

# 冬小麦套作花生一年两熟制下 砂土养分平衡与培肥研究

王秋杰 李新端 寇长林

王兴仁 张福锁

(河南省农科院土肥所 郑州 450002)

(中国农业大学植物营养系)

## 摘 要

通过长期定位试验,研究了冬小麦套作花生轮作条件下不同施肥措施对作物产量、养分平衡及砂土培肥的效应,分析了砂土土壤养分的空间分布特征。结果表明,有机与无机肥配施明显地提高了砂土有机质和养分含量,是合理利用沙区资源、维持和提高土壤肥力的重要途径。

**关键词** 土壤肥力;养分平衡;培肥;间套轮作

随着沙区综合治理的进展和土壤肥力水平的提高,沙区轮作方式已由过去一年一熟和二年三熟向一年二熟或多熟间套复种轮作方式转变,复种指数逐年提高。间套轮作制作为生产实际中广为接受的措施为有效地利用沙区光、热、水、土和养分资源,增加作物产量提供了一条有效途径。但值得注意的是由于单位土地面积种植作物数和作物产量的增加,作物地上部分携走的矿质养分种类和数量增加,如不注重土壤—植物生态系统中养分投入,平衡施肥,将导致土壤养分亏缺。1991—1994年在开封砂土试验区进行小麦套作花生长期定位试验,其目的就在于探讨轮作周期的养分平衡及培肥效果,为沙区农业持续发展提供理论依据。

## 1 材料与方 法

试验在开封沙地试验站进行,供试土壤为粗砂潮土,其基本性质见表1。该区属暖温带过渡地区,光、热、水资源丰富,年均气温13—15℃,年日照时数2325—2427小时,光合有效辐射57—59千卡/cm<sup>2</sup>,年降水量550—750mm,≥10℃积温4500—4000℃,利于一年二熟或多熟种植。试验采用田间微区随机区组法,小区面积12m<sup>2</sup>,共设7个处理,分别为①CK、②NP、③NK、④PK、⑤NPK、⑥NPK+有机肥3000kg/mu(NPK+M1)、⑦NPK+有机肥6000kg/mu(NPK+M2),重复3次。氮、磷和钾的用量分别为18,12和18kg/mu,肥料品种分别为尿素(含N46%)、过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>12%)和硫酸钾(含K<sub>2</sub>O50%),有机肥为优质骡马粪(含N0.4%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>0.2%、K<sub>2</sub>O0.4%)。磷钾肥和有机肥均作小麦底肥一次施入,氮肥分配为小麦底肥、小麦拔节期追肥、花生苗期追肥各占1/3。每季作物收获后记录产量,并按常规分析法分析土壤养分含量和植株地上部分的N、P、K含量。

表1 供试土壤基本性质

土 层 (cm)	物 理 性 质			化 学 性 质					
	物理性 砂粒 (%)	物理性 粘粒 (%)	容 重 (Mg/m <sup>3</sup> )	有机质 (g/kg)	全 氮 (g/kg)	速效磷 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (mg/kg)	速效钾 (K <sub>2</sub> O) (mg/kg)	水解氮 (mg/kg)	pH (H <sub>2</sub> O)
0—30	91.8	8.2	1.50	4.1	0.43	11.2	86.4	32.8	7.8
30—60	89.6	10.4	1.52	3.8	0.36	8.3	72.1	26.3	8.2
60—90	83.5	16.5	1.54	2.2	0.31	5.2	65.2	21.2	8.6

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥的增产效应

试验结果表明,不论化肥单施或有机肥与无机肥配合施用均有显著的增产效果,但以有机与无机肥配合施用的增产效果最佳。表2结果表明,单施化肥小麦增产33.2—103.1%,花生增产15.5—52.6%,而且以NP或NPK配施效果最好,NK和PK效果次之。有机肥与无机肥配合施用小麦增产126.9—136.1%,花生增产69.4—77.2%,其增产幅度远远高于单施化肥的处理,这主要是由于增施有机肥,增加了砂土保水保肥能力,从而提高了化肥利用率及化肥增产效益。据测定有机肥与氮磷化肥配施对土壤中NO<sub>3</sub>-N分布有明显影响,能有效阻止NO<sub>3</sub>-N向下部土壤迁移,对防止地下水污染有明显作用。

表2 施肥对作物产量的影响 (kg/mu)

作 物	处 理	4年平均产量		比对照增产	
		秸 秆 (kg/mu)	经济产量 (kg/mu)	kg/mu	%
小 麦	CK	211.6	181.5	—	—
	NP	354.3	321.8	140.3	77.3
	NK	321.8	268.2	86.7	47.8
	PK	251.6	241.7	60.2	33.2
	NPK	431.7	368.6	187.1	103.1
	NPK + M1	483.8	311.8	230.3	126.9
	NPK + M2	514.2	428.5	247.0	136.1
花 生	CK	201.3	243.6	—	—
	NP	289.4	346.1	102.5	42.1
	NK	241.7	281.4	37.8	15.5
	PK	244.8	298.6	55.0	22.6
	NPK	312.3	371.8	128.2	52.6
	NPK + M1	321.8	412.6	169.0	69.4
	NPK + M2	346.3	431.7	181.1	77.2

### 2.2 不同施肥处理对作物地上部及籽实养分含量的影响

作物秸秆和籽实中的养分水平受控于土壤养分状况。施肥处理的小麦和花生地上部N、P、K的含量比不施肥的明显提高,而且产量也显著提高,表明无肥情况下土壤养分难以满足作物增产的需要。小麦和花生地上部养分含量与作物产量呈极显著正相关。相关方程为:

$$Y_{\text{小麦 N}} = 97.001 + 27.799X \quad (r=0.997 \quad n=7)$$

$$Y_{\text{小麦 P}} = 73.147 + 60.943X \quad (r=0.993 \quad n=7)$$

$$Y_{\text{小麦 K}} = 81.994 + 26.025X \quad (r=0.994 \quad n=7)$$

$$Y_{\text{花生 N}} = 136.774 + 12.0895X \quad (r=0.996 \quad n=7)$$

$$Y_{\text{花生}} P = 96.261 + 82.346X \quad (r=0.996 \quad n=7)$$

$$Y_{\text{花生}} K = 103.523 + 32.443X \quad (r=0.995 \quad n=7)$$

### 2.3 施肥对土壤有机质消长的影响

土壤有机质是决定土壤肥力水平高低的重要因素之一。通常植物吸收的氮素约45—50%来自于土壤有机质，土壤中很大一部分磷素也存在于土壤有机质中。土壤有机质处于形成和分解的相对平衡之中。在小麦套作花生一年二熟轮作制下，4年后0—90cm土层土壤有机质含量均有不同程度的提高，但以表土层(0—30cm)有机质含量提高的幅度最大，60—90cm土层土壤有机质变化较小。单施化肥的处理，由于小麦和花生根系的残留，明显提高了表层(0—30cm)土壤有机质含量，增加幅度在24.4—75.6%之间，有机肥和化肥配合施用对土壤有机质含量增加的效果更为显著，4年间表层有机质含量增加了97.6—114.6%。从而表明有机与无机肥配合施用，是砂土培肥的重要途径。

### 2.4 土壤养分的空间分布特征

从表3可以看出施肥区土壤比对照区土壤肥力均有所提高，而且以有机肥与无机肥配合施用效果最为明显，土壤化学性质均有明显的改善。但相对于基础土样，NP、NK及PK三处理，由于分别未施K、P和N化肥，4年后三处理土壤中相应未施入元素的速效含量均有所降低，其中0—30cm土层以速效钾降低最大，为29.1%，其次为速效磷22.3%，水解氮为12.5%。对照的三种元素的速效含量均有所降低。

表3 4年后土壤养分空间分布特征

处 理	层 次 (cm)	有机质 (g/kg)	全 磷 (g/kg)	全 氮 (g/kg)	全 钾 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	水解N (mg/kg)
CK	0—30	4.4	0.81	0.43	24.2	6.8	67.2	22.4
	30—60	4.1	0.66	0.38	23.6	7.2	71.2	23.2
	60—90	2.3	0.58	0.26	22.2	4.4	65.1	21.2
NP	0—30	6.6	0.88	0.55	24.6	12.8	61.3	34.0
	30—60	4.8	0.66	0.46	23.6	8.1	68.6	28.2
	60—90	2.4	0.61	0.28	22.2	5.2	65.2	24.1
NK	0—30	5.8	0.81	0.48	25.1	8.7	91.2	36.4
	30—60	4.3	0.66	0.42	23.8	6.2	81.4	33.3
	60—90	2.3	0.61	0.24	22.8	5.1	71.2	26.7
PK	0—30	5.1	0.88	0.44	25.6	13.2	89.6	28.7
	30—60	4.3	0.72	0.41	24.2	11.6	81.4	26.1
	60—90	2.3	0.64	0.24	23.8	5.7	73.6	24.3
NPK	0—30	7.2	0.92	0.64	25.6	19.6	96.8	41.2
	30—60	5.1	0.81	0.53	24.2	12.8	84.3	38.4
	60—90	2.6	0.66	0.31	23.8	6.1	71.2	28.6
NPK + N1	0—30	8.1	1.12	0.78	25.8	21.6	101.6	46.2
	30—60	5.8	0.84	0.55	24.2	15.2	88.7	38.6
	60—90	2.8	0.72	0.32	23.6	6.1	78.2	31.2
NPK + M2	0—30	8.8	1.14	0.91	26.2	28.8	111.4	52.3
	30—60	6.2	0.89	0.64	25.1	18.2	88.0	41.2
	60—90	3.1	0.83	0.36	24.2	6.4	75.2	34.1

土壤养分的空间分布特征表现为土壤有机质及全量N、P、K在0—90cm土层内从上到下递减，而土壤速效N、P、K在不施肥的情况下，表现出0—30cm表土层的含量略低于30—60cm土层含量的趋势，但NPK及NPK + M1和NPK + M2三个处理仍表现为从上到下递减的趋势。其它只配施两种元素化肥的三个处理其0—30cm和30—60cm土层相应未施入

元素的速效含量的差异减小, NP 处理的速效钾含量也表现出 30—60cm 比表层高的趋势。这表明表层 (0—30cm) 是植物根系集中分布区和养分大量耗竭区, 如不注重矿质养分的投入会导致营养元素的大量亏缺。同时也应值得注意的是为作物根系下扎创造良好条件, 使之充分利用深层土壤养分, 减少肥料损失。

## 2.5 土壤养分平衡

土壤养分平衡是指单位面积土壤在一定时间内矿质养分的输入与输出之平衡。由于本试验条件下的轮作制为禾本科和豆科作物轮作, 故要考虑花生根瘤固氮及其土壤氮素残留, 据研究, 花生氮素 2/3 靠自身固氮, 1/3 从土壤中吸收, 花生固氮作物遗留在土壤中氮素大约为固氮量的 20%。花生 N、P、K 残留比例为 10.2%, 1% 和 6.1%。沙区骡马粪腐殖化系数为 0.35%, 小麦和花生根茬腐殖化系数为 0.45%。根据养分输入与小麦和花生从土壤中携出的养分数量 (表 4) 计算出小麦套作花生一年两熟制下土壤养分平衡概况如表 5。从表 5 可以看出, 由于施肥增加了作物产量, 养分的携出量随之增加, 在不施肥或施肥不合理的情况下, 土壤养分处于严重亏缺状态, 化肥配施合理或有机与无机肥配合的情况下, 土壤养分出现盈余。说明合理施用化肥, 平衡施肥, 有机肥与无机肥相结合, 是培肥砂土, 实现沙区农业持续增产的有效途径。

表 4 小麦和花生两年从土壤中携出的养分数量 (kg/mu)

处 理	小 麦									花 生								
	N			P			K			N			P			K		
	S*	CT*	T*	S	CT	T	S	CT	T	S	CT	T	S	CT	T	S	CT	T
CK	0.66	2.45	3.11	0.36	1.49	1.85	0.89	2.65	3.54	3.26	5.21	8.47	0.68	1.02	1.70	2.17	2.05	4.22
NP	1.81	5.86	7.67	0.92	3.09	4.01	1.91	6.89	8.80	6.14	11.14	17.28	1.19	1.83	3.02	3.53	3.67	7.20
NK	1.54	4.88	6.42	0.68	2.20	2.88	1.80	6.11	7.91	4.37	8.47	12.84	0.92	1.35	2.27	2.95	2.98	5.93
PK	1.83	4.84	5.07	0.70	2.32	3.02	1.46	4.71	6.17	4.43	8.42	12.85	1.03	1.52	2.25	2.97	2.93	5.90
NPK	2.33	7.81	10.14	1.38	3.54	4.92	2.68	8.55	11.23	7.25	12.75	20.00	1.37	2.08	3.45	4.09	4.16	8.25
NPK + M1	2.61	8.73	11.34	1.55	4.04	5.59	3.00	9.55	12.55	7.82	14.89	22.71	1.48	2.31	3.79	4.57	4.99	9.56
NPK + M2	2.67	9.09	11.76	1.59	4.20	5.79	3.19	9.94	13.13	8.42	15.58	24.00	1.59	2.42	4.01	4.92	5.22	10.14

表 5 小麦套作花生轮作制下土壤养分平衡概况 (kg/mu)

项 目	CK	NP	NK	PK	NPK	NPK + M1	NPK + M2
N	收入项	2.6	20.6	20.6	2.6	20.6	24.8
	支出项	5.93	13.4	10.70	9.35	16.8	18.90
	盈 亏	13.33	7.1	9.90	-6.75	3.80	5.90
P	收入项	0	12.0	0	12	12	14.1
	支出项	3.35	7.03	5.15	5.57	8.37	9.38
	盈 亏	-3.35	4.97	-5.15	6.43	3.63	4.72
K	收入项	2.3	2.3	20.3	20.3	20.3	24.5
	支出项	7.76	16.00	13.84	19.48	19.48	22.11
	盈 亏	-5.46	-13.7	6.46	0.82	0.82	2.39

## 3 讨论

土壤是农业生产的基础, 土壤肥力的提高和维持是农业持续发展的关键, 从土壤—植物  
(下转第 217 页)

由于水稻生长期土壤以还原为主, 土壤中的反硝化过程使  $\text{NO}_3^-$  不能大量存在, 4次采样结果均表明, 从 30—90cm, 土壤溶液中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的浓度均很低, 100个样品的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度无一超过一类饮用水质标准, 且与氮肥用量无明显的相关关系。所有土壤溶液样品中几乎都可以测出有机态 N 的存在, 但其浓度不高, 在整个水稻生长期, 浓度相对比较稳定, 平均值均在  $1\text{mg/LN}$  以下, 且当地施氮量和减氮处理之间无显著差异。

上述结果说明, 虽然当地长期施用大量的氮肥于水稻, 但由于还原环境, 溶液中氮以  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  为主, 土壤对  $\text{NH}_4^+$  吸附, 使其不能向地下水迁移。因此, 在不发生大量径流的情况下, 可以认为水稻生长期不至于发生氮素对水质的污染。但另一方面, 由于高肥力的水稻土, 水稻产量对氮素施用量的反应并不很显著, 从经济施肥的角度出发, 应考虑减少一定数量的氮肥施用量和改变氮肥的施用模式。冬季的氮素淋失和长期减肥条件下土壤肥力的变化有待长期的研究结果来说明。

### 参 考 文 献

- [1] 熊毅, 中国太湖地区水稻土, 上海科学技术出版社, 1980。
- [2] 王维君, 蔡祖聪, 任立涛, 介绍一种原位采集土壤溶液的方法, 土壤学报, 1995, 32 (增刊): 232—236。
- [3] Cai, Z., H. Xu, H. H. Zhang and J. S. Jin, Pedosphere. 1994, 4 (4): 297—306。

(上接第 208 页)

系统中养分循环的特点来看, 如果地上部分的收获物全部携出, 单纯依靠作物根系以及土壤微生物等的残体, 无法补偿土壤肥力的下降和有机质的消耗。禾本科作物和豆科作物轮作的养地作用, 随着生产条件的改善和肥料施用量的增加在减小, 因此在小麦套作花生的情况下, 必须强调增施化学肥料, 有机肥与无机肥相结合, 才能有效地促进土壤养分的积累, 维持土壤有机质平衡并且增加作物产量。合理平衡地施用化肥, 可以增加根系生物量, 从而增加土壤有机质贮量, 但这种作用与有机和无机肥配合施用相比, 效果较小。有机肥与无机和无机肥配合施用相比, 效果较小。有机肥与无机肥配合是合理利用沙区资源, 维持和提高土壤肥力的重要途径。有机肥与化学氮肥配合施用可协调化学氮肥的供肥过程, 而且能阻止  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  向下部土壤迁移, 对改善土壤及防止地下水污染有明显作用。

### 参 考 文 献

- [1] 曹志洪、朱永官、廖海秋等, 苏南稻麦两熟制下土壤养分平衡与培肥长期试验, 土壤, 1995, 27 (2): 60—63。
- [2] 陈伦寿、李仁岗, 农田施肥原理与实践, 农业出版社, 1984, 209—221。
- [3] 王秋杰, 开封沙区土壤培肥措施研究, 土壤肥料, 1992 (4)。