

# 有机替代提高玉米产量、氮素吸收效率和土壤综合肥力

---



谢军 石孝均

重庆 西南大学

2019.08.08

# 目录

1

**研究背景**

---

2

**试验设计**

---

3

**试验结果**

---

4

**试验结论**

---

# 目录

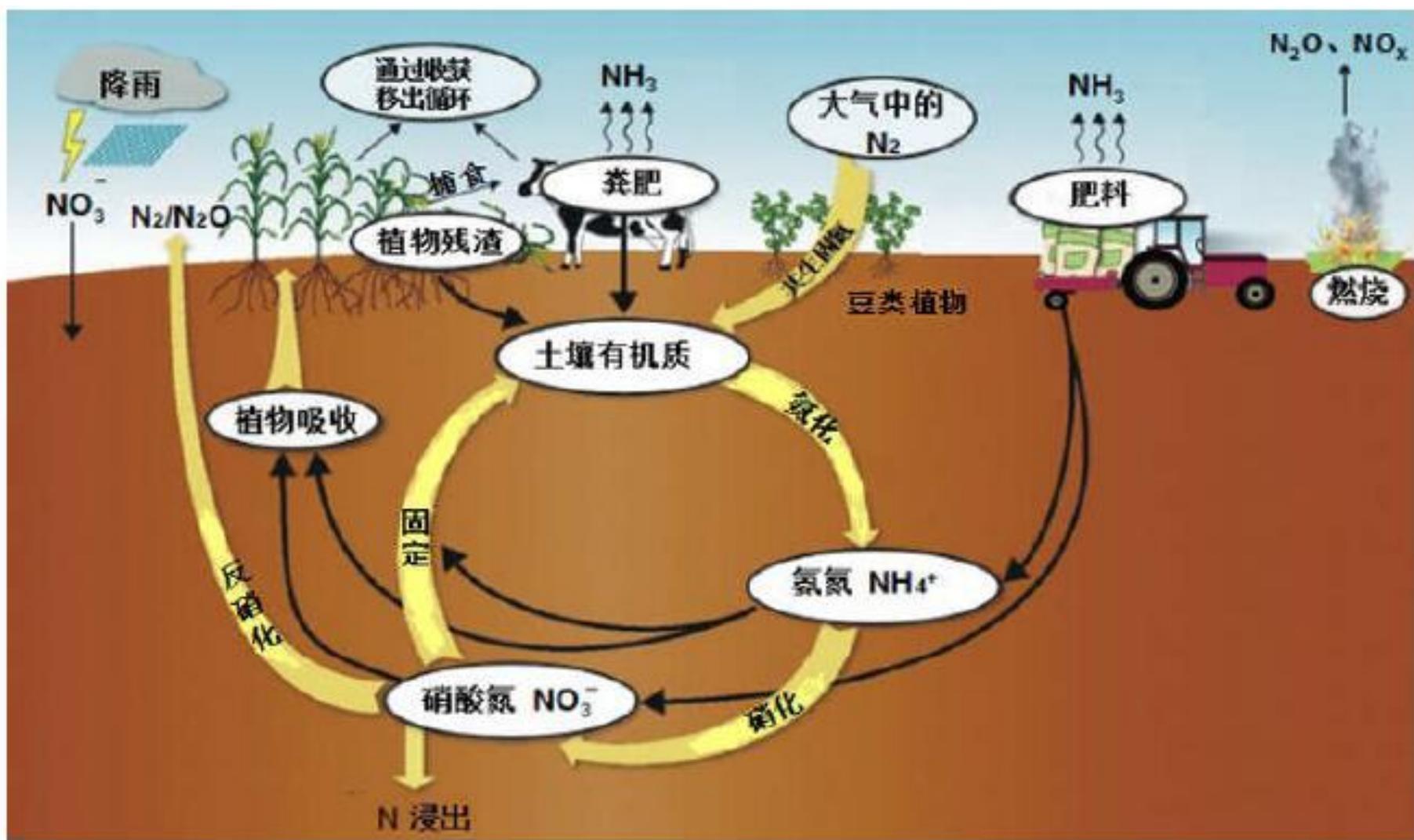
- 1 研究背景

---
- 2 试验设计

---
- 3 试验结果

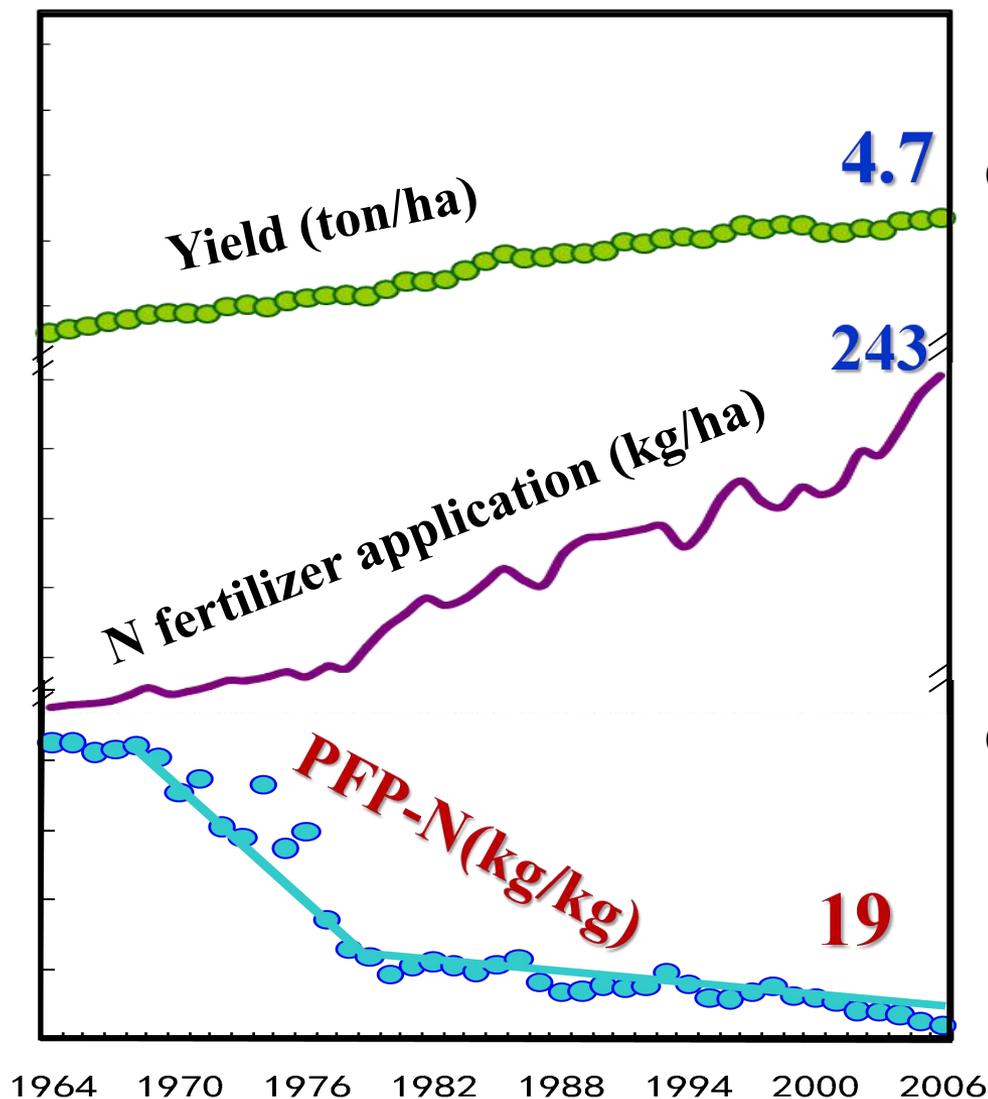
---
- 4 试验结论

---



我国氮肥利用率低，氮素损失严重，氨挥发是氮素损失的主要途径，氨挥发损失的氮素占总施氮量的10%-60% (Beusen et al., 2008; Cai et al., 2011)，过量的氮肥投入导致我国农田生态系统中氮素整体处于盈余状态 (巨晓棠和谷保静 2014)，大量的肥料氮残留在土壤中 (吴永成等 2011)，同时硝态氮的淋洗也是氮素损失的重要途径 (Ju et al., 2007)。

# 过量施氮导致氮素利用效率降低



- 我国每公顷平均化肥施用量为**328.5 kg/ha**，是美国的**2.6倍**，欧盟的**2.5倍**
- 但是化肥当季利用率仅为**30%**

# 西南地区化肥投入量大，肥料利用效率低

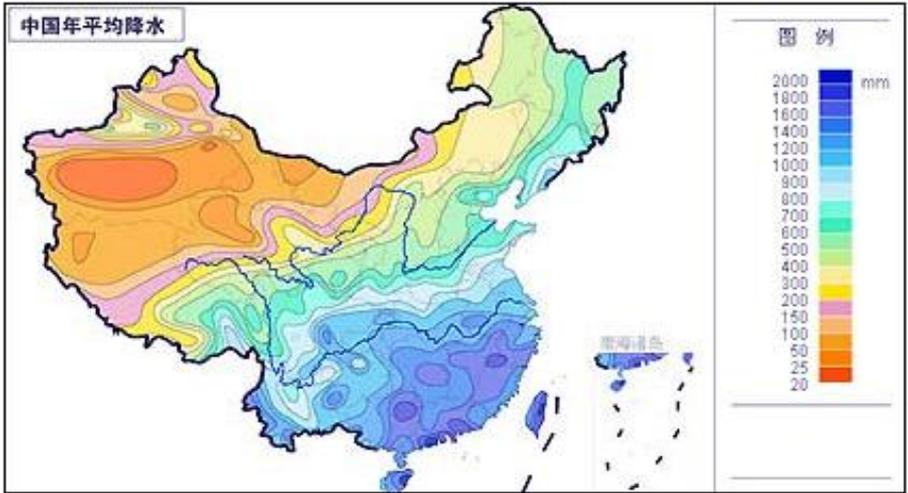
表 1 1996—2010 年重庆市农业经济发展与化肥投入强度情况

年份	化肥投入强度(kg/hm <sup>2</sup> )	人均种植业产值(元)*	年份	化肥投入强度(kg/hm <sup>2</sup> )	人均种植业产值(元)*
1996	182.81	667.10	2004	224.16	784.04
1997	193.15	680.90	2005	229.92	813.25
1998	196.93	691.74	2006	262.01	769.0
1999	197.72	699.11	2007	268.99	880.34
2000	200.51	704.05	2008	274.15	940.44
2001	204.11	711.06	2009	275.58	997.37
2002	211.77	712.55	2010	273.32	1054.74
2003	216.47	740.55			

地区	肥料利用率 (%)		
	氮肥	磷肥	钾肥
四川	33.3	20.7	42.6
重庆	31.1	20.4	37.5
贵州	33.3	24.2	32.8
西南地区	32.8	22.4	36.4

(徐春丽, 2018)

(洪业兴, 2013)



西南地区降雨丰富、土壤淋洗量较高，养分容易随降水而流失，从而导致肥料利用效率低

(闫波, 2015)

# 相比化学肥料，有机肥提供的养分更加全面，更有益于土壤健康

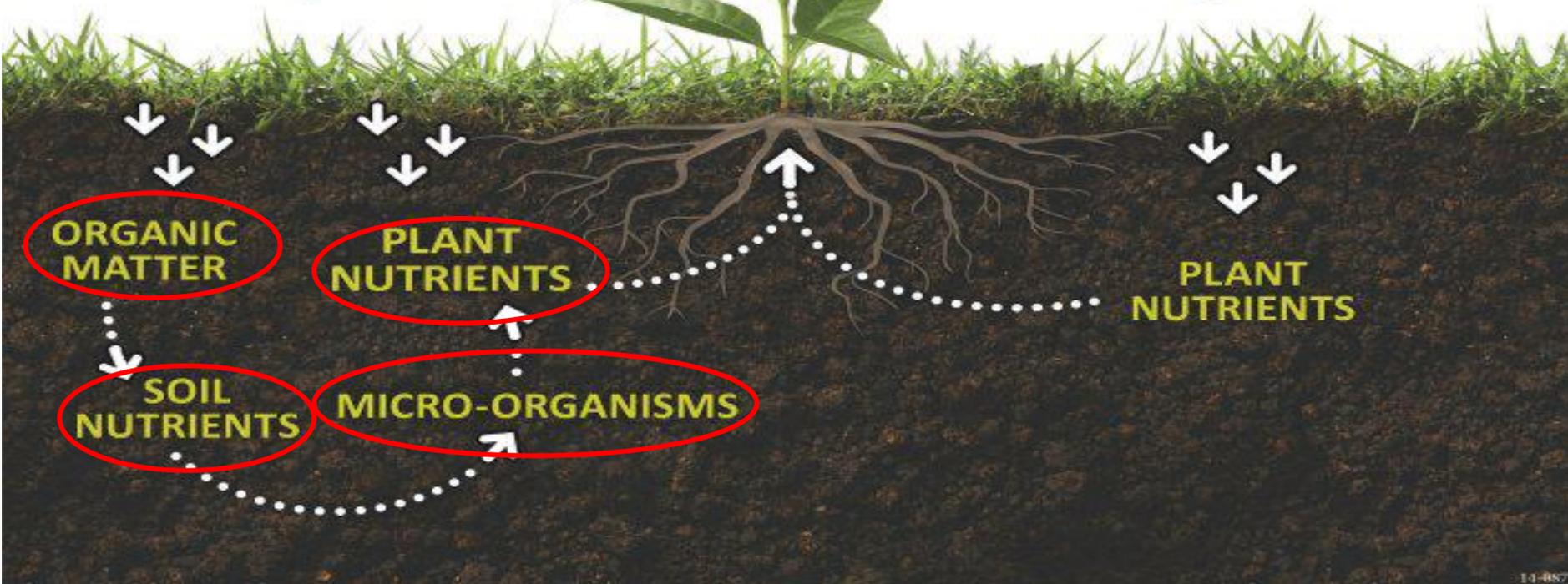
## ORGANIC FERTILIZERS

Feed the soil

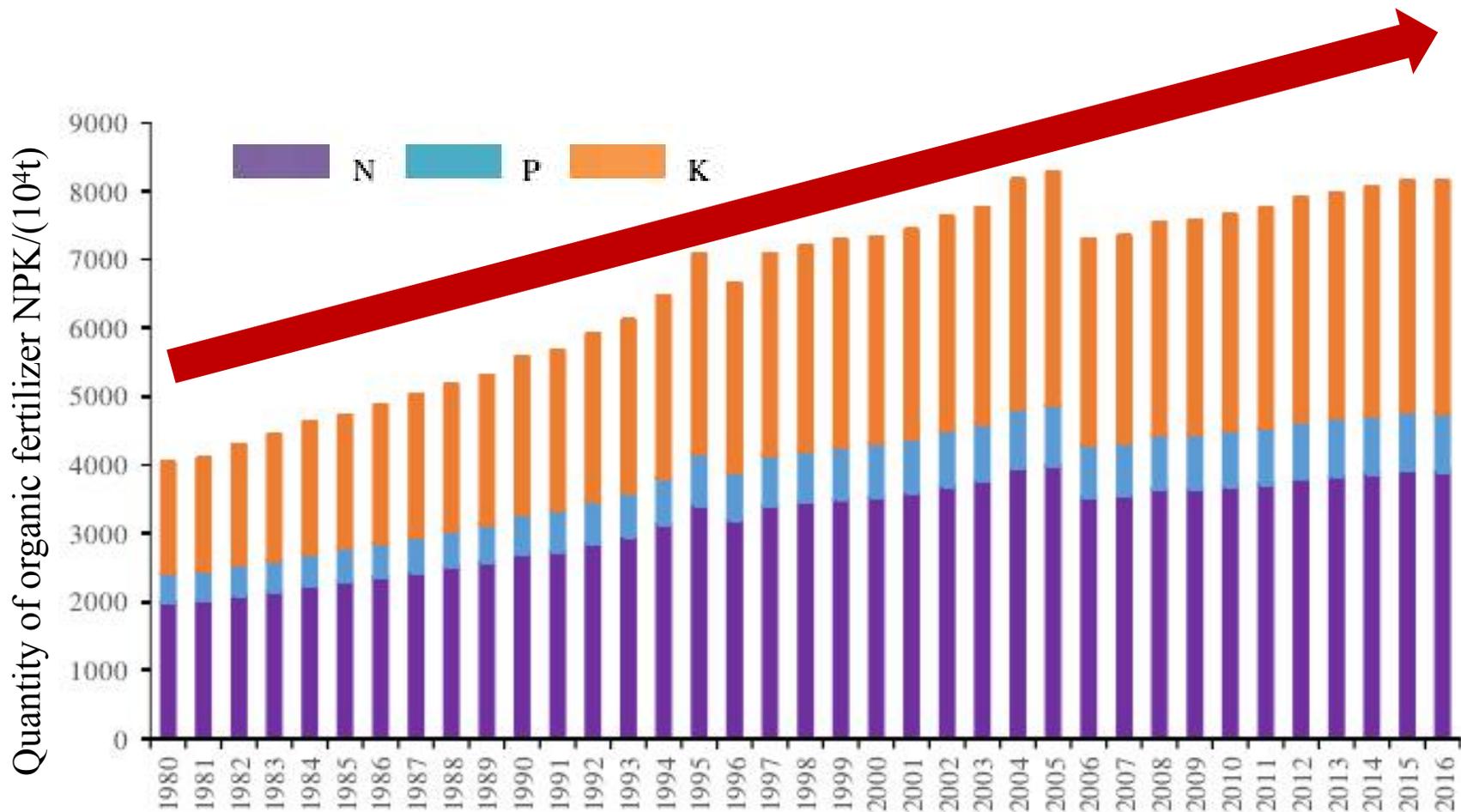


## CHEMICAL FERTILIZERS

Feed the plant



# 我国有机肥资源丰富，并且呈逐年增加的趋势



# 西南地区有机肥资源丰富，但采用率低

表 2 重庆市畜禽粪污类资源(单位:万 t)

区域	粪污总量	养分总量			养分折纯		
		总 N	总 P	总 K	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
渝中和渝西	1 875.48	10.85	8.52	11.23	10.85	19.51	13.59
渝东北	1 936.58	10.56	6.98	11.60	10.56	15.98	14.04
渝东南	1 288.83	6.80	3.79	7.30	6.80	8.68	8.83
全市	5 100.89	28.21	19.29	30.13	28.21	44.17	36.46

表 3 重庆市农田养分投入量与畜禽粪污养分量比较(单位:万 t)

项目	化肥养分投入量	畜禽粪污养分资源量		经商品化处理部分		未经商品化处理部分	
		数量	与投入相比	数量	与投入相比	数量	与投入相比
N	61.56	28.21	-33.35	2.82	-58.74	25.39	-36.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	22.91	44.17	+21.27	4.42	-18.49	39.76	+16.85
K <sub>2</sub> O	11.55	36.46	+24.90	3.65	-7.91	32.81	+21.26
合计	96.02	108.84	+12.82	10.88	-85.14	97.96	+1.94

注：“+”代表比农业生产养分投入量多；“-”代表比农业生产养分投入量少。

(赵敬坤等, 2016)

# 有机替代是实现化肥零增长的重要途径



## 中华人民共和国农业部

Ministry of Agriculture of the People's Republic of China

处理 Treat.	有机质 OM (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)
CK	9.18 d	0.68 d	4.63 d	50.00 c
N	11.05 c	0.92 c	3.94 d	47.51 c
NPK	12.21 c	0.93 c	13.34 c	67.41 b
M	17.98 b	1.31 b	59.75 b	74.31 b
MNPK	20.19 a	1.48 a	79.33 a	97.48 a

(魏猛等, 2017)

处理 Treatment	氮素年吸收量 N uptake by rice (kg·ha <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )	氮素利用率 Nitrogen use efficiency (%)
PK	130.3±34.6b	-
NPK	208.9±34.6a	26.2±4.2b
M	234.4±38.2a	34.7±3.4a
NPKM	239.1±35.0a	36.3±2.2a

(徐明岗等, 2008)

### 农业部关于印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》的通知

日期: 2015-03-18 00:00 发布单位: 农业部种植业管理司 来源:

下载文件: 农农发〔2015〕2号-农业部关于印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》的通知.CEB

为贯彻落实中央农村工作会议、中央1号文件和全国农业工作会议精神，紧紧围绕“稳粮增收调结构，提质增效转方式”的工作主线，大力推进化肥减量提效、农药减量控害，积极探索产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的现代农业发展之路，农业部制定了《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》，现印发给你们，请结合本地实际，细化实施方案，加大工作力度，强化责任落实，有力有序推进，确保取得实效。

农业部

2015年2月17日

# 目录

1

研究背景

---

2

试验设计

---

3

试验结果

---

4

试验结论

---

# 试验1: 渗漏池养分小区



Treatments	Vegetable(kg/ha)				Maize(kg/ha)			
	Organic N	N	P2O5	K2O	Organic N	N	P2O5	K2O
CK	0	0	0	0	0	0	0	0
PK	0	0	90	150	0	0	90	90
FP	0	375	90	150	0	225	90	0
OP	0	300	90	150	0	180	90	90
OM	300	0	0	0	180	0	0	0
MF	150	150	0	0	90	90	0	0

轮作系统: 蔬菜-玉米轮作; 2007-2010: 榨菜; 2011-2019: 大白菜

## 试验2：紫色土长期定位实验



# 试验2：紫色土长期定位实验

CK	Fallow	Drainage ditch	N	Drainage ditch	NP
NPK			PK		NK
NPK+M			$P(NK)_{Cl} + S$		1.5(NPK)+S
Rice-Rape Rotation			S		NPK+S

- 小区面积120 m<sup>2</sup>
- 每季肥料施用量  
150-135kg/ha N  
75-60kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
75-60kg/ha K<sub>2</sub>O
- M和S分别代表有机肥和秸秆。每年在小麦收获后施用有机肥和秸秆还田，有机肥和秸秆施用量分别为22.5t/ha、7.5 t/ha
- 1991年秋季开始小麦-水稻轮作

# 目录

1

研究背景

---

2

试验设计

---

3

**试验结果**

---

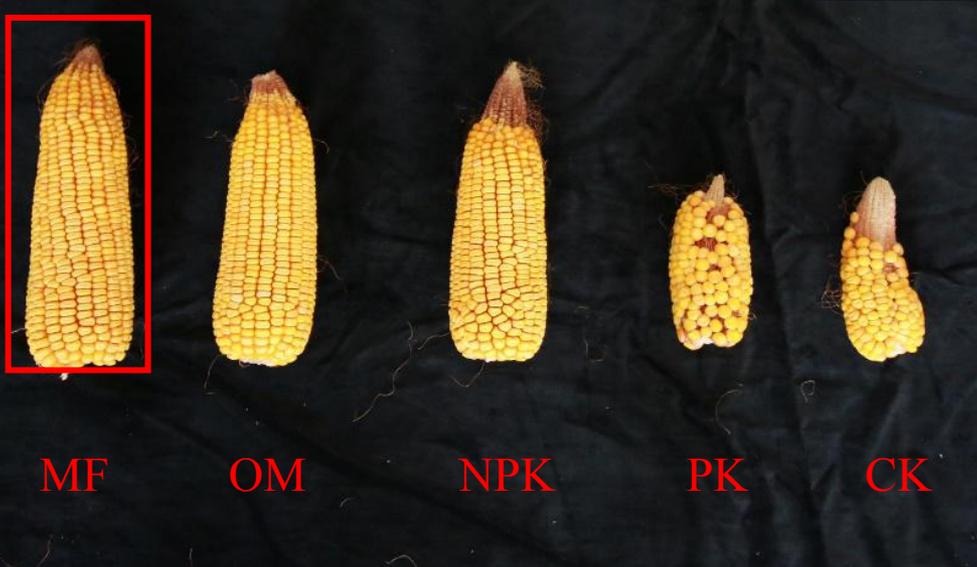
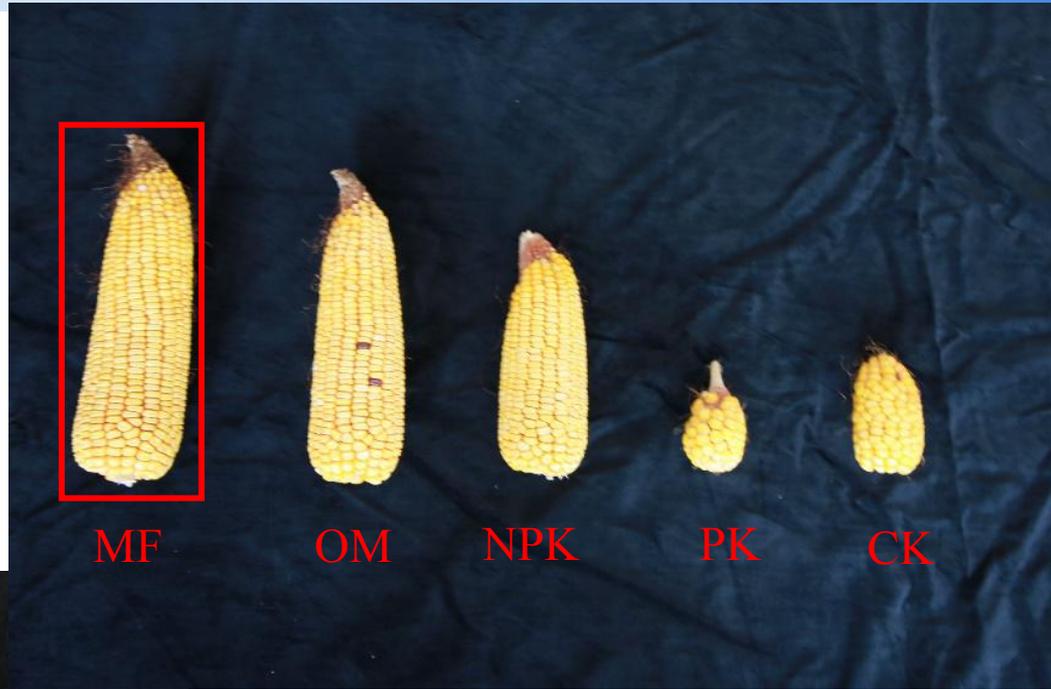
4

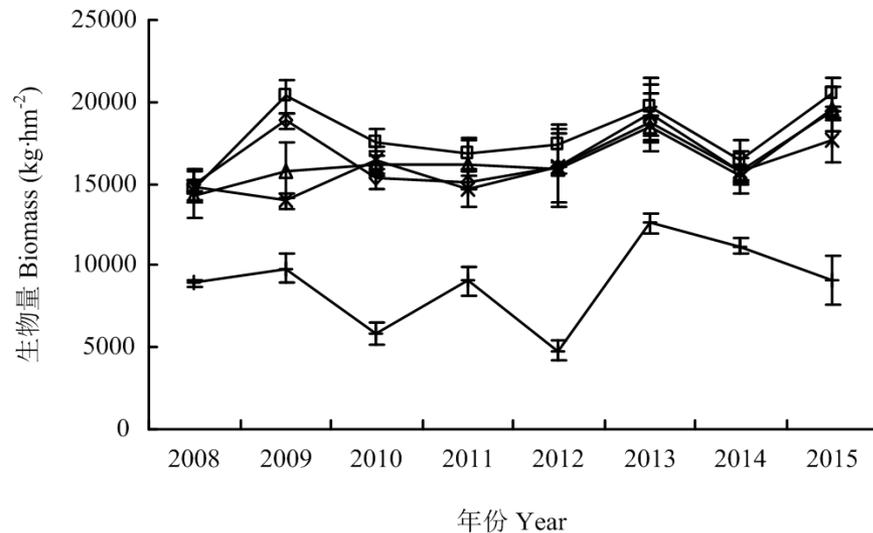
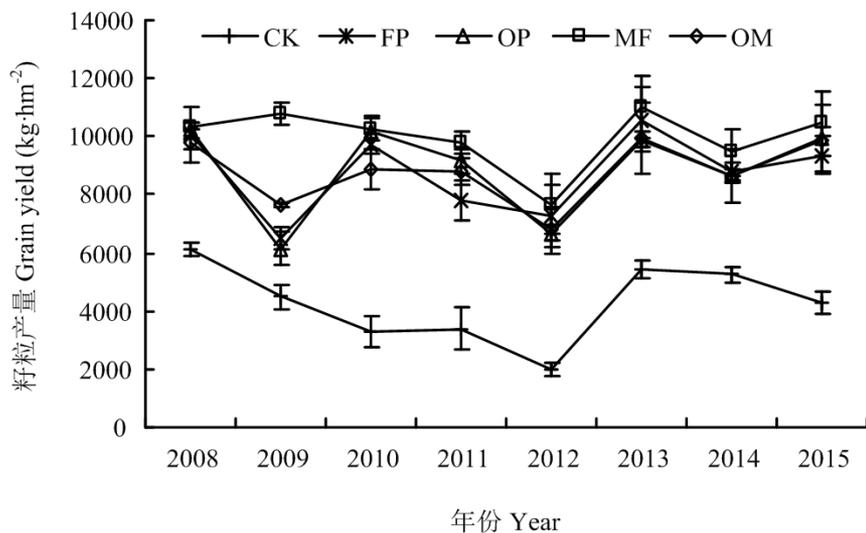
试验结论

---

# 氮素利用效率

2017年不同施肥处理对玉米  
产量的影响





Dynamic change of maize yield and biomass with experiment years as affected by long-term fertilization

Maize yield, variation, sustainable index, biomass and harvest index as affected by long-term fertilization (2008-2015)

Treatments	Grain yield (kg/ha)	CV(%)	SYI	Biomass (kg/ha)	HI(%)
PK	4283c	31.4	0.482	8906c	48.4c
FP	8776b	16.5	0.692	16093b	54.5ab
OP	8863b	18.2	0.706	16495b	54.0b
MF	9974a	10.5	0.811	17907a	56.2a
OM	8784b	12.6	0.774	16733b	53.0b

有机肥氮替代部分化肥氮能够提高作物产量、可持续性指数和收获系数，降低产量的变异系数。

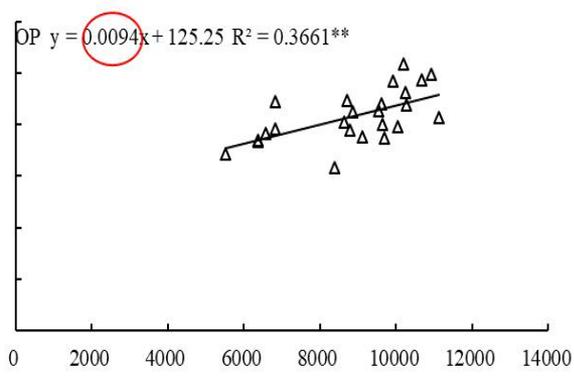
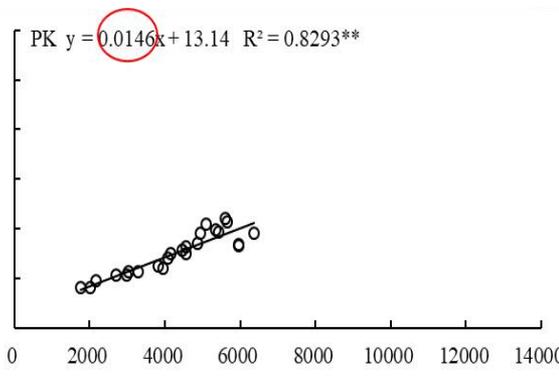
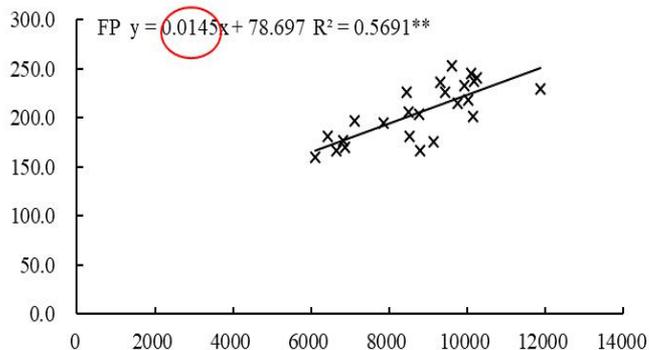
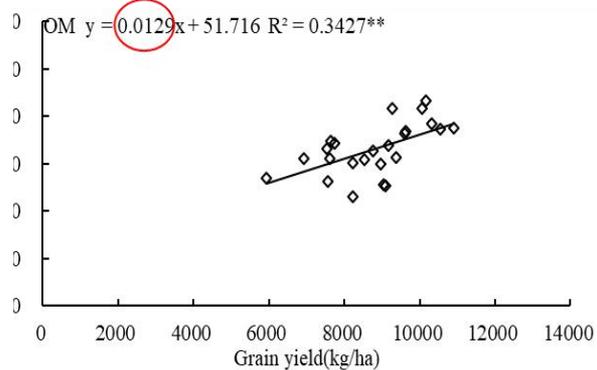
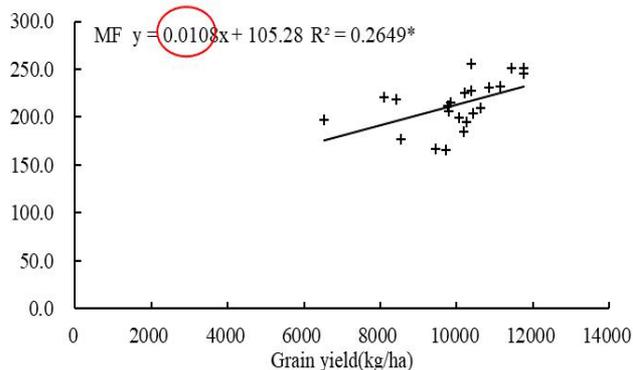
Accumulation of nitrogen in grain and straw and apparent equilibrium in 8 years as affected by different fertilization (2008-2015)

Treatments	Total input of nitrogen in 8 years (kg)	Accumulation of nitrogen in 8 years (kg)			Balance of nitrogen(kg)	Apparent recovery efficiency (RE <sub>N</sub> ) %
		Grain	straw	Above ground		
PK	0	382.1c	221.8c	603.9c	-603.9	-
FP	1800	1047.7a	599.4a	1647.1a	152.9	58.0b
OP	1440	1069.7a	598.6a	1668.3a	-228.3	73.9a
MF	1440	1144.8a	559.2a	1704.0a	-264.0	76.4a
OM	1440	883.5b	438.5b	1321.9b	118.1	49.9b

Dynamic change of N efficiency in maize in experiment of 8 years as affected by long-term fertilization (2008-2015)

Treatment	PFP <sub>N</sub> (kg·kg <sup>-1</sup> )	NHI (%)	FCR <sub>N</sub> (%)	PE <sub>N</sub> (kg·kg <sup>-1</sup> )
FP	39.0c	63.3b	51.0b	35.0c
OP	49.2b	63.9b	51.0b	34.1c
MF	55.4a	67.4a	57.3a	42.0b
OM	48.8b	66.6a	51.5b	53.8a

有机肥氮替代部分化肥氮能够提高偏生产力、氮收获指数、肥料氮贡献率、生理效率和总表观利用率。

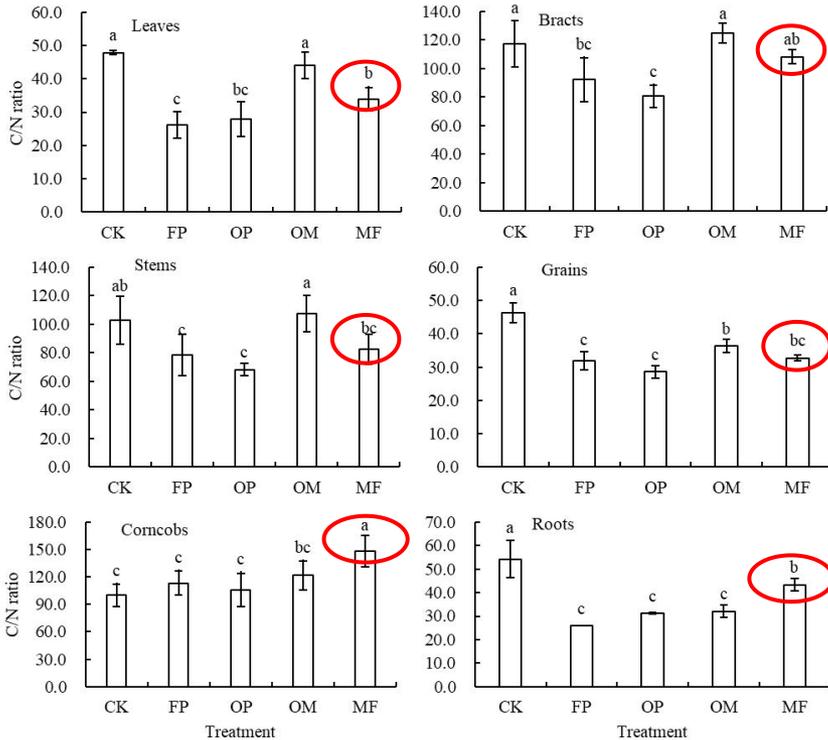
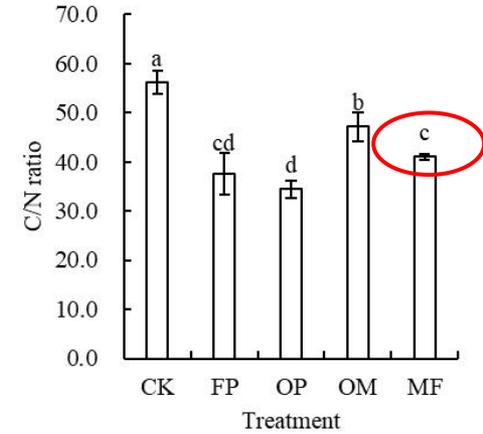


Relationship between nitrogen uptake above ground and maize yield under different fertilization(2008-2015)

每生产1000kg玉米籽粒， **PK**、**FP**、**OP**、**MF** 和**OM** 处理的氮素吸收量分别为**14.6 kg**，**14.5 kg**，**9.4 kg**，**10.8 kg** and **12.9 kg**

# 2016年不同施肥处理下玉米各部位碳氮

Nutrient	Treatment	Leaves	Bracts	Stems	Roots	Corncobs	Grains	The whole plant
C	CK	316.4a	324.4c	332.6c	363.1ab	353.1b	373.1a	350.6b
	FP	322.0a	352.5b	389.3a	356.0b	380.3ab	361.4a	361.2ab
	OP	334.4a	378.4a	370.2ab	350.9b	354.3b	359.6a	358.3ab
	OM	312.0a	377.2a	370.0ab	364.8ab	400.1a	360.9a	360.1ab
	MF	315.8a	382.6a	348.3bc	372.2a	389.8a	377.0a	367.5a
N	CK	6.6c	2.8d	3.3c	6.7d	3.5a	8.1d	6.3d
	FP	12.5a	3.9b	5.1ab	13.7a	3.4a	11.4b	9.7ab
	OP	12.2a	4.7a	5.4a	11.2b	3.4a	12.6a	10.4a
	OM	7.1bc	3.0cd	3.5c	11.4b	3.3a	9.9c	7.7c
	MF	9.4b	3.5bc	4.3bc	8.6c	2.7b	11.5ab	9.0b



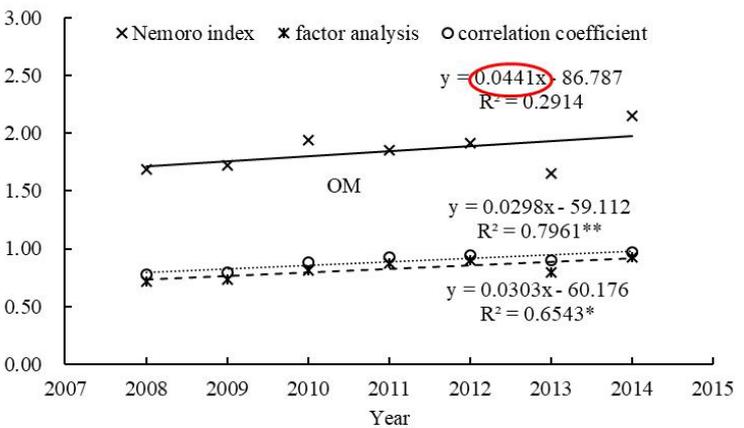
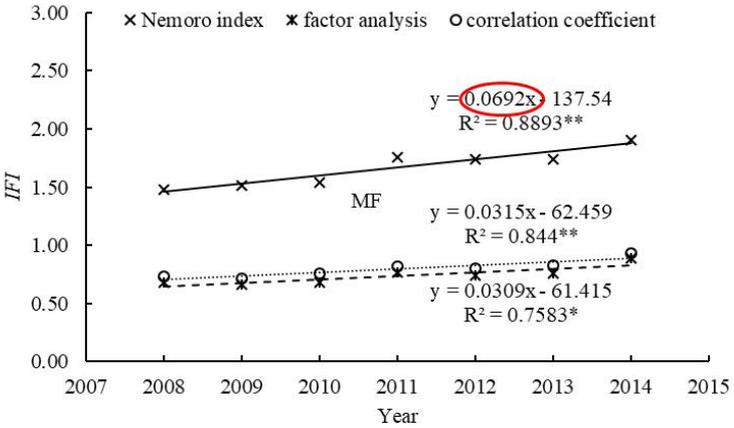
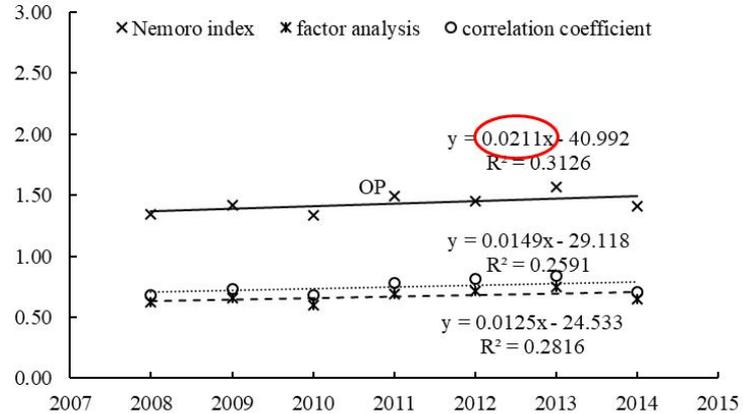
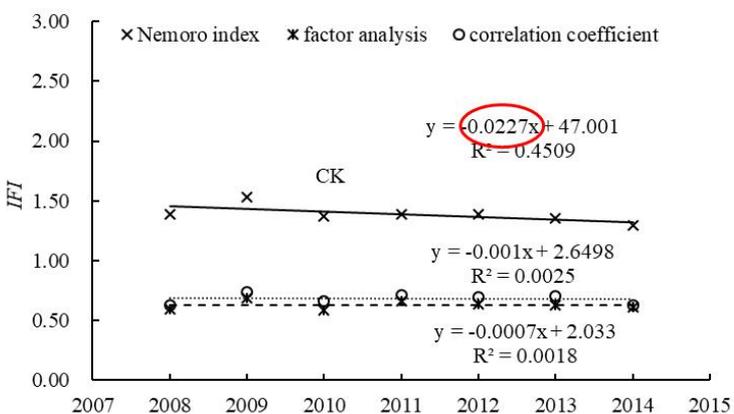
相比只施化肥处理，**有机肥氮**替代化肥氮能够使作物维持较高的C/N

**Carbon and nitrogen stock in various organs of maize under different fertilizations (kg/ha)**

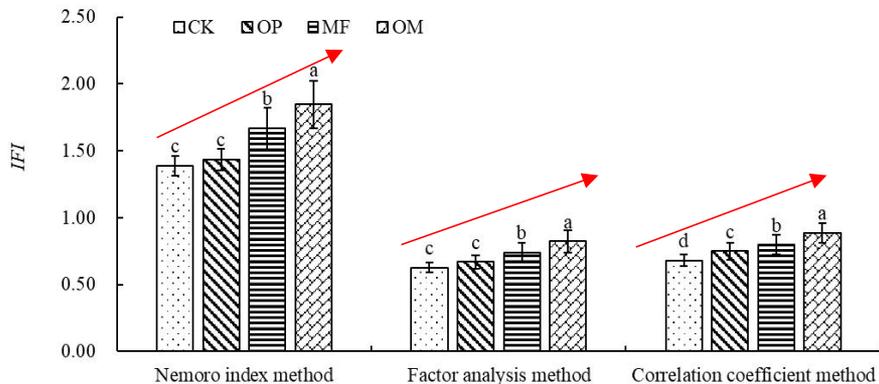
Nutrient	Treatment	Leaves	Bracts	Stems	Roots	Corncoobs	Grains	Total
C	CK	394.5b	74.8d	432.3d	74.9b	186.5c	1150.9c	2313.9c
	FP	719.7a	337.5c	922.3bc	265.5a	598.5b	3749.3b	6592.8b
	OP	707.9a	422.9bc	797.3c	282.2a	625.9b	4153.4b	6989.6b
	OM	812.5a	454.0b	1204.7a	267.5a	618.3b	3897.3b	7254.3b
	MF	804.5a	568.8a	1122.7ab	338.7a	719.1a	4958.7a	8512.5a
	Mean	687.8	371.6	895.9	245.8	549.7	3581.9	6332.6
N	CK	8.2c	0.6c	4.3b	1.4b	1.9b	24.8c	41.2c
	FP	28.0a	3.7b	12.0a	10.2a	5.3a	118.2b	177.4ab
	OP	26.0ab	5.3a	11.7a	9.1a	6.1a	145.4a	203.6a
	OM	18.6b	3.7b	11.4a	8.5a	5.1a	107.7b	155.0b
	MF	23.9ab	5.3a	13.7a	7.8a	4.9a	151.8a	207.4a
	Mean	20.9	3.7	10.6	7.4	4.7	109.6	156.9

- 相比农民习惯施肥，有机肥氮替代部分化肥氮能够提高玉米植株的碳氮储量
- 等氮条件下，有机肥氮替代部分化肥氮能够提高玉米的碳氮储量

# 土壤综合肥力评价



三种评价方法下**CK**处理的土壤综合肥力指数呈**下降**趋势，**OP**、**MF**和**OM**处理的土壤综合肥力均有**增加**的趋势，其中**MF**处理的综合肥力指数随年份的**增加最为明显**。

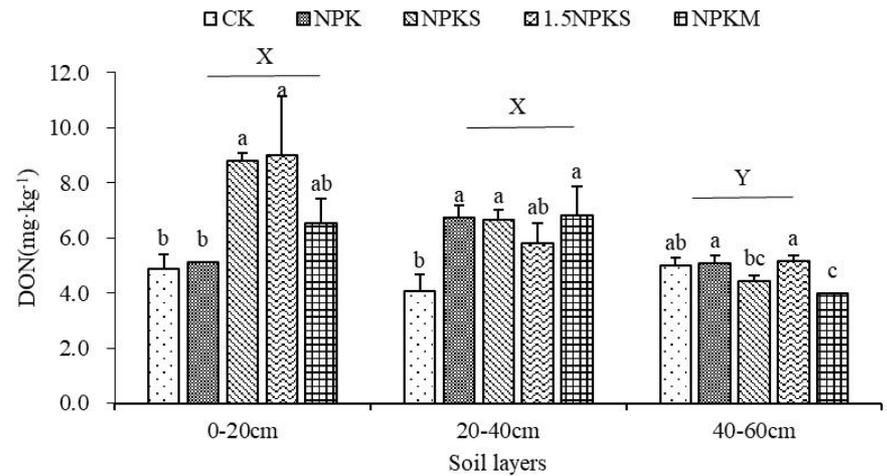
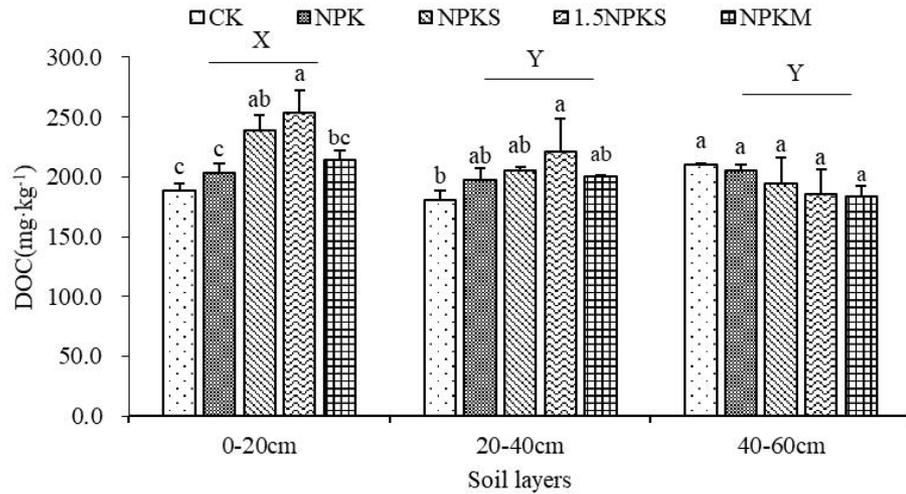


- 三种不同评价方法下，土壤综合肥力指数均表现为**OM>MF>OP>CK**，表明有机替代能够提高土壤肥力。

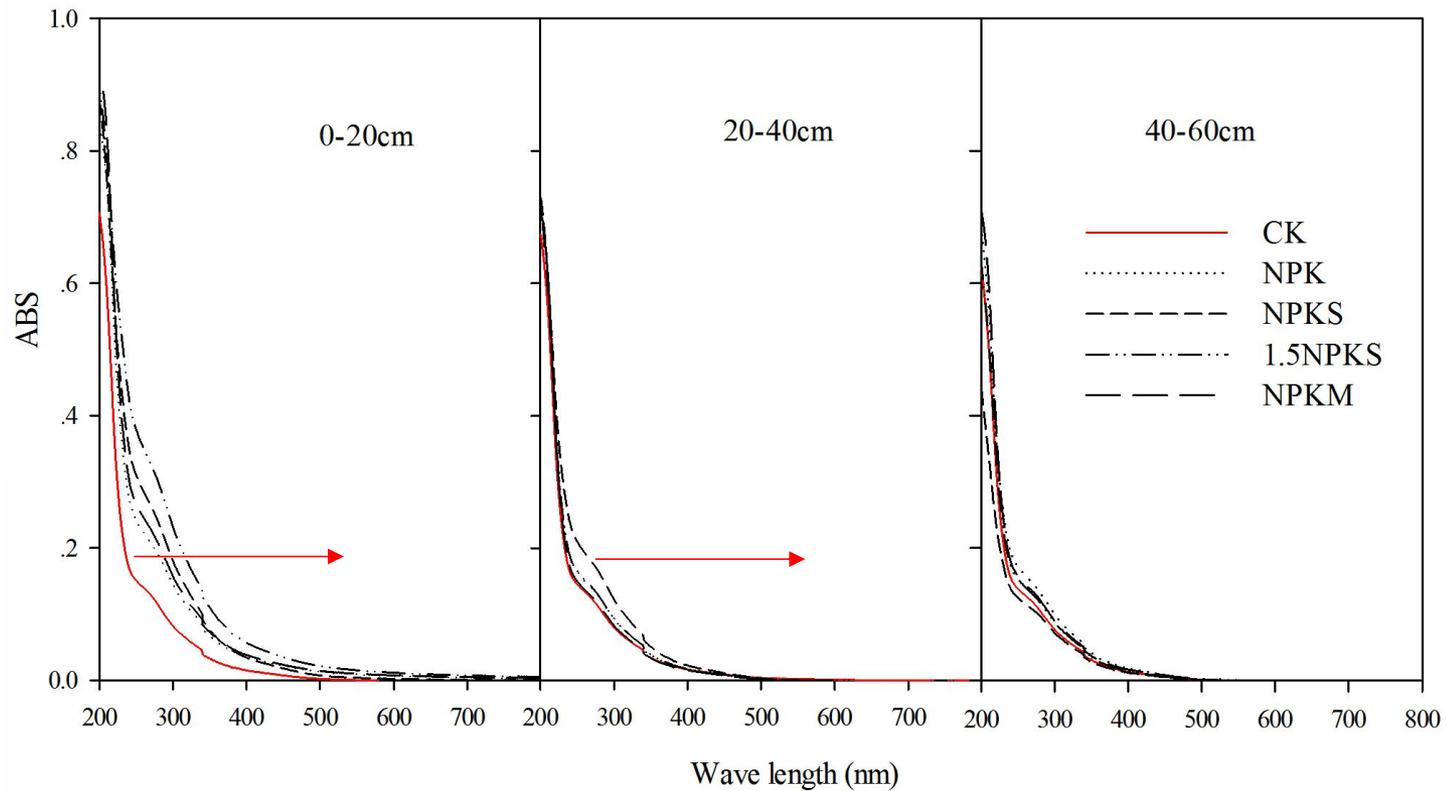
Crop	Sample Number	Nemoro index		Factor analysis		Correlation coefficient	
		Equation	R	Equation	R	Equation	R
Mustard	48	$y=14191x-1599.2$	0.416**	$y=33233x-2500.5$	0.400**	$y=34564x-5613$	0.418**
Cabbage	36	$y=41124x-16605$	0.771**	$y=100465x-24741$	0.767**	$y=99634x-30642$	0.760**
Maize	84	$y=2983.1x+3359.7$	0.297**	$y=6635.2x+3343.3$	0.275*	$y=7509x+2241.5$	0.319**
MM	48	$y=17340x+1711.1$	0.392**	$y=40573x+632.72$	0.377**	$y=43028x-3790.6$	0.401**
CM	36	$y=44342x-13902$	0.750**	$y=108418x-22743$	0.746**	$y=108781x-30137$	0.748**

- 三种评价方法下，土壤综合肥力指数均与产量达到极显著相关关系。

# 土壤DOM



- 在0-20cm土层，**NPKS**和**1.5NPKS**处理显著提高了土壤DOC和DON含量
- 在20-40cm和40-60cm土层，不同施肥处理的土壤DOC和DON含量差异不显著



Ultraviolet-visible spectroscopy of DOM affected by long-term fertilization

在0-20cm和20-40cm土层，相比不施肥CK处理，不同施肥处理的DOM紫外-可见光谱有明显的红移现象，尤以NPKM、NPKS和1.5NPKS处理最为明显，表明化肥与有机肥或者秸秆配合施用能增加土壤有机质结构的复杂程度和腐殖化。

The Characteristic UV Spectra Absorption of Soil DOM Under Long-term Different Fertilization

Soil layers	Treatments	SUVA <sub>254</sub>	SUVA <sub>260</sub>	SUVA <sub>280</sub>
0-20cm	CK	1.78c	1.71c	1.39c
	NPK	2.64b	2.53b	2.14b
	NPKS	2.89ab	2.76ab	2.31ab
	1.5NPKS	3.33a	3.19a	2.72a
	NPKM	2.76b	2.64b	2.22b
20-40cm	CK	1.80ab	1.72ab	1.40b
	NPK	1.85ab	1.76ab	1.47ab
	NPKS	2.26a	2.16a	1.82a
	1.5NPKS	1.67b	1.60b	1.32b
	NPKM	1.66b	1.58b	1.30b
40-60cm	CK	1.47b	1.40b	1.15b
	NPK	1.87ab	1.78ab	1.50ab
	NPKS	1.45b	1.38b	1.17b
	1.5NPKS	1.83ab	1.75ab	1.46ab
	NPKM	1.92a	1.83a	1.54a

Notes: Different lowercase letters in the same column indicate  $P < 0.05$ . Same as below.

在0-20cm土层，1.5NPKS和NPKS显著提高了SUVA<sub>254</sub>、SUVA<sub>260</sub>和SUVA<sub>280</sub>值，表明长期施用秸秆能够提高土壤DOM的芳香度、疏水性和平均分子量。

# 目录

1

研究背景

---

2

试验设计

---

3

试验结果

---

4

试验结论

---

## 主要结论

- ◆ 有机肥氮替代部分化肥氮能够提高作物产量、可持续性指数和收获系数，降低产量的变异系数
- ◆ 有机肥氮替代部分化肥氮能够提高偏生产力、氮收获指数、肥料氮贡献率、生理效率和总表观利用率
- ◆ 相比只施化肥处理，有机肥氮替代化肥氮能够使作物维持较高的C/N
- ◆ 三种不同评价方法下，土壤综合肥力指数均表现为OM>MF>OP>CK，表明有机替代能够提高土壤肥力
- ◆ 秸秆还田能够提高土壤0-20cm的DOC和DON含量
- ◆ 长期化肥与有机肥或者秸秆配合施用能增加0-20cm土壤有机质结构的复杂程度和腐殖化



**THANKS**