Biocycling of nine mineral elements of soil-cotton system in Xinjiang oasis

HAN Chunli¹, LIU Juan¹, ZHANG Wangfeng^{1,*}, LIU Mei², HUANG Wanjiang³, GAO Xumei¹, ZHANG Hongzhi¹

1 The Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture Xinjiang Production and Construction Group, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832003, China

2 Agriculture Technology Extension Center of the First Agricultural Division Farm 3, Akesu 843011, China

3 Agriculture Technology Extension Center of the First Agricultural Division Farm 1, Akesu 843008, China

Abstract: We analyzed the contents of nine mineral elements in soil, the characteristics of absorption and accumulation of the mineral elements in cotton plants, and input-output quantity of the mineral elements in different continuous cropping cotton fields, and the object of this study was to explore the characteristics of biological cycling of mineral elements in soil-cotton system. The results showed that microelements and macroelements in soil of the cotton fields had leanness trend, especially Mo. Different organs of cotton plants had different ability to accumulate mineral elements. The higher contents of Ca, Mg and Mn in the leaves and K, Na, Fe and Mo in the roots and stems, and the highest contents of Zn and Cu in the cotton seeds were observed in the study. Different crop organs had different absorption and accumulation ability to mineral elements. The patterns of the absorption and accumulation ability of straw, Fibre, and cotton seed were Mo > K > Mg > Ca > Cu > Zn > Na > Mn > Fe, Mo > K > Mg > Zn > Cu > Ca > Na > Mn > Fe, and Mo > Zn > K > Mg > Cu > Ca > Mn > Na > Fe, respectively. The strong depletion of Mo in soil is caused by a long-term continuous cropping, and therefore cotton plants have the strongest absorption ability to Mo. Because cotton seeds are harvested, quantities and ratio of Zn and Cu have output much more, and thus Mg and K, as macroelements, also have higher output in the cotton fields. Cotton plants absorb a lot of Mn, Fe, Ca and Na, but they are most accumulated in the straws. When straws are turned to soil, the mineral

基金项目: 国家 973 计划前期研究专项课题(2006CB708401)

收稿日期: 2010-01-05; **修订日期:** 2010-07-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zwf_shzu@163.com, Zhwf_agr@shzu.edu.cn

elements in soil will be rich in the cotton fields. Cotton is solid-plantings for the long term in XinJiang, and therefore, it is often necessary to add some matures, which are rich in microelements, such as Mo, Zn and Cu and macroelements, such as Mg and K, to the soil. The contents of Ca and Na in Xinjiang background soil is higher than those in cotton soil. This indicates that cotton soil is developed to less salinization. However, the ratios of Ca and Na are higher in the straws of cotton plants, we should take measure to protect desalinization in continuous cropping in XinJiang.

Key Words: Xinjiang oasis; soil; cotton; mineral element; biological cycling

新疆是我国最重要的商品棉生产基地,棉花种植面积大,主要植棉区棉花面积占作物播种面积的比例达 60%—70%,个别地区甚至高达 80% 以上^[1-2],连作现象十分普遍。作物连作易引起养分亏缺或比例失衡而导致营养障碍^[3-4];长期以来,新疆棉花施肥管理中偏重氮、磷肥的使用,较少施用钾肥,不施或盲目施用微量元素肥料;目前新疆棉区钾及部分微量元素养分已逐渐成为棉田土壤养分的限制因子或潜在限制因子^[5]。因此,维持土壤矿质养分的平衡,达到系统外投入与作物和土壤库之间的良性养分循环,不仅是绿洲棉花安全生产的基础,也是绿洲农业持续发展的保证。

土壤-植物系统矿质元素的生物循环是陆地生态系统物质流动的主要形式之一^[6],植物通过选择性吸收,将土壤中各种矿质元素储存于植株各组织器官内,最终一部分随着产品的收获从土壤中移出,另一部分以凋落物和死亡根的形式归还土壤,构成了土壤-植物系统矿质元素的生物循环,这一循环过程不仅能增加土壤腐殖质,补充土壤养分,亦可提高元素的生物有效性,维持土壤养分的良性循环^[7],其研究和利用一直为生态学者所关注^[8-15]。然而以往的研究多见于对森林、草地等自然生态系统养分循环以及作物系统中化肥施用条件下, N、P、K 等大量元素循环和平衡的报道^[8-9,12-20]。作物系统作为人工生态系统,其初级生产物大部分输出于系统之外,矿质养分长期不补充,必然使系统入不敷出^[10-11]。因此,如何合理补充自然归还部分的不足,对于作物的持续生产具有重要意义。新疆棉区长期全面实行棉花秸秆还田,秸秆还田率达 95% 以上^[21],作物秸秆富含各种养分和生理活性物质,秸秆还田对保持良好的土壤结构,增加土壤有机质和养分含量起到了积极的作用^[22-23]。本研究针对新疆绿洲农田棉花大面积长期单一种植以及全面采取秸秆还田的用养地特点,选择新疆重要植棉区,对棉田土壤中 9 种矿质元素的变化及棉花不同器官对元素的吸收和富集特点进行分析,探讨农田生态系统中棉花长期单一种植矿质养分的生物循环特征,旨在明确绿洲棉田矿质元素养分消耗特征,预测棉田营养状况和养分供需量变化规律,从而为确定合理施肥制度,提高棉田生产力以及维持新疆棉田土壤可持续利用和棉花优质高效生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于新疆塔里木河上游、塔克拉玛干大沙漠西北边缘的沙井子垦区,属暖温带极端大陆性干旱荒漠气候,全年干旱少雨,夏季高温,蒸发强烈,年平均降水量 40—80mm,蒸发量 1870—2560mm,光照资源丰富,全年日照时数 2565—1992h,日照百分率 58%—67%,是新疆最适宜植棉的地区之一,也是重要的长绒棉产区,棉花常年播种面积占农作物总播种面积 70% 以上^[2,24]。该垦区 3 个植棉农场属新疆生产建设兵团农一师管辖。本研究选择 2 个较大的团场农一师 1 团、农一师 3 团进行。1 团(E79°48′—79°61′, N40°32′—40°51′)土壤成土母质系天山岩石风化洪积性红土母质,质地以粘土、重壤土为主,3 团(E79°22′—82°00′, N40°20′—41°30′),土壤由喀什噶尔河冲积物和风积物共同沉积而成,成土母质一般为洪积、冲积、风积三相作用而成,质地以砂壤土为主。

1.2 取样方法

土壤采样在试验条田整地施肥前进行,样地分别选自 5—30a 不等的连续植棉条田共 11 块,分布于 2 团场的 4 个连队,样地类型基本代表了垦区生产中普遍存在的各种条田利用状态。每块条田中取 3 个样方,样

方面积不小于 1hm²,在各样方中采用 5 点取样法采集耕层混合土样,剔除石砾和植物残根等杂物,风干过 0.149mm 筛备用。棉花植株样品于收获期进行采集,在对应条田的各样方中随机抽取连续生长的棉株 10—15 株,对每株样品详细记载植株性状后,将植株的根、茎、叶、铃壳和籽棉分开,烘干后粉碎备用。

1.3 测定方法

土壤和植株样品分别用 HNO₃-HCl-HF, HNO₃-H₂O₂ 完全消解酸体系, Milestone Ethos 微波消解仪消煮,用 ICP-OES6000 测定 Mo、Cu、Zn、Mn 等 4 种微量元素和 Fe、K、Mg、Ca、Na 等 5 种大量元素的含量^[25]。

1.4 数据分析

棉花秸秆、棉籽、纤维 3 种不同器官的生物吸收系数(BAC)分别为各器官中矿质元素含量与棉田土壤耕作层元素含量之比^[26],即 $BAC = M_{\text{器官}}/M_{\text{土壤}}$;其中,棉花秸秆中矿质元素含量($M_{\text{秸秆}}$)的计算公式为: $M_{\text{秸秆}} = M_{\text{根}} \times 10\% + M_{\text{茎}} \times 45\% + M_{\text{叶}} \times 20\% + M_{\text{铃壳}} \times 25\%$,公式中根、茎、叶及铃壳等秸秆组成部分的重量比例数据来源于本课题组多年对棉花干物质研究的结果。棉籽和纤维中矿质元素含量($M_{\text{棉籽}}$ 、 $M_{\text{纤维}}$)以及土壤耕作层元素含量($M_{\text{土壤}}$)均为实测值。

2 结果与分析

2.1 棉田土壤矿质元素含量状况

将棉田土壤中 9 种元素含量与当地土壤元素背景值进行比较可以看出(表 1),在 4 种微量元素中,棉田

表 1 棉田土壤中矿质元素含量
Table 1 Total content of mineral elements in cotton field soil

试验单位 Experiment site	样点号 No.	微量元素 Microelements /(mg/kg)			
		Mo	Cu	Zn	Mn
1 团 Farm 1	1	0.54 ±0.06	29.1 ±1.2	75.8 ±1.0	657.4 ±29.2
	2	0.18 ±0.09	25.0 ±1.4	74.7 ±1.3	622.8 ±17.0
	3	0.26 ±0.08	30.2 ±1.1	77.3 ±1.0	641.6 ±13.4
	4	0.54 ±0.10	27.9 ±1.2	77.1 ±0.9	651.5 ±20.9
1 团土壤元素背景值 Background value of soil element in farm 1		1.23 ±0.09	32.4 ±1.1	79.5 ±3.7	686.3 ±15.4
3 团 Farm 3	5	0.40 ±0.05	18.1 ±0.5	46.5 ±1.7	485.7 ±12.8
	6	0.20 ±0.04	17.0 ±0.8	45.5 ±1.9	506.4 ±10.9
	7	0.06 ±0.04	14.8 ±0.9	44.5 ±1.3	481.8 ±11.4
	8	0.25 ±0.05	17.1 ±1.1	47.4 ±2.5	503.8 ±16.5
	9	0.30 ±0.05	18.9 ±0.7	50.5 ±1.1	514.0 ±8.6
	10	0.38 ±0.03	18.6 ±0.1	49.2 ±1.7	496.3 ±7.9
	11	0.17 ±0.03	15.6 ±0.5	42.9 ±1.3	496.4 ±10.1
3 团土壤元素背景值 Background value of soil element in farm 3		0.85 ±0.13	22.1 ±1.2	58.8 ±6.3	550.1 ±14.7

试验单位 Experiment Site	样点号 No.	大量元素 Macroelements /(g/kg)				
		Fe	Mg	K	Ca	Na
1 团 Farm 1	1	26.8 ±0.5	11.7 ±0.6	18.2 ±0.4	41.4 ±1.0	8.5 ±0.3
	2	24.5 ±0.4	8.3 ±0.6	16.9 ±0.5	35.0 ±4.7	8.9 ±0.3
	3	25.2 ±0.4	8.7 ±0.2	19.2 ±0.7	35.3 ±1.2	8.2 ±0.2
	4	28.9 ±0.7	9.1 ±0.8	17.4 ±0.8	41.8 ±3.4	8.5 ±0.1
1 团土壤元素背景值 Background value of soil element in farm 1		30.2 ±1.9	12.5 ±1.0	23.2 ±0.9	48.4 ±7.1	14.6 ±0.7
3 团 Farm 3	5	16.0 ±0.3	8.3 ±0.2	15.9 ±0.5	36.7 ±1.2	12.1 ±0.4
	6	16.6 ±0.3	8.1 ±0.2	16.1 ±0.7	29.9 ±0.9	12.3 ±0.4
	7	15.4 ±0.9	4.2 ±1.0	15.9 ±0.4	26.0 ±2.5	12.1 ±0.7
	8	16.8 ±0.8	5.8 ±0.7	15.8 ±0.6	37.7 ±1.7	11.7 ±0.5
	9	17.2 ±0.4	6.6 ±2.1	17.7 ±0.5	39.7 ±1.31	12.1 ±0.4
	10	17.2 ±0.4	10.7 ±0.8	14.0 ±0.4	37.2 ±0.9	12.5 ±0.2
	11	16.3 ±0.3	6.9 ±0.6	15.0 ±0.6	37.4 ±0.6	12.2 ±0.47
3 团土壤元素背景值 Background value of soil element in farm 3		18.6 ±0.5	9.4 ±1.5	19.8 ±1.9	43.9 ±3.9	16.2 ±0.5

Mo 远低于土壤元素的背景含量,其下降幅度在 2 种质地土壤上均大于 50%,Cu、Zn、Mn 与当地土壤元素背景相比,亦有所下降,且砂性质地土壤较黏重质地土壤下降幅度大,可见,在新疆棉花长期生产过程中棉田微量元素有贫化趋势,尤其以 Mo 表现最明显。就大量元素来看,5 种元素含量同新疆土壤元素背景值相比均有不同程度的降低,以 K 下降的较多,而作为新疆盐碱土主要成分的 Ca 和 Na,其含量的下降预示着棉田土壤在向脱盐的方向发展。

2.2 棉花植株不同器官矿质元素分布特征

矿质元素在植物生长发育过程中因其功能不同,含量亦有所差异,本研究测定了棉花植株体内的 9 种矿质元素含量(图 1),结果表明,棉花对不同元素的吸收量差异十分显著。棉花植株体内 9 种元素按其含量数量级($n \times 10^4 - n \times 10^0$,单位为 mg/kg)高低依次分为 5 个级次,即 Ca、K > Mg、Na > Fe > Mn、Zn > Cu、Mo。

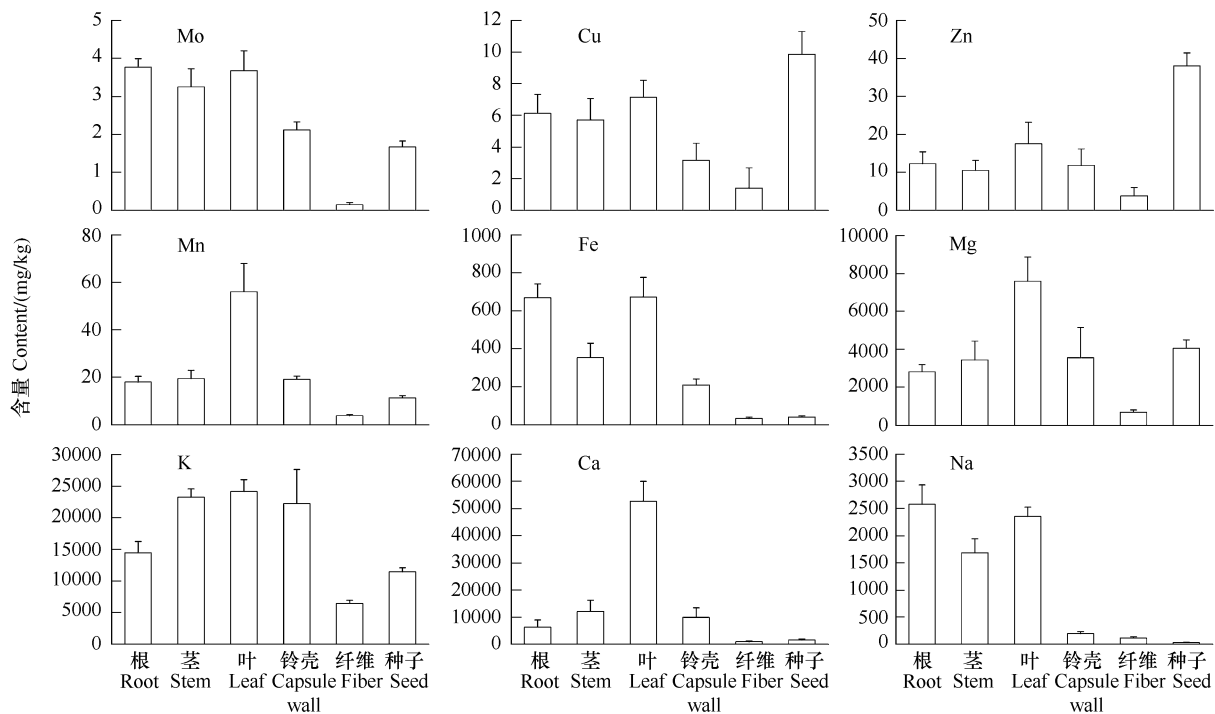


图 1 棉花不同器官中矿质元素含量

Fig. 1 Content of mineral elements in different organs of cotton

棉花不同器官累积矿质元素的能力有明显差异,同一器官对不同元素的累积能力亦有明显不同。除 Zn、Cu 在棉籽中的含量最高外,其余 7 种元素均呈现出从叶片、根、茎、铃壳到纤维,元素含量逐渐降低的趋势。这表明棉花生殖器官中,棉籽是 Zn、Cu 的主要累积器官,而根、茎、叶等营养器官以及铃壳是 Mo、Mn、Fe、Mg、K、Ca、Na 等元素的主要累积单元,尤其 Fe、Ca 和 Na 在根、茎、叶和铃壳中的含量远远超过纤维和棉籽。

对棉花不同器官养分含量的分析表明,Mo 和 K 在根、茎、叶、铃壳、棉籽、纤维中均有较高的含量;Ca、Mg 和 Mn 在叶片中的含量较高,在其它器官中相对较低,纤维中最低;Na 和 Fe 在根、茎和叶片中均有较高的含量,而在棉籽和纤维中明显偏低;而 Cu 和 Zn 则在棉籽中含量明显高于其他器官,因此推测,土壤中 Zn 和 Cu 两种元素将随着棉花产品的收获而大量消耗。

2.3 棉花不同产品器官对矿质元素的吸收与富集特征

生物吸收系数是植株和土壤中元素含量的比值,是评价植物吸收并在体内富集矿质元素能力的指标之一^[26]。从表 2 可以看出,棉花不同产品器官中,纤维对各种矿质元素的吸收系数最小,说明在 3 种产品器官中,纤维对各种矿质元素的吸收和富集能力最弱;秸秆和棉籽对矿质元素的吸收和富集能力随元素种类的不同而有所不同。棉籽对 Zn、Cu 吸收系数明显大于秸秆,表明这两种元素在棉田养分收支动态中其输出 > 归

还。棉籽对 Mg 的吸收系数与秸秆相当,而对 Mo、Mn、Fe、K、Ca、Na 的吸收系数则明显低于秸秆,Fe、Na、Ca 表现尤为明显,秸秆的吸收系数是棉籽的 10—100 倍,说明这 3 种元素主要富集在棉花秸秆中,向棉籽中运输的较少。

棉花各产品器官对不同矿质元素的吸收能力存在明显差异。秸秆的吸收系数顺序为:Mo > K > Mg > Ca > Cu > Zn > Na > Mn > Fe,纤维为:Mo > K > Mg > Zn > Cu > Ca > Na > Mn > Fe,棉籽为:Mo > Zn > K > Mg > Cu > Ca > Mn > Na > Fe。不同产品器官对 Mo 的生物吸收系数均表现为最高,对 K 的吸收系数亦相对较高,而对 Fe、Mn 和 Na 3 种元素的吸收系数最小;表明棉花对 Mo 和 K 的选择性吸收能力较其他元素强,尤其是元素 Mo,在土壤和植株各器官含量均较小,然而棉花对其吸收能力表现最强;因此在棉花长期连作生产中,其发生缺素的可能性较大。元素 Fe、Mn、Na 在土壤中的数量级较高,然而相对其他元素来说,棉花对其选择性吸收能力较弱,且在秸秆中的富集能力远远大于纤维和棉籽,在秸秆还田过程中可被大量归还,因而就元素的消耗量分析,长期连作不会造成这 3 种元素缺乏。

2.4 棉田矿质元素生物循环量估算

根据植株不同产品器官的养分含量,并结合南疆棉区常年产量水平^[1],采用公顷籽棉 6750kg 作为当地平均产量对棉田矿质养分通过籽棉移出及通过秸秆归还量进行估算。估算基本参数为:皮棉产量按 2700kg,衣分 40%,经济系数 40%,将棉籽和纤维中的养分总量作为移出部分而将秸秆中的养分量作为归还部分,折算出棉田矿质养分年移出和归还量(表 3)。随每季棉花的收获,Mo、Cu、Zn、Mn 4 种微量元素中移出比例最高的为 Zn,其移出量占总吸收量的 57.3%;其次为 Cu,占 44.1%;Mo 和 Mn 的移出量相对较低,分别占总吸收量的 18.5%、17.0%。5 种大量元素移出比例最高的为 Mg,其次为 K,移出比例分别为 30.0%、22.1%;而 Fe、Na、Ca 的移出比例相对较小,仅分别占其总吸收量的 5.6%、3.5% 和 4.2%。

从棉田各元素移出和归还的绝对量来看,秸秆对棉田矿质元素的归还量顺序为:K > Ca > Mg > Na > Fe > Mn > Zn > Cu > Mo,籽棉对棉田矿质元素的移出量顺序为 K > Mg > Ca > Na > Fe > Zn > Mn > Cu > Mo。微量元素中的 Zn 和大量元素中 K 的归还量和移出量均最高,表明在本研究所测定的 9 种元素中,棉花对 Zn 和 K 的专性吸收量最大,棉花长期单一种植这两种元素的耗竭最严重。微量元素中 Mn 和常量元素中 Ca 的归还量远远大于移出量,表明棉花对这两种元素虽有一定的需求,然而大部分在秸秆中富集,随着秸秆还田将在耕作层大量富集,棉花长期单一种植不会严重耗竭。Ca 和 Na 作为盐碱土的主要成分,在新疆石灰性土壤上,过高的归还比例有可能使长期连作棉田土壤耕作层的碱化程度加重。

表 2 棉花不同产品器官的生物吸收系数

Table 2 Biological absorption coefficient (BAC) of different cotton product organs

元素 Elements	产品器官 Product organs		
	秸秆 Cotton stalk	纤维 Cotton fiber	棉籽 Cotton seeds
Mo	10.304 ± 2.879	0.565 ± 0.101	6.362 ± 1.040
Cu	0.281 ± 0.096	0.038 ± 0.015	0.490 ± 0.033
Zn	0.223 ± 0.061	0.066 ± 0.047	0.692 ± 0.196
Mn	0.050 ± 0.012	0.007 ± 0.002	0.021 ± 0.003
Fe	0.022 ± 0.007	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.001
Mg	0.560 ± 0.171	0.096 ± 0.006	0.534 ± 0.063
K	1.247 ± 0.206	0.366 ± 0.061	0.640 ± 0.084
Ca	0.525 ± 0.086	0.026 ± 0.008	0.042 ± 0.011
Na	0.141 ± 0.053	0.011 ± 0.003	0.004 ± 0.002

表 3 棉田矿质元素年移出和归还量

Table 3 Shift-out and return quantity of mineral metals in cotton field per year

参数 Parameter	微量元素 Microelements /(g/hm ²)				大量元素 Macroelements /(kg/hm ²)				
	Mo	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	K	Ca	Na
归还量 Return quantity	31.6	55.4	122.2	273.2	4.3	42.7	224.7	193.7	16.0
归还比例 Return proportion/%	81.5	55.9	42.7	83.0	94.5	70.0	77.9	95.8	97.2
移出量 Shift-out quantity	7.2	43.6	164.1	56.1	0.2	18.3	63.7	8.5	0.5
移出比例 Shift-out proportion/%	18.5	44.1	57.3	17.0	5.5	30.0	22.1	4.2	2.8

3 讨论与结论

新疆绿洲农田棉花长期大面积连作近 20a 来,虽然实行秸秆还田,棉田部分养分得以维持,然而产品器官的收获亦从土壤中带走大量的养分。由于作物选择性吸收的作用,长期连作则造成农田生态系统土壤某些元素出现亏缺^[3]。从土壤矿质元素含量与当地生产单位土壤背景含量的对比分析看,棉田无论微量元素还是大量元素均在一定程度上有贫化的趋势,以 Mo 的耗竭最严重。

植物中矿质元素含量是植物生物学特性与生态环境相适应的结果,由于植物不同器官的生理机能不同,因而各器官中不同元素含量均有差异^[27],棉花植株不同元素含量在 $n \times 10^4$ — $n \times 10^0$ 数量级均有分布;各器官累积矿质元素的能力有较大差异,总体来看,大多数矿质元素在根、茎、叶等营养器官以及铃壳中含量较高,而在纤维和棉籽等生殖器官含量较低,但 Zn、Cu 在棉籽中的含量则均高于其它营养器官。同一器官对不同元素的累积能力亦有所不同,叶片中 Ca、Mg 和 Mn 的含量较高,根和茎中 K、Na、Fe、Mo 含量较高。植物生物吸收系数能反映土壤矿质元素向植株迁移和在植物体内富集能力的差异。棉花不同产品器官中,纤维对各种矿质元素的吸收系数最小,秸秆和棉籽对矿质元素的吸收能力因元素的不同而异,棉籽对 Zn、Cu 吸收明显大于秸秆,对 Mg 的吸收与秸秆相当,而对 Mo、Mn、Fe、K、Ca、Na 的吸收能力则不及秸秆的强。这表明棉花各器官对 Fe、Mn、Na 的吸收能力最弱;对 Mo 的选择性吸收能力最强,是造成棉田 Mo 严重贫化的主要原因。

秸秆还田在保持棉田土壤结构、增加有机质和养分方面的积极作用在农业生产中已被广泛认知,然而对其养分含量进行量化的报道不多。新疆绿洲区棉花生产过程中长期实行秸秆还田制度,且还田率高达 95% 以上。在长期不进行人为投入的情况下,土壤矿质元素的收支在很大程度上受制于秸秆的归还和籽棉的收获所引起的生物循环量的变化。郑重^[28]等对秸秆中大量元素进行了估算,结果显示在北疆棉区当秸秆还田量达 6000—7500 kg/hm²,可增加土壤有机碳 3127 kg/hm²、纯氮 112.4 kg/hm²、磷(P₂O₅) 28.69 kg/hm²、钾(K₂O) 208.9 kg/hm²。南疆棉区棉花生物量和产量远远较北疆高,但以往研究均未对除 N、P、K 以外的其他矿质元素进行计算,由于这部分养分元素在农田施肥管理中往往被忽略,因而植株的吸收和归还量对土壤养分库的影响则尤为重要。依据生物地球化学循环理论,从土壤与植物之间物质流动角度入手,基于棉花不同器官的养分含量,对南疆棉田矿质养分收支进行估算表明,每年通过籽棉的收获,从土壤中带走的 4 种微量元素总量达 271g/hm²,5 种大量元素总量可达 91.2 kg/hm²,而每年通过秸秆可向土壤归还的微量养分总量为 482.4g/hm²,常量元素为 481.4 kg/hm²(表 3)。这对依据养分消耗能力进行连作棉田施肥决策有一定的参考意义。

综合分析土壤、棉株和棉田收支元素量可见,微量元素中,Mo 虽然在土壤和植株中含量最小,然而棉花对其选择吸收能力最强,长期连作土壤 Mo 耗竭最严重;Zn 和 Cu 在籽棉中的含量较高,随着籽棉的收获,从棉田输出比例较高;大量元素中以 Mg 和 K 的输出比例和绝对输出量较高。在新疆长期连作棉田,微量元素 Mo、Zn 和 Cu 缺乏的可能性最大,大量元素 Mg 和 K 可能出现缺乏。因此,在生产中应重点补充 Mo、Zn 和 Cu 等微量元素养分,酌情补充 Mg、K 肥。棉株对 Mn、Fe、Ca 和 Na 的吸收量虽然较多,但大部分富集在秸秆中,随着秸秆还田将会在耕作层大量富集,长期连作下消耗较少。另外,新疆盐碱土主要成分的 Ca 和 Na 在棉田土壤中的含量较新疆土壤背景低,预示着棉田土壤在向着脱盐脱碱的方向发展,然而两元素在秸秆中比例较高,因此,在棉花长期连作中,应注意采取措施,防止土壤耕作层向次生盐碱化方向发展。

References:

- [1] Xinjiang Bureau of Statistics. Xinjiang Statistical Yearbook-2008. Beijing: China Statistics Press, 2008; 280-308.
- [2] Statistics Bureau of Xinjiang Production & Construction Group. Xinjiang Production & Construction Group Statistical Yearbook — 2008. Beijing: China Statistics Press, 2008; 231-238.
- [3] Zheng L Y, Hu J F, Lin C H, Tang Q F, Guo Q Y. The production of succession cropping obstacles and its prevention and cure steps. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2005, 25(2): 58-62.
- [4] Wei X R, Hao M D, Shao M A, William J G. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and

- fertilization. *Soil & Tillage Research*, 2006, 91: 120-130.
- [5] Zhang Y, Wang J L, Li P, Fu M X. Study on limiting factors of soil nutrient in Xinjiang cotton field. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19 (6): 57-60.
- [6] Duvignaud P, Denayeayr-De S S. Chen Z Z trans. *Themineral Cycling of Terrestrial Eco-system*. Plant Ecology. Beijing: Science Press, 1982: 25-38.
- [7] Frissel M J, Xia R J, Jin H Z, Chen Z Z, Li Z H, Zhang H F trans. *Cycling of Mineral Elements in Agricultural Ecosystem*. Beijing: Agriculture Press, 1981: 358-381.
- [8] Zhang X C, Cai W Q, Xu Q. Cycling of silicon, aluminium, iron and manganese in grassland soil-vegetation components. *Acta Ecologica Sinica*, 1990, 10(2): 109-115.
- [9] Zhang X C, Cai W Q, Xu Q, Xiong Y. Cycling of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium in grassland soil- vegetation systems. *Acta Pedologica Sinica*, 1990, 27(2): 140-150.
- [10] Chen M, Tan J A, Yin C R, Zhu L H. Biocycling of nine nutrient elements in winter wheat on a calcareous alluvial soil from Beijing. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1995, 19(1): 64-71.
- [11] Du Z C, Zhong H P. The biocycling of nutrients elements in artificial trifolium pratense grassland. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1998, 22(2): 149-156.
- [12] Zhang X B, Shangguan Z P. Nutrient distributions and bio-cycle patterns in both natural and artificial *Pinus tabulaeformis* forests in Hilly Loess Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 373-382.
- [13] He B, Qin W M, Yu J G, Liu Y H, Tan L, Tan Y H. Biological cycling of nutrients in different ages classes of *Acacia mangium* Plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5158-5167.
- [14] Liu P, Hao C Y, Chen Z L, Zhang Z X, Wei F M, Xu S Z. Nutrient element distribution in organs of *heptacodium miconioides* in different communities and its relationship with soil nutrients. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 304-312.
- [15] Da L T, Wen H X, Wen D Y, Yan W X, Kang X W, Deng Z F. Biological cycles of mineral elements in a young mixed stand in abandoned mining soils. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2007, 49(9): 1284-1293.
- [16] Rego T J, Nageswara R V, Seeling B, Pardhasaradhi G, Kumar R J V. Nutrient balances: a guide to improving sorghum-and groundnut-based dryland cropping systems in semi-arid tropical India. *Field Crops Research*, 2003, 81: 53-68.
- [17] Shen J, Li R, Zhang F, Fan J, Tang C, Rengel Z. Crop yields, soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under the rice monoculture system on a calcareous soil. *Field Crops Research*, 2004, 86: 225-238.
- [18] Dobermann A, Sta P C, Cassman K G. Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems I. Potassium uptake and K balance. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1996, 46: 1-10.
- [19] Dobermann A, Cassman K G, Sta P C, Adviento M A A, Pampolino M F. Fertilizer inputs, nutrient balance and soil nutrient supplying power in intensive, irrigated rice systems III. Phosphorus. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1996, 46: 111-125.
- [20] Zhang G R, Li J M, XU M G, Gao J S, Gu S Y. Effects of chemical fertilizer and organic manure on rice yield and soil fertility. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(2): 543-551.
- [21] Liu J G, Bian X M, Li Y B, Zhang W, Li S. Effects of long-term continuous cropping of cotton and returning cotton stalk into field on soil biological activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 1027-1032.
- [22] Debosz K, Rasmussen P H, Pedersen A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: Effect of organic matter input. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13: 209-218.
- [23] Hu C, Cao Z P, Ye Z N, Wu W L. Impact of soil fertility maintaining practice on soil microbial biomass carbon in low production agro-ecosystem in Northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 808-814.
- [24] Chronicles Compilation Committee of Division 1. *The Xinjiang Production and Construction Crops Division 1 Chronicles*. Urumqi: Xinjiang People Press, 1994: 93-130.
- [25] Lin D Y. *Guide of Soil Science Exercitation*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004: 123-147.
- [26] Zu Y Q, Li Y. Christian S. Laurent L, Liu F. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyper accumulator choice in Lanping Lead-zinc mine area, China. *Environment International*, 2004, 30(4): 567-576.
- [27] Li Z A, Wang B S, Zhang H D. About plant nutrients ecology. *Ecologic Science*, 1999, 18(4): 43-47.
- [28] Zheng Z, Lai X Q, Deng X D, Dai Z G. Technique of cotton stalks returned to field and preliminary calculation of stalk nutrient quantity in Xinjiang. *Acta Gossypii Sinica*, 2000, 12(5): 264-266.

参考文献:

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴——2008. 北京: 中国统计出版社, 2008: 280-308.

- [2] 新疆新疆生产建设兵团统计局. 新疆生产建设兵团统计年鉴——2008. 北京: 中国统计出版社, 2008: 231-238.
- [3] 郑良永, 胡剑非, 林昌华, 唐群锋, 郭巧云. 作物连作障碍的产生及防治. 热带农业科学, 2005, 25(2): 58-62.
- [5] 张炎, 王讲利, 李磐, 付明鑫. 新疆棉田土壤养分限制因子的系统研究. 水土保持学报, 2005, 19(6): 57-60.
- [6] Duvignaud P, Denayeayr-De S S. 陈佐忠译. 陆地生态系统的矿物循环. 植物生态学译丛. 北京: 科学出版社, 1982: 25-38.
- [7] Frissel M J, 夏荣基, 金鸿志, 陈佐忠, 李振华, 张鸿芳译. 农业生态系统中矿质养分的循环. 北京: 农业出版社, 1981: 358-381.
- [8] 张小川, 蔡蔚祺, 徐琪. 草原土壤-植被系统中硅、铝、铁和锰的循环. 生态学报, 1990, 10(2): 109-115.
- [9] 张小川, 蔡蔚祺, 徐琪, 熊毅. 草原生态系统土壤-植被组分中氮、磷、钾、钙和镁的循环. 土壤学报, 1990, 27(2): 140-150.
- [10] 陈铭, 谭见安, 尹崇仁, 朱理徽. 北京石灰性草甸土冬小麦营养元素生物循环的特点与锰、锌肥效应. 植物生态学报, 1995, 19(1): 64-71.
- [11] 杜占池, 钟华平. 红三叶人工草地营养元素的生物循环. 植物生态学报, 1998, 22(2): 149-156.
- [12] 张希彪, 上官周平. 黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较. 生态学报, 2006, 26(2): 373-382.
- [13] 何斌, 秦武明, 余浩光, 刘运华, 覃林, 覃永华. 不同年龄阶段马占相思 (*Acacia mangium*) 人工林营养元素的生物循环. 生态学报, 2007, 27(12): 5158-5167.
- [14] 刘鹏, 郝朝运, 陈子林, 张志祥, 韦福民, 许士珍. 不同群落类型中七子花器官营养元素分布及其与土壤养分的关系. 土壤学报, 2008, 45(2): 304-312.
- [20] 张国荣, 李菊梅, 徐明岗, 高菊生, 谷思玉. 长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响. 中国农业科学, 2009, 42(2): 543-551.
- [21] 刘建国, 卞新民, 李彦斌, 张伟, 李崧. 长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1027-1032.
- [23] 胡诚, 曹志平, 叶钟年, 吴文良. 不同的土壤培肥措施对低肥力农田土壤微生物生物量碳的影响. 生态学报, 2006, 26(3): 808-814.
- [24] 农一师史志编撰委员会. 新疆生产建设兵团农一师志. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1994: 93-130.
- [25] 林大仪. 土壤学实验指导. 北京: 中国林业出版社, 2004: 123-147.
- [27] 李志安, 王伯荪, 张宏达. 关于植物营养生态学. 生态科学, 1999, 18(4): 43-47.
- [28] 郑重, 赖先齐, 邓湘娣, 戴志刚. 新疆棉区秸秆还田技术和养分需要量的初步估算. 棉花学报, 2000, 12(5): 264-266.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元