

黄淮海平原高水肥改良中低产田耕地质量动态评估

杨劲松, 余世鹏, 刘广明, 李冬顺

(中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘 要: 为研究黄淮海平原地区改良中低产田进程中广泛采取的高水肥措施对耕地综合质量发展的影响, 在河南封丘布置田间小区试验, 通过测产、采样和分析, 研究不同施肥方案 and 不同肥料处理下的耕地土壤及作物的质量动态, 评估各处理的利弊权重。结果表明: 优化施肥和高水肥措施有利于提高作物根系吸水能力、增加作物对土壤氮素的利用、提高耕地作物产量和品质、抑制土壤碱性增加。但是当前施肥制度尤其在高肥处理下耕地土壤有板结现象; 优化施肥方案中的高肥处理不利于底层土壤脱盐, 易引发土壤次生盐渍化; 高水肥措施下土壤保肥能力较差。针对不同施肥处理的利弊权重提出以优化施肥技术和高水肥措施为技术主导进行中低产田改良, 增加耕地作物产量和改善品质, 同时需配合土壤次生盐渍化防控措施、土壤培肥措施和农艺措施, 除弊扬利, 实现耕地综合质量的全面、持续提升。

关键词: 高水肥措施; 优化施肥; 中低产田; 耕地质量; 黄淮海平原

中图分类号: S156.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0232-07

河南省封丘县位于北纬 $34^{\circ}53' \sim 35^{\circ}14'$, 东经 $114^{\circ}14' \sim 114^{\circ}46'$, 地处黄淮海平原南北向的中部, 平均海拔 67.5 m, 地势平坦, 属于北暖温带大陆性季风气候区, 平均年气温 13.9°C , 平均年降雨量 615.1 mm 且分布很不均匀, 主要集中在 7~9 月, 平均年蒸发量 1 857.5 mm, 平均年日照时数 2 310 h, 平均无霜期 214 d。种植制度为一年二熟, 即小麦—玉米或小麦—棉花。全县土壤总面积的 98.3% 为潮土, 其余为风沙土^[1]。该地区无论在气候特征还是生产特征上在黄淮海平原均具有代表性。

黄淮海平原地区耕地面积占全国 18%, 其农业地位举足轻重, 但该区大面积耕地属于中低产耕地, 截至 20 世纪 80 年代该区域中低产耕地面积仍达 $13.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 左右, 占黄淮海平原总耕地面积 75%。中低产耕地类型主要为盐碱地、风沙薄地、砂姜黑土、洼涝低湿地和旱薄地, 中低产耕地作物产量低且土壤质量差, 主要表现在土壤沙化、酸化和盐渍化等现象严重, 土壤养分失调, 土壤保肥能力低、肥效流失严重^[2]。80 年代以来黄淮海平原地区陆续开展建立在高水肥投入基础上的中低产田综合治理, 初步效果明显, 不断涌现出大面积高产粮田(吨粮田), 但耕地综合质量的提升仍待研究。河南省五大灌区耕地肥力现状调查表明: 各灌区土壤耕层氮、磷含量较高, 钾及锌、钼等中微量元素含量较低且地

域变幅大, 化肥施用结构不合理, 土壤养分不均^[3]。经过多年治理, 黄淮海平原土壤盐渍害虽未能根除但基本得到治理^[4], 但该区域土壤水盐平衡仍十分脆弱, 发生土壤次生盐渍害的风险较大。中低产田改良的目标是实现耕地综合质量的提高, 实现生产力的可持续发展, 既实现耕地作物高产, 又保证耕地土壤质量持续提升, 即提升土壤保肥力、消除土壤盐渍化风险、保持土壤养分均衡等。因此本文结合耕地作物产量品质和耕地土壤理化品质来反映耕地的综合质量动态, 通过开展农田定位试验, 研究黄淮海平原地区不同施肥处理对耕地综合质量动态的影响, 评估各施肥处理对耕地综合质量影响的利弊权重, 初步探讨中低产田改良过程中保证耕地综合质量持续发展和提高的对策。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在中国科学院封丘农业生态实验站水盐运动研究基地实验场进行, 试验共计 6 个处理, 每处理 4 次重复, 共计 24 个小区, 每小区面积 $9.5 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 95 \text{ m}^2$ 。处理 1~6(对应小区编号 LF1~LF6)的处理设计是: 处理 1~3 为常规栽培模式处理, 常规高产施肥量, 处理 4~6 为中低产田改良下的高产栽培模式处理, 更高施肥量(当地常规施肥量基础上提高

收稿日期: 2008-10-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09); 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-406-3, KZCX2-YW-406-4); 国家科技支撑计划项目(2006BAD05B04, 2006BAD05B02); 国家自然科学基金项目(40771097); 国家“863”计划重点项目(2006AA100207)

作者简介: 杨劲松(1959—), 男, 江苏靖江人, 研究员, 博士生导师, 主要研究领域为土壤盐渍化防控和盐渍土资源利用。E-mail: jsyang

@issas.ac.cn

20%),各处理下的具体施肥量见表 1。按照肥料配比方案,PK 处理(LF1 和 LF4)为对照处理,只施磷肥和钾肥;NP 处理(LF2 和 LF5)为当地常规施肥方案,只施氮肥和磷肥;NPK 处理(LF3 和 LF6)为优化施肥方案,施氮、磷、钾肥。

表 1 各处理下的施肥方案和施肥水平
Table 1 Fertilizing plan and fertility level under each treatment

施肥方案 Fertilizing plan	肥力水平 Fertility level	小区编号 Number of plot	N 施用量(kg/hm ²) Application rate of N	P ₂ O ₅ 施用量(kg/hm ²) Application rate of P ₂ O ₅	K ₂ O 施用量(kg/hm ²) Application rate of K ₂ O
PK	低 Low	LF1	0.0	148.5	75.0
	高 High	LF4	0.0	178.2	90.0
NP	低 Low	LF2	151.8	148.5	0.0
	高 High	LF5	182.2	178.2	0.0
NPK	低 Low	LF3	151.8	148.5	75.0
	高 High	LF6	182.2	178.2	90.0

小麦收获后,按每公顷 150 kg 播种量进行玉米免耕播种(2007 年 6 月 8 日),品种是当地较高产的郑单 958,播种后按照以上施肥配比方案统一施用氮、磷、钾基肥(尿素、重过磷酸钙或二铵、硫酸钾),磷、钾肥一次施入,氮肥施 40%,剩余 60%作为开花孕穗期追肥施用。施肥后为保障玉米顺利出苗进行第一次灌溉,玉米开始拔节后(2007 年 7 月 8 日)进行第二次灌溉,并进行尿素追肥处理,玉米开始抽穗吐丝后(2007 年 8 月 1 日)进行第三次灌溉。引水灌溉方式以当地深井(7~10 m)引水方式为主,各小区灌溉频率和每次灌溉量均一致,每次灌溉水量 60 mm,属于较高的灌溉量水平。

1.2 作物品质测定及土样处理

玉米收获以后(2007 年 9 月 18 日)进行测产和采样。参照“肥料效应鉴定田间试验技术规程(NY/T497—2002)”^[5]测产,测定每个小区玉米平均的单株产量、单株生物量、株高、穗位高。采集各小区的玉米叶片、茎干及籽粒样品,测定各样品全氮含量^[6],每小区各样品均采三个重复求平均值。

玉米种植前(2007 年 6 月 5 日)、收获后(2007 年 9 月 18 日)均用土钻采集每小区 1 m 土体 6 层(0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm)土样,测定所采土样的 1:5 土水比混合液电导率、pH 值和八大盐离子含量,及各层土样全氮、碱解氮、有机质、全磷、全钾含量^[6]。用铝盒采集玉米种植前后各小区 1 m 土体 6 层土样,烘干法测各层土样含水量。用环刀采集玉米种植前后各小区 5~10 cm、15~20 cm 层土样,烘干法测土样容重。每小区均采三个重复剖面求各层土样的盐分、水分、容重及养分平均值。

2 结果与分析

2.1 不同施肥措施下耕地产量及作物品质动态

由表 2,不同处理对玉米株高和穗位高的影响未表现显著差异,施肥方案对玉米单株生物量、单株产量、千粒重及玉米籽粒全氮含量有极显著差异,肥力水平对玉米千粒重有极显著差异,需进一步开展多重比较分析。

多重比较表明(表 3),不同施肥方案之间玉米平均单株生物量、单株产量、千粒重和籽粒全氮量呈现极显著差异,在优化施肥方案(NPK 处理)下各均值最大,常规施肥处理(NP 处理)下其次,对照处理(PK 处理)下最小,表明优化施肥方案能有效提高耕地玉米产量及玉米籽粒品质。不同肥力水平之间玉米千粒重呈现极显著差异,PK 处理中的高肥力措施下(LF4)玉米千粒重和单株产量较低肥力措施下(LF1)分别提高 10.9%,NP 处理和 NPK 处理中的高肥力措施分别提高 12.6%、12.2%,优化施肥方案下高肥处理对玉米品质(千粒重)的提高量小于常规施肥方案下的高肥处理。PK 处理和 NP 处理中的高肥力措施(LF4、LF5)都能较好地提高玉米籽粒全氮含量,但 NPK 处理中高肥力措施却降低了玉米籽粒全氮含量,表明优化施肥方案下提高施肥量改良耕地质量对作物品质的提高效果不大。

PK 处理、NP 处理和 NPK 处理中高肥力水平下玉米产量分别较低肥力水平下提高了 41.0%、7.7%和 8.7%,表明无氮肥处理区耕地缺肥严重,高施肥水平能大大增产,优化施肥方案下高肥措施对提高作物产量作用较常规施肥方案更明显,其肥力投入的提高和作物产量的增加分别折算成经济效益(按当时化肥的购买价格和玉米收购价格),NP 处

理:肥料投入提高 22.0 元,产量增加 42.4 元,收支比 1.9,而 NPK 处理:肥料投入提高 26.6 元,产量增加 54.8 元,收支比2.1,优于常规施肥方案 NP 处理。

表 2 不同处理对玉米各项品质影响的方差分析
Table 2 GLM analysis of effect of different factors on corn quality

变异来源 Variation sources	F 值 F value					
	单株生物量 Individual biomass	单株产量 Individual yield	千粒重 1000-grain weight	株高 Plant height	穗位高 Ear height	全氮 TN
施肥方案 Fertilizing plan	16.022 **	12.213 **	28.791 **	0.238	1.014	13.715 **
肥力水平 Fertility level	3.153	2.767	46.914 **	0.925	2.295	0.119
交互影响 Interaction	0.867	0.364	0.288	0.429	0.101	0.127

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平的差异显著性。
Note: * stands for 0.05 significance level. ** stands for 0.01significance level.

表 3 各处理对玉米单株生物量、单株产量、千粒重和籽粒全氮含量影响的多重比较
Table 3 Multiple comparison of effect of different treatments on the individual biomass,
individual yield, 1000-grain weight of corn, and TN content of corn seed

单株生物量均值(g) Average individual biomass			单株产量均值(g) Average individual yield			千粒重均值(g) Average 1000-grain weight			籽粒全氮均值(g) Average TN content of corn seed		
5% Sig.	1% Sig.		5% Sig.	1% Sig.		5% Sig.	1% Sig.		5% Sig.	1% Sig.	
LF6	476.67	a	A	LF6	186.67	a	A	LF6	327.39	a	A
LF3	438.33	a	AB	LF3	171.67	a	AB	LF5	304.67	b	B
LF5	421.67	ab	AB	LF5	163.33	ab	AB	LF3	291.77	bc	BC
LF2	356.67	b	B	LF2	151.67	ab	AB	LF4	279.35	c	C
LF4	321.67	b	B	LF4	123.33	b	B	LF2	270.55	c	CD
LF1	320.00	b	B	LF1	87.50	b	B	LF1	251.98	d	D

2.2 不同施肥措施下耕地土壤质量动态

2.2.1 不同施肥措施下耕地土壤容重及水分动态

表 4 中,各处理玉米种植后 5~10 cm 层和 15~20 cm 层土壤容重较种植前整体呈增加趋势。PK 处理和 NPK 处理中高肥力处理下玉米种植前后表土容

重增加值大,NP 处理中高肥水平下的增加值小。容重增加表明土壤密结度增加,反映了当前施肥制度下作物种植后耕地土壤有一定程度的板结现象,尤其是在改良中低产田进程中所采取的高施肥制度下。

表 4 不同处理下玉米种植前后耕地表土容重动态

Table 4 Soil bulk density of surface soil before and after the corn growth under different treatments

施肥方案 Fertilizing plan	肥力水平 Fertility level	5~10 cm 土壤容重(g/cm ³) Soil bulk density of soil of 5~10 cm			15~20 cm 土壤容重(g/cm ³) Soil bulk density of soil of 15~20 cm		
		种前 Before corn growth	种后 After corn growth	增加(%) Increased ratio	种前 Before corn growth	种后 After corn growth	增加(%) Increased ratio
PK	LF1	1.51	1.45	−3.9	1.36	1.44	5.8
	LF4	1.32	1.54	16.7	1.34	1.37	2.3
NP	LF2	1.39	1.48	6.5	1.25	1.37	10.2
	LF5	1.51	1.51	0.0	1.38	1.48	6.8
NPK	LF3	1.41	1.44	2.1	1.43	1.37	−4.2
	LF6	1.33	1.40	5.3	1.44	1.47	2.3

用 Jensen 模型^[7]分析夏玉米不同生育期对水分亏缺的反应结果表明,夏玉米播种~拔节期、拔节~抽穗期、抽穗~灌浆期、灌浆~成熟期对水分亏缺的敏感指数 λ 值分别为 0.1496、0.2061、0.3645、

0.1116^[8],说明夏玉米缺水减产最敏感阶段为拔节~灌浆期间(一般为 7 月初至 8 月底),灌浆~成熟期(9 月份)对水分亏缺敏感度最小。这符合夏玉米生育实际情况,抽穗时缺水易出现“卡脖子”,严重影

响产量。因此本研究实验设计夏玉米播种后出苗前安排第一次灌溉、7 月初玉米拔节开始安排第二次灌溉,8 月初玉米抽穗开始安排第三次灌溉。

各处理下玉米种植前土壤剖面的初始水分动态(图 1)表明,受干旱少雨的影响,玉米种植前各处理区土壤剖面各层土壤含水量差异较大,表层(0~20 cm)和底层(60~100 cm)土壤水分含量不高(体积含水量 15%左右),而根层(心土层 20~60 cm)土壤很干燥,土壤体积含水量仅 10%左右。玉米收获后各

处理区土壤剖面各层土壤水分含量差异变小(图 2),且较玉米种植前各层土壤水分含量整体增加,表层和根层土壤体积含水量达 18%左右,底层土壤体积含水量达 20%左右,分析其原因,玉米种植期间(6~9 月)是黄淮海平原地区降雨相对最集中的时期,2007 年夏玉米生育期的 6~9 月份总降雨量达 253.4 mm,加上玉米生育期安排的三次高水量灌溉,使玉米收获后土壤剖面各层土壤水分含量整体较高。

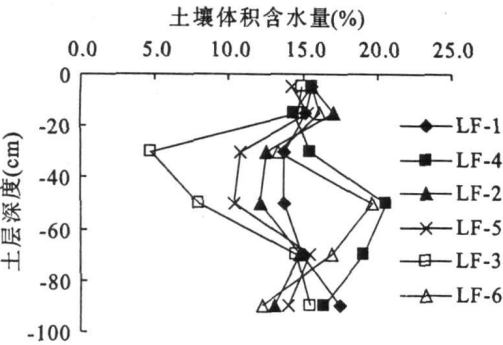


图 1 各处理玉米种植前土壤剖面水分动态
Fig.1 Soil water content in soil profiles before the corn growth under different treatments

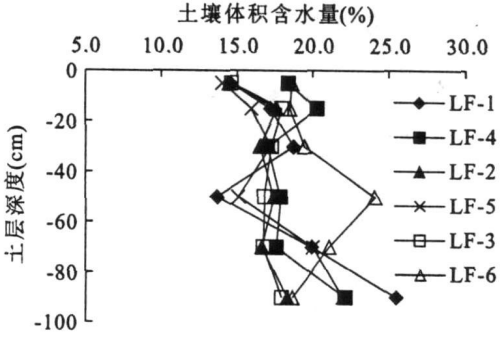


图 2 各处理玉米种植后土壤剖面水分动态
Fig.2 Soil water content in soil profiles after the corn growth under different treatments

虽然不同施肥处理下玉米种植后各层土壤含水量均整体增加,但是其增加量的差异间接反映了不同施肥处理下作物生长能力和根系吸水能力的差异。由表 5,对照处理(PK 处理)中由于作物缺氮严重、生长较差,因此高肥力处理 LF4 对作物生长能力和根系吸水能力的提高较常规肥力处理 LF1 大,对玉米种植后根层(20~60 cm)及根下层(60~100 cm)土壤含水量增加的影响则较常规肥力处理小,其中根层土壤含水量在高肥力处理下甚至减小 3.4%;

常规施肥处理(NP 处理)中高肥力处理 LF5 对各层土壤含水量增加的影响较常规肥力处理 LF2 大,表明常规施肥方案下增加施肥量并未明显提高作物生长和根系吸水能力;优化施肥处理(NPK 处理)中高肥力处理 LF6 下根层(20~60 cm)土壤含水量的增加量小于常规肥力处理 LF3 下的增加量,一定程度上反映优化施肥方案下增加施肥量能提高作物生长能力和根系吸水能力。

表 5 不同处理玉米种植前后耕地土壤剖面水分含量变化

Table 5 Changing of soil water content in soil profiles before and after the corn growth under different treatments

施肥方案 Fertilizing plan	肥力水平 Fertility level	土壤水分含量增加 Increased ratio of soil water content (%)			
		0~20 cm	20~60 cm	60~100 cm	1 m 土体平均
PK	LF1	2.7	17.8	39.7	24.1
	LF4	28.7	-3.4	11.8	8.4
NP	LF2	-1.5	37.5	25.1	23.2
	LF5	1.7	53.1	42.0	36.5
NPK	LF3	10.60	168.70	15.10	47.80
	LF6	17.1	32.0	36.0	30.5

2.2.2 不同施肥措施下耕地土壤盐分及酸碱动态

土壤盐分在剖面上的分布特点综合反映了气候、地质和人为等因素作用于盐分运移的结果,在一定

时间内当这些因素的组合促使盐分向下运移的强度大于盐分向上运移的强度时,则盐分剖面呈淋洗状态或底聚状态;当向上运移强度大于向下运移强度

时,则盐分在剖面中向上积聚,呈表聚状态。因此,研究土壤盐分剖面类型是了解其盐分淋洗与积聚对比状态的有效方法^[9]。本研究选取以表层 0~20 cm 土壤含盐量与底层 60~100 cm 土壤含盐量的比值作为盐分剖面分类标准,若该比值<90%则定义为底聚型盐分剖面;若比值>110%则定义为表聚型盐分剖面;若比值介于 90%~110%之间则定义为均匀型盐分剖面^[10]。

由图 3、图 4 看出,各处理下玉米种植前后的各层土壤含盐量均小于 1 g/kg,没有明显的盐渍化现象^[11]。分析表明各处理下玉米种植前土壤剖面盐

分基本呈表聚型分布,各处理下玉米种植后剖面则基本呈底聚型分布,60~100 cm 层土壤盐分含量为 1 m 剖面内最大。各处理下玉米种植前后土壤剖面盐分分布类型的变化表明,受夏玉米生育期(6~9 月)降雨和较高水量灌溉的影响,各处理区土壤剖面盐分得到较大程度地淋洗而下行积聚。黄淮海平原地区地下水埋深大(实验区 2007 年 7~9 月监测平均地下水位 7.1 m),下行积聚的盐分不易进入地下水而是在土壤底部长期积累,受灌溉和降雨的湿润、溶解、活化而随土壤毛管上升水流蒸发转向土壤表层累积,长此以往易导致土壤次生盐渍化^[12]。

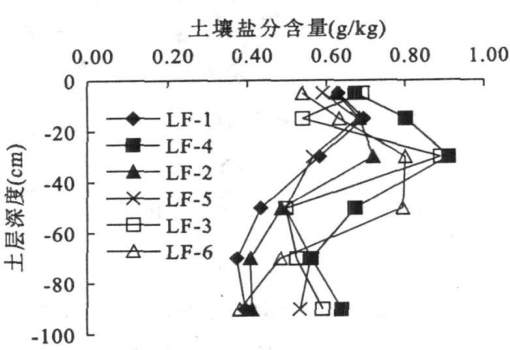


图 3 各处理玉米种植前土壤剖面盐分动态
Fig.3 The soil salinity in soil profiles before the corn growth under different treatments

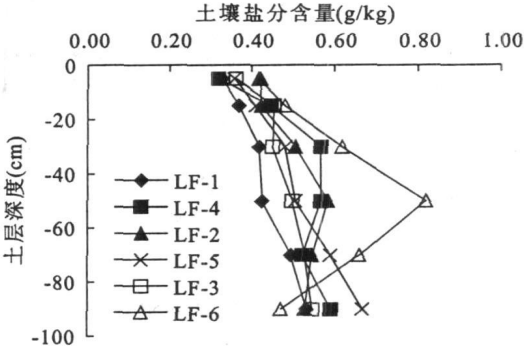


图 4 各处理玉米种植后土壤剖面盐分动态
Fig.4 The soil salinity in soil profiles after the corn growth under different treatments

表 6 表明,各处理玉米种植前后 1 m 土体盐分普遍减低,表层土壤盐分降低最多,根层其次,底层土壤盐分则呈增加趋势。对照处理(PK 处理)中高肥力处理 LF4 较低肥力处理 LF1 能更有效降低玉米种植前后各层土壤盐分含量,尤其是底层土壤盐分含量,表明 PK 处理中的高肥力措施利于各层土壤脱盐。常规施肥处理(NP 处理)中高肥力处理 LF5

较低肥力处理 LF2 能更有效降低玉米种植前后表层和底层土壤盐分含量,但对根层土壤盐分含量例外,表明 NP 处理中的高肥力措施不利于根层土壤脱盐。优化施肥处理(NPK 处理)中高肥力处理 LF6 下玉米种植前后各层土壤盐分降低量较低肥力处理 LF3 下明显减少,尤其是底层土壤盐分含量,表明 NPK 处理中的高肥力措施不利于各层土壤脱盐。

表 6 不同处理玉米种植前后耕地土壤剖面盐分和 pH 的变化

Table 6 Changing of soil salinity and pH in soil profiles before and after the corn growth under different treatments								
施肥方案 Fertilizing plan	肥力水平 Fertility level	土壤盐分降低(%) Decreased ratio of soil salinity				土壤 pH 增加量 Increased soil pH		
		0~20 cm	20~60 cm	60~100 cm	1 m 土体	0~20 cm	20~60 cm	60~100 cm
PK	LF1	47.5	17.2	-33.80	9.4	0.58	0.39	0.05
	LF4	48.1	28.4	7.20	25.3	0.21	0.26	0.03
NP	LF2	35.6	9.6	-31.40	3.4	0.24	0.28	0.12
	LF5	39.6	7.2	-15.10	5.8	0.15	0.11	-0.06
NPK	LF3	33.8	31.7	3.50	22.0	0.25	0.33	0.04
	LF6	23.5	9.9	-30.70	1.0	0.04	0.20	0.01

土壤碱性过大易导致土壤肥力下降、影响农作物减产甚至死亡。由图 5、图 6,各施肥处理下玉米

种植前后土壤剖面的表层土壤 pH 值最低,随深度增大土壤碱性增大,60~100 cm 层土壤 pH 值平均

为 9.2, 接近作物减产临界 pH 值 9.5^[12]。由表 3 知, 各处理下玉米种植前后各层土壤 pH 整体呈增加趋势, 表层及根层土壤 pH 增加量较多, 底层土壤 pH 增加量较少。各施肥处理中, 高肥力处理较低肥

力处理能更有效抑制玉米种植前后各层土壤的碱性增加, 特别是 NP 处理小区中高肥力措施下底层土壤碱性呈现降低趋势。

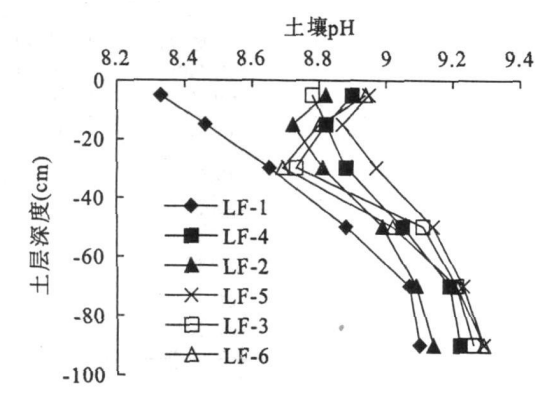


图 5 各处理下玉米种植前土壤剖面 pH 动态
Fig.5 The soil pH in soil profiles before the corn growth under different treatments

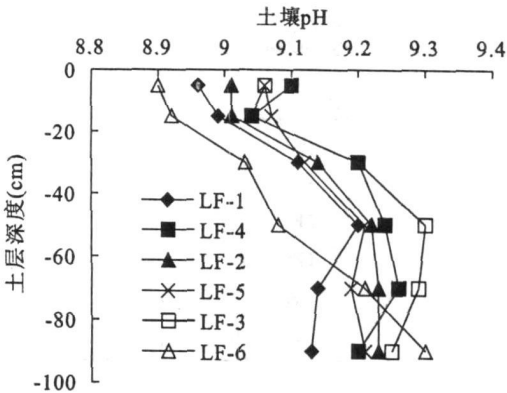


图 6 各处理下玉米种植后土壤剖面 pH 动态
Fig.6 The soil pH in soil profiles after the corn growth under different treatments

2.2.3 不同施肥措施下耕地土壤养分动态 试验小区玉米种植前耕地初始肥力状况(表 7)分析表明, 试验区土壤有机质和氮钾含量偏低, 磷含量较高。结合试验区土壤盐分和酸碱动态分析结果表

明, 该试验区土壤属于受次生盐碱障碍影响的中低质量地力土壤, 在 1 m 土体剖面上, 各养分含量随深度降低而降低。需采取优化施肥技术, 全面培肥土壤, 提升中低产耕地有机质、氮、钾养分含量。

表 7 试验小区玉米种植前土壤剖面各养分含量初始状况

Table 7 Initial situation of nutrient content in soil profiles in experiment plots before the corn growth

养分指标 Nutrient index	0~20 cm 平均含量 Average content	等级 Level	20~40 cm 平均含量 Average content	等级 Level	40~100 cm 平均含量 Average content	等级 Level
有机质 Organic matter(g/kg)	12.37	中低 Mid low	7.22	低 Low	3.14	很低 Very low
全氮 Total N(g/kg)	0.78	中低 Mid low	0.49	很低 Very low	0.28	很低 Very low
碱解氮 Available N(mg/kg)	41.21	低 Low	40.09	低 Low	21.44	很低 Very low
全钾 Total K(g/kg)	12.60	中低 Mid low	12.62	中低 Mid low	12.93	中低 Mid low
全磷 Total P(g/kg)	1.18	高 High	1.02	高 High	0.97	中 Mid

注: 表格中各养分的含量等级划分参照“全国第二次土壤普查技术规程”规定的养分分级标准^[13]。

由表 8 看出, 各处理玉米种植后 1 m 土体土壤氮素基本呈降低趋势, 一方面是由于玉米吸收氮素为生长所用, 另一方面由于氮素挥发和向下淋洗而损耗。对照方案 PK 处理和常规施肥方案 NP 处理中, 低肥力措施下种植前后 1 m 土体土壤全氮含量增加, 高肥力措施下 1 m 土体全氮含量降低明显, 但碱解氮含量降低不明显。优化施肥方案 NPK 处理中, 低肥力措施下种植前后 1 m 土体土壤碱解氮含量增加, 高肥力措施下 1 m 土体全氮和碱解氮含量均明显降低。各施肥方案处理中高肥力处理下玉米种植前后 1 m 土体土壤氮素的降低反映了耕地保肥能力和耕地质量的下降, 尤其是在优化施肥方案下。但另一方面也反映了提高施肥力度能一定程度地增

加作物对土壤氮素的利用率, 另外, 研究表明前季作物种植后土壤残留氮素较低能一定程度上提高下一季作物对氮肥的利用率^[14]。

3 结 论

不同施肥处理下的耕地作物质量和土壤质量动态研究和评估表明: 优化施肥措施和高水肥措施有利于提高作物生长能力和根系吸水能力, 增加作物对土壤氮素的利用率, 提高耕地作物产量和品质, 抑制玉米种植前后各层土壤的碱性增加。然而高水肥措施改良中低产田进程中也存在问题: 当前施肥制度下玉米种植后的耕地土壤容重增加明显, 土壤出现板结现象, 尤其是在高肥措施下; 优化施肥方案中

的高肥措施不利于玉米种植前后各层土壤尤其是底 层土壤的脱盐,易引发土壤次生盐渍化;各施肥处理

表 8 不同处理下玉米种植前后土壤剖面氮素含量动态

Table 8 N content in soil profiles before and after the corn growth under different treatments

施肥方案 Fertilizing plan	肥力水平 Fertility level	1 m 土体全氮含量 TN content of 1 m soil			1 m 土体碱解氮含量 AN content of 1 m soil		
		种前(g/kg) Before corn growth	种后(g/kg) After corn growth	降低(%) Decreased ratio	种前(mg/kg) Before corn growth	种后(mg/kg) After corn growth	降低(%) Decreased ratio
PK	LF1	0.38	0.39	—2.7	28.15	19.86	29.4
	LF4	0.49	0.37	24.5	27.62	23.59	14.6
NP	LF2	0.40	0.45	—12.2	30.81	21.21	31.1
	LF5	0.41	0.31	24.4	31.35	22.00	29.8
NPK	LF3	0.39	0.31	19.5	27.18	27.90	—2.6
	LF6	0.46	0.30	33.8	29.63	26.39	10.9

下作物种植后耕地土壤氮素呈流失趋势,尤其是优化施肥方案中的高水肥措施下土壤保肥能力较差。

黄淮海平原地区大力改良中低产田、发展农业经济是关系国民经济发展的 重要课题,在改良进程中广泛采用的高水肥措施已经带来耕地产量显著提升的直接效果,但耕地综合质量的提升需要在实现高产的同时,保证耕地土壤质量持续提升。针对在改良中低产田进程中各不同施肥措施的不同利弊权重,需要除弊扬利,交叉配合利用各措施的优势,提倡以优化施肥技术和高水肥措施为技术主导,大力改良中低产田,增加氮、钾肥施用,增加耕地作物产量和品质,同时也要采取优化灌溉、生物覆盖等土壤次生盐渍化防控措施来消除高水肥措施下的土壤潜在盐害,采取有机肥施用等土壤培肥措施来抑制高水肥措施下的土壤肥效流失趋势,采取适时地深耕深翻等农艺措施来缓解高水肥措施下的土壤板结趋势,达到耕地质量全面、持续发展的目标。本研究以夏玉米种植试验为例探讨了不同施肥措施对黄淮海平原地区中低产田改良条件下耕地综合质量动态的影响,对多年作物轮作种植条件下耕地综合质量动态规律的研究有待进一步开展。

参 考 文 献:

[1] 封丘县志编撰委员会. 封丘土壤[M]. 郑州: 中州古籍出版社,

1994.
[2] 谢承陶, 李志杰, 林治安. 黄淮海平原中低产土壤综合改良治理的任务和途径[J]. 农业现代化研究, 1989, 10(5): 28—30.
[3] 慕 兰, 慕 琦, 郑 义, 等. 河南省五大灌区土壤肥力现状及施肥对策[J]. 现代农业科技, 2007, 22: 104—106.
[4] 白由路, 李保国. 黄淮海平原盐渍化土壤的分区与管理[J]. 中国农业资源与区划, 2002, 23(2): 44—47.
[5] 中华人民共和国农业部. NY/T 497—2002 肥料效应鉴定田间试验技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
[6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
[7] 沈荣开, 张瑜芳. 作物水分生产函数与农田非充分灌溉研究述评[J]. 水科学进展, 1995, 6(3): 248—254.
[8] 裴 冬, 陈素英, 张喜英, 等. 太行山山前平原夏玉米优化灌溉制度研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 144—147.
[9] 李文银, 张永武. 聚类分析在山西省盐碱土土属分类中的应用初探[J]. 土壤学报, 1986, 23(2): 173—177.
[10] Rhoades J D, Chanduvi F, Lesch S. Soil Salinity Assessment: Methods and interpolation of electrical conductivity measurements [R]. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper, 1999, 57: 44—46.
[11] 中国土壤学会盐渍土专业委员会. 中国盐渍土分类分级文集[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989.
[12] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 76—136.
[13] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
[14] 王西娜, 王朝辉, 李生秀. 黄土高原旱地冬小麦/夏玉米轮作体系土壤的氮素平衡[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 759—764.

(英文摘要下转第 266 页)

Analysis of ecological vulnerability in Xinjiang based on its landscape pattern

HUANG Ying^{1,2,3}, BAO An-ming¹, LIU Hai-long¹, FENG Xian-wei^{1,2}, YANG Guang-hua^{1,2}

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. West China Normal University, Nanchong, Sichuan 637002, China)

Abstract: The ecological vulnerability of Xinjiang was assessed using a combined landscape pattern and ecosystem sensitivity approach. The vulnerability indexes of landscapes and the suitability indexes of regional ecological environment are developed by using the reciprocal of fractal dimension, fragmentation, sensitivity of land desertification, sensitivity of soil salinization, and sensitivity of soil erosion. The network covering the whole study area is used to sample the spatial vulnerability of ecological environment, thus, the map of vulnerability distribution of the ecological environment is derived, and the spatial patterns of the vulnerability is analyzed. The results show that: (1) The vulnerability of various landscape types was in the following decreasing order: unused lands > farmland > grassland > forest land > construction area > water area; (2) Significantly positive relationships were found between FN, SS, SD, SE and VI, and they can reflect the eco-environment issues well; (3) There is a good agreement between the predicted and actual distribution of *EVI* zones. *EVI* value tends to decrease with the decreasing of distance from the two big deserts and increase with the increasing of altitude; (4) Water resources, climatic conditions and human activities are the dominate factors affecting the spatial pattern of the regional ecological environment vulnerability.

Keywords: index of landscape structure; index of eco-sensitivity; index of vulnerability; Xinjiang

(上接第 238 页)

Assessment of farmland quality in the improvement process of mid-low yield lands under high water-fertilizer treatments in Huang-Huai-Hai Plain

YANG Jin-song, YU Shi-peng, LIU Guang-ming, LI Dong-shun

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: In order to study the impacts of high water-fertilizer treatments widely used in the improvement process of mid-low yield lands in Huang-Huai-Hai Plain on the comprehensive farmland quality, field experiment was conducted in Fengqiu, Henan Province. By calculating field yield, sampling and testing soil and plant, the comprehensive quality dynamics of soil and crops under different treatments were analyzed, and the weights of advantages and disadvantages of each treatment were assessed. The results show that the treatments of optimized fertilization and high water-fertilizer were beneficial to the increasing of water absorption ability of crop root, to the increasing of the fertilizer N use ratio by crops, to the increasing of crop yield and quality, and to the decreasing of soil alkalinity. However, the hardening of farmland soil appeared because of using current fertilization methods, especially using high water-fertilizer measure. The treatment of high extent fertilizer in the program of optimized fertilization wasn't good for the soil salt leaching, which might cause secondary soil salinization. The high water-fertilizer measure wasn't good for the increasing of nutrient preserving capability of farmland soil. Based on different weights of advantages and disadvantages of each treatment, the measures of optimized fertilization and high water-fertilizer can be used as the leading technique to improve mid-low yield lands and to increase crop yield and crop quality. Meanwhile, measures for preventing secondary soil salinization and for increasing soil fertility and scientific cultivation measures have to be combined and used to eliminate the disadvantages of high water-fertilizer measure and to increase the comprehensive farmland quality.

Keywords: high water-fertilizer measure; optimized fertilization; mid-low yield lands; farmland quality; Huang-Huai-Hai Plain