

氮磷等比与以磷定氮条件下玉米的最大施肥量研究*

褚清河^{1,2} 潘根兴¹ 李典有¹ 史海平² 张旭辉¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 山西省农业科学院农业资源综合考察研究所, 太原 030006)

摘要 以前的研究已认识到种植玉米的土壤具有平衡与不平衡的土壤养分供应类型, 因而其高产施肥需要相应的养分配比。本研究以养分平衡供应的山西石灰性褐土为对象, 按照同步增加氮磷用量和以磷定氮等两种施肥量确定方法设置氮磷施肥量, 探讨高产玉米的最大施肥量和最佳施肥比例。研究表明, 氮磷等比施肥下玉米最大施氮量较以磷定氮增大 46 kg hm^{-2} , 产量增加 738 kg hm^{-2} ; 而玉米最佳施氮量较以磷定氮增加 39 kg hm^{-2} , 产量增加 723 kg hm^{-2} 。氮磷等比施肥下最佳施氮量氮素的增产效益极大。试验说明氮磷施用比例是影响玉米最大施氮量及其肥效的重要因素。在供试的氮磷养分平衡供应条件下同步增加氮磷用量可以得到两者统一的玉米高产最佳施肥量点。本研究提出, 根据土壤养分平衡供应特征调整施肥养分比例可能是作物高产施肥且提高肥料利用率的途径。

关键词 土壤养分; 养分平衡; 养分配比; 最大施肥量

中图分类号 S147.2 文献标识码 A

以磷定氮至今仍是作物施肥研究中确定最大和最佳施氮量的基本试验设计思想^[1,2], 目前这样的施肥试验还很难做到因土壤磷含量和作物需求确定磷肥底用量^[3-5]。事实上, 不同的研究者在田间肥料试验中的磷肥底肥的确定依据及其具体实施量常常不一致^[3-9], 一般来说, 肥底施磷量均小于试验结果确定的最大施氮量^[1,2], 即肥底磷肥用量与最大施氮量的比值通常均小于1。因此, 在肥底磷肥(P_2O_5)用量小于最大施氮量的田间施肥试验中, 出现了施肥的N:P养分配比随施氮量的增加而逐渐降低的情况, 即试验确定的磷氮适宜比例将不可例外地小于1:1。这种试验结果显然与施磷量可以等于或大于施氮量的认识^[10-13]发生冲突。原因可能是由于在上述设计方式中, 试验的氮磷最佳施用比例(假设等于或大于1:1)出现时, 处理中氮施用量还远未达到作物产量潜力所需的最大施氮量。在这样的施肥量试验中, 当随着高产的氮肥施用量增大时, 变小的氮磷施用比例反而制约着作物的高产。所以, 我们认为, 作物高产的最大施氮量将因施肥中的氮磷比而变化。亦即, 在通常的施肥田间试验中, 作物最高产量的施肥点可能并不是最适宜的施肥量和氮磷施用比例。为了验证这一思

想, 在1995~1996年间进行的土壤养分类型和最佳施肥比例试验研究基础上, 2004年补充进行了玉米氮磷等比及变化条件下的氮肥用量田间肥料试验。本文报道和分析这些试验的结果, 期望为玉米等作物的平衡施肥以及施肥田间试验的设计提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

不同试验区土壤类型均为褐土性土, 试验前采取0~20 cm表层土壤混合样品, 土样风干处理后进行基本养分性质测定。其中, 土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定, 碱解氮采用碱解蒸馏法测定, 有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼蓝法测定, 速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度计法测定^[14]。土壤基本养分性质列于表1。

1.2 供试作物

供试作物为玉米, 除萎颓为烟单14(4月18日播种, 10月5日收获)外, 不同试验地点的品种均采用“农大60”。统一农事操作为: 4月20日播种, 9月25日收获。

* 山西省攻关项目(011015)资助

作者简介: 褚清河(1957-), 男, 博士研究生, 研究员, 主要从事作物施肥技术研究

收稿日期: 2006-07-12; 收到修改稿日期: 2007-06-18

表1 试验地褐土的基本养分性质

Table 1 Basic nutrient properties of the drab soils tested

试验地点 Experimental sites	时间 Periods	有机质 OM (g kg ⁻¹)	碱解氮 Alkalystic N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphate (mg kg ⁻¹)	速效钾 Rapidly available potassium(mg kg ⁻¹)
忻州 Xinzhou	1995~ 1996	14.2	57.9	1.0	108
长治 Changzhi	1995~ 1996	19.6	30.3	8.7	133
娄烦 Loufan	1996~ 1997	11.8	30.3	5.5	95
平顺 A Pingshun A	1996~ 1997	10.7	45.0	6.6	128
平顺 B Pingshun B	1996~ 1997	11.5	51.6	8.6	152
忻州 Xinzhou	2004	14.5	45.4	4.8	132

注: A 和 B 分别表示养分平衡和不平衡供应的土壤情况。下同 Note: A and B mean balanced soil nutrient supply and unbalanced soil nutrient supply. The same as below

1.3 试验方案

该试验包括养分比例试验和用量试验等两组试验: (1) 土壤养分类型与最佳施肥比例试验, 分别于 1995~ 1996 年、1996~ 1997 年在山西的忻州、长治和娄烦、平顺进行。1995~ 1996 年忻州和长治平衡与不平衡土壤类型玉米施肥比例试验共设 13 个处理,

1996~ 1997 年娄烦和平顺共设 8 个处理, 不同试验点的试验方案均见表 2。(2) 氮磷等比与以磷定氮下氮肥用量试验, 于 2004 年在忻州进行, 试验共设 10 个处理, 其中氮磷等比条件下同步增加氮磷用量和固定磷肥用量而改变氮肥用量的处理各 5 个, 全部处理安排在同一试验中, 试验方案见表 3。

表2 不同土壤养分供应下玉米氮磷最佳施肥比例试验方案

Table 2 Scheme of the experiment on optimal N/P ratio (kg hm⁻²) for com in soils different in soil nutrient supply

处理编号 Treatment No.	忻州 Xinzhou		长治 Changzhi		娄烦 Loufan		平顺 A Pingshun A		平顺 B Pingshun B	
	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	90	0	0	75	112.5	0	112.5	0	112.5	0
3	0	90	0	112.5	0	112.5	0	112.5	0	112.5
4	30	30	112.5	75	75	75	75	75	75	50
5	60	60	112.5	112.5	112.5	75	112.5	75	112.5	75
6	90	45	112.5	168.8	112.5	112.5	112.5	112.5	112.5	112.5
7	90	60	75	0	112.5	168.8	112.5	168.8	112.5	168.8
8	90	90	150	112.5	150	150	75	112.5	224	225
9	90	135	225	150						
10	135	90	75	50						
11	120	120	300	200						
12	90	180	112.5	0						
13	150	150	112.5	337.5						

不同试验点所有试验小区面积均为 33.34 m², 3 次重复, 随机排列。氮肥选用硝酸铵(含氮量 34%), 磷肥选用普通过磷酸钙(含 P₂O₅ 14%)。所有处理实行肥料播前一次施用, 以后不再追肥。中耕管理同农民常规方法。

1.4 统计分析

各试验小区均单采单收, 记载产量。数据处理用 Microsoft Excel 2000 进行, 统计与显著性检测在 SPSS11.0 软件上进行。进行 F 检验, 新复极差检验处理间显著性设 $p < 0.05$ 和 0.01。

表 3 2004 年忻州玉米氮磷等比例及以磷定氮条件下氮肥用量田间肥料试验方案

Table 3 Scheme of the field experiment on N application rates set with fixed N/P ratio or with N rate varying with P rate in 2004

处理编号 Treatment No.	N (kg hm ⁻²)	P ₂ O ₅ (kg hm ⁻²)	处理编号 Treatment No.	N (kg hm ⁻²)	P ₂ O ₅ (kg hm ⁻²)
1	0	0	6	0	120
2	30	30	7	75	120
3	60	60	8	150	120
4	120	120	9	225	120
5	240	240	10	300	120

2 结果与分析

2.1 土壤养分供应平衡与玉米最佳施肥比例

1995~1996 年在不同地点不同土壤养分类型上

的氮磷肥效试验产量结果见表 4。由表 4 可以看出, 忻州试验一所有施肥处理均较对照(不施肥)显著增产。所有处理中, 以施氮 90 kg hm⁻²和磷 90 kg hm⁻²的处理 8 产量最高(7.4 t hm⁻²), 结果显著高于单施氮的处理 2 和单施磷的处理 3, 也显著高于氮磷

表 4 1995~1996 年试验中不同养分施用量下玉米产量变化

Table 4 Variation of com yield (kg hm⁻²) with fertilization rate in different locations during 1995~1996

处理编号 Treatment No.	忻州 Xinzhou	长治 Changzhi	处理编号 Treatment No.	忻州 Xinzhou	长治 Changzhi
1	5 700 ± 360 e	7 215 ± 397 c	8	7 391 ± 116 a	8 685 ± 391 ab
2	6 260 ± 154 cd	8 173 ± 104 b	9	6 665 ± 448 cd	8 315 ± 370 b
3	6 973 ± 239 bc	8 490 ± 148 ab	10	6 890 ± 113 abc	8 475 ± 275 b
4	6 295 ± 113 d	9 140 ± 121 a	11	6 825 ± 333 bc	8 900 ± 343 ab
5	6 900 ± 120 abc	8 381 ± 241 b	12	7 328 ± 235 ab	8 678 ± 618 ab
6	6 790 ± 176 bc	8 700 ± 572 ab	13	6 883 ± 648 abc	8 810 ± 5 240 ab
7	7 030 ± 247 abc	8 550 ± 361 ab			

注: 同一列中标有不同字母的数据间差异达到显著水平 $p < 0.05$ level

(N:P₂O₅) 比例为 1:1 的处理 4 和处理 11, 但与处理 5 对比, 产量无显著差异, 说明处理 8 的氮磷施用可能过量。对氮肥施用量均为 90 kg hm⁻²而磷肥施用量不同的处理 2、处理 6、处理 7、处理 8 和处理 9 的产量结果进行曲线回归分析, 得到回归方程为 $y = -0.1458x^2 + 23.76x + 6190$ (y 为玉米产量; x 为磷肥用量; $R^2 = 0.853$), 求得最大磷肥用量为 P₂O₅ 81 kg hm⁻²。表中还可以看出, 在等氮量条件下, 处理 8 的产量显著高于氮磷比例为 1:1.5 的处理 9 和 1:0.5 的处理 6, 而与氮磷比例为 1:0.667 的处理 7 差异不显著。另外, 处理 7 的磷肥用量与处理 5 相同, 氮施用量明显高于氮磷比例为 1:1 的处理 5, 但产量无显著差异, 说明 1:1 的氮(N)磷(P₂O₅)施用比例是该土壤养分供应条件下的玉米最佳施肥比例。在试验二中, 产量以处理 4(N 112.5 kg hm⁻²和 P₂O₅ 75 kg hm⁻²) 最高, 达到 9.14 t hm⁻², 该处理氮磷施用比例为 1:0.667。处理 4 的产量显

著高于氮磷施用比同为 1:0.667 而氮磷总施用量较之小的处理 10 和较之大的处理 9, 说明该处理的氮磷施用量及其比例是该种土壤种植玉米的适宜氮磷施用量与配比。而在等氮量条件下, 处理 4 产量也显著高于氮磷施用比例为 1:1 的处理 5。处理 4 与氮磷施用比例为 1:1.5 的处理 6 相比, 虽然产量无显著差异, 但处理 6 磷肥施用量较其大 1 倍, 可见 1:0.667 是该类土壤种植玉米的最佳氮磷施用比例。分析说明, 试验一与试验二是土壤供肥性质截然不同的两种土壤养分类型: 第一类土壤由于氮磷施用比例相同, 表明土壤供肥较为均衡, 可称之为平衡土壤养分类型; 第二类土壤由于氮施用量大, 磷施用量相对较小, 而土壤供肥却是磷高氮低, 因此可称之为不平衡土壤养分类型^[10]。

2.2 土壤养分供应平衡与玉米最佳施肥量及其养分分配比

为了进一步证明上述规律, 于不同年份, 在不同

生态区两类土壤上又进行了最佳施肥量条件下的氮磷比例试验,见表5。表5表明,娄烦与平顺A(土壤养分平衡类型)两试验在不同年份也均以氮磷配比为1:1的处理6产量最高,新复极差检验(F 值分别为 108^{**} 、 6.2^{**} 和 3.46^* , $F_{0.01} = 4.28$)表明,产量显著高于氮磷各单施 112.5 kg hm^{-2} 的处理2和处理3。在娄烦试验中,等氮条件下,处理6产量显著高于氮磷比例为1:0.667的处理5,但与氮磷总施用量最大的处理7差异不显著;而平顺试验中,等氮量条件下处理6产量则显著高于氮磷比例为1:0.667的处理5和1:1.5的处理7。平顺不平衡类试验结果表明,氮磷施用比例同为1:0.667的处理5和处理4产量不显著,但处理5产量显著高于其他比例的处理,与前述具有同样规律。分析表明,不同土壤养分

类型种植同一作物,氮磷最佳施用比例不同。氮磷施用比例的大小主要取决于土壤养分类型,并不受年际变化的影响。由表5还可以看出,1996年娄烦玉米氮磷最佳施肥处理6,氮磷总用量为 225 kg hm^{-2} ,由于该地块养分分析结果与1997年不同生态区平顺试验地分析结果十分相近,因而平顺最佳施肥处理不仅氮磷比例与娄烦相同,而且氮磷总用量也同为 225 kg hm^{-2} ;而同年同一试验地点,平顺不平衡类玉米试验地有效磷含量较平衡类为高,因此,玉米最佳施肥处理的氮磷总用量却为 187.5 kg hm^{-2} ,氮磷施用总量及比例与土壤养分平衡类型的试验结果截然不同。这再次充分说明,玉米最大氮磷施肥量是由地力水平和养分间的对比关系决定的。

表5 养分平衡与不平衡土壤上玉米氮磷不同配比试验结果

Table 5 Effect of N/P ratio in fertilization on corn yield in soils balanced or unbalanced in nutrient supply

平衡类 Balanced				不平衡类 Unbalanced	
娄烦试验 Loufan Experiment 1996		平顺A 试验 Pingshun A Experiment 1997		平顺B 试验 Pingshun B Experiment 1997	
处理编号 Treatment No	产量 Yield (kg hm^{-2})	处理编号 Treatment No	产量 Yield (kg hm^{-2})	处理编号 Treatment No.	产量 Yield (kg hm^{-2})
1	3 555 ± 139 d	1	3 195 ± 403 c	1	4 275 ± 233 c
2	3 705 ± 123 d	2	3 675 ± 193 b	2	4 515 ± 460 bc
3	4 575 ± 69 c	3	3 810 ± 334 b	3	4 395 ± 417 bc
4	6 188 ± 431 b	4	3 848 ± 101 b	4	5 190 ± 547 ab
5	6 285 ± 265 b	5	3 848 ± 101 b	5	5 745 ± 336 a
6	7 193 ± 171 a	6	4 343 ± 240 a	6	4 890 ± 664 bc
7	7 148 ± 310 a	7	3 728 ± 166 b	7	4 485 ± 210 bc
8	7 043 ± 251 a	8	4 116 ± 437 ab	8	4 866 ± 464 bc

注:同一列中标有不同字母的数据间差异达到显著水平 $p < 0.05$ Note: Different letters within a column indicate significant difference at $p < 0.05$

level

2.3 施肥养分比例与玉米最大施肥量

对2004年的氮磷等比与以磷定氮下氮肥用量的试验(表3试验处理)的产量结果进行方差分析(F 值为 8.96^{**} ($F_{0.01} = 3.46$)),多重比较表明产量以处理5和处理9最高。将所有试验处理分为氮磷等比的A组(处理1至处理5)和以磷定氮的B组(处理6至处理10),分别以氮肥施用量为横坐标,玉米产量为纵坐标作图得到图1的两条抛物线,其曲率和顶点坐标截然不同。分别对两方程进行求导并令导数方程为零,得到A组的最大施氮量为 235.4 kg hm^{-2} ,最高产量可达 10.2 t hm^{-2} ,而B组的最大施氮量为 189.4 kg hm^{-2} ,最高产量为 9.5 t hm^{-2} 。所以,氮磷等比下试验得到的氮肥最大施用量较以磷定氮下的试验结

果增大 46 kg hm^{-2} ,而相应增加的玉米产量为 738 kg hm^{-2} 。以玉米价格 1.1 元 kg^{-1} 和纯氮 3.8 元 kg^{-1} 计算玉米的最佳施肥量及其产量,得到相似的结果。氮磷等比条件下氮肥的最佳施用量为 207.1 kg hm^{-2} ,可达到的产量为 10.2 t hm^{-2} ;相应地,以磷定氮下最佳施氮量为 168.0 kg hm^{-2} ,达到的最佳产量为 9.4 t hm^{-2} 。计算的两种不同原则试验下施氮量的边际产量见表5。就同一试验而言,氮磷等比条件下每公顷氮肥施用量及其产量虽然均较以磷定氮的试验结果增大,但并未降低施肥的边际效益。因而,氮磷施用比例是影响最大施氮量及其经济效果的重要因素,它是与施肥量同等重要的施肥因素。在氮磷等比例条件下同步增加氮磷用量,另一个养分因子可

通过一个常数比例求得, 这时施肥调控的两个养分因素实际已经转化为一个施肥量因子, 这种肥料用

量试验保持了差异的单一性, 使氮磷的最大施肥量和最佳施肥比例得到了统一。

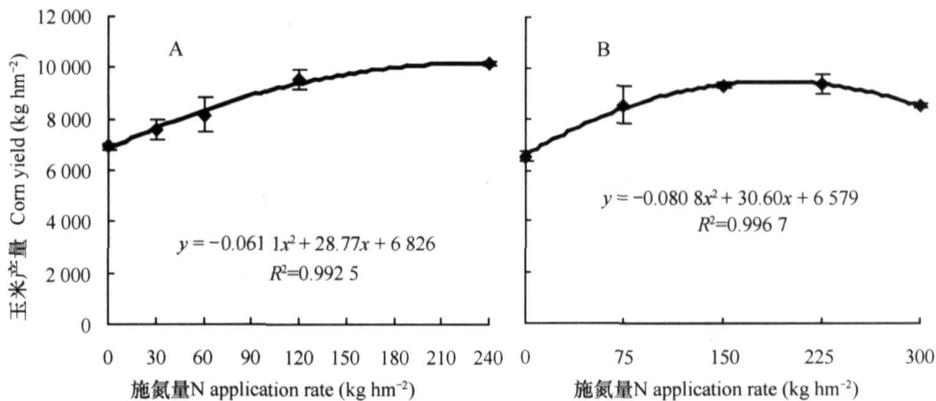


图 1 不同施肥原则下施氮量与玉米产量的关系(A: 氮磷等比下; B: 以磷定氮下)

Fig. 1 Corn yield as a function of N application rate (A: with fixed N/P ratio; B: with N rate varying with P rate)

表 6 玉米氮磷等比及以磷定氮试验下不同施肥量与产量的边际产量(2004 年忻州)

Table 6 Marginal corn yield ($t\text{ hm}^{-2}$) as a function of fertilization rate and yield in treatments with fixed N/P ratio and with N rate varying with P rate of the Xinzhou experiment in 2004

试验方法 Experimental method	施肥量 N application rate ($\text{kg}\text{ hm}^{-2}$)			
	60	120	180	240
氮磷等比例 Equivalent N and P ratio	26.10	18.76	11.44	4.11
以磷定氮 Various N at fixed P	26.75	17.06	7.36	-2.34

3 讨论与结论

本文在研究土壤养分类型与玉米适宜氮磷施用比例过程中, 将氮磷比例与用量试验置于同一试验中, 在预备试验初步确定最大氮肥用量的前提下, 设计了等氮量条件下氮磷比例为 1: 0.667、1: 1 和 1: 1.5 三个基本比例, 个别试验还增加了 1: 0.5 的比例。同时设计了氮磷等比例下同步增加氮磷用量的处理以验证三个氮磷比例氮用量的合理程度。结果表明 1995~1996 年, 忻州试验一, 在氮磷比例 1: 1 的条件下, 同步增加氮磷用量的回归方程为 $y = -0.1933x^2 + 34.35x + 6190$ ($R^2 = 0.926$), 以此计算的最大施氮量为 $88.9\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$, 长治试验二回归方程为 $y = -0.0969x^2 + 26.96x + 7175$ ($R^2 = 0.969$), 最大施氮量为 $139\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$, 原试验一、试验二氮磷比例中确定的 $90\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$ 和 $112.5\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$ 的氮用量与上述计算结果相差较小, 可以认为在合理

范围。试验证明, 土壤种植玉米具有平衡和不平衡土壤养分类型, 两类土壤上种植玉米具有截然不同的氮磷施肥比例, 平衡类土壤以 1: 1 为佳, 磷高氮低的不平衡类土壤以 1: 0.667 较好。研究还表明, 氮磷最大施肥量及最佳施肥比例是由土壤养分类型和养分间的对比关系决定的, 不受年际变化的影响。

平衡类土壤氮磷等比与以磷定氮条件下的研究表明, 氮磷等比条件下, 最大施氮量为 $235.4\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$, 玉米最高产量为 $10213\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$, 最大施氮量较以磷定氮增大 $46\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$, 产量增加 $738\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$; 最佳施氮量为 $207.1\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$, 玉米最佳施氮量时的产量为 $10163\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$, 较以磷定氮增大氮肥用量 $39\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$, 产量增加 $723\text{ kg}\text{ hm}^{-2}$, 每增加 1 kg 纯氮可增加玉米 18.5 kg 。

施肥量和施肥比例是同等重要的施肥因素, 如果将施肥比例作为试验因子看待, 那么无论是以磷定氮, 还是等比条件下的氮磷最大施肥量试验, 显然同为三个试验因素。但是, 在氮磷等比例条件下同步增加氮磷用量, 不同处理氮磷施用量相同, 即使不同, 另一因子也可通过一个常数比例求得, 这样氮磷两个因素实际已转化为一个施肥量变化的因子, 试验保持了单一差异特性, 因此使得最佳施肥量和施肥比例在最高产量施肥点得到了统一; 而以磷定氮试验设计, 虽然磷因素保持固定不变, 但增加氮肥施用量的同时, 不同氮处理与肥底磷的比例(磷与氮的比值)也随之发生变化, 并且逐渐变小。而且目前以磷定氮试验确定的肥底用量, 一般均小于试验确定的氮肥最大用量, 磷肥肥底设计较大的试验, 氮用量最小的处理与其的比例也仅为 1: 0.767^[13], 最大氮

肥用量与它的比例为 1: 0.307, 设计小的磷肥肥底与氮用量最小处理的比例仅为 1: 0.128^[1], 最大氮用量处理与磷肥肥底的比例为 1: 0.02, 与目前氮磷比例试验结果^[11, 12]差距较大。本试验以磷定氮试验中氮用量最小的处理 7 与磷肥肥底的比例为 1: 1.6, 最大氮肥用量处理与磷肥肥底的比例为 1: 0.634, 与该类土壤上 1: 1 的适宜氮磷施肥比例试验结果显然不符。

参考文献

- [1] 傅庆林, 陈英旭, 俞劲炎. 浙中水稻生长适宜施氮量研究. 土壤学报, 2003, 40(5): 787~ 790. Fu Q L, Chen Y X, Yu J Y. Study on satisfactory amount of nitrogen fertilizer applied on rice in the middle area of Zhejiang Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(5): 787~ 790
- [2] 崔玉亭, 程序, 韩纯儒, 等. 苏南太湖流域水稻经济生态适宜施氮量研究. 生态学报, 2000, 20(4): 659~ 662. Cui Y T, Cheng X, Han C R, et al. Study on economically appropriate N application rate for rice in Taihu area of South Jiangsu Province (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2000, 20(4): 659~ 662
- [3] Cooke G W. Fertilizing for Maximum Yield. 3rd Ed. Great Britain: The Chaucer Press, 1982. 219~ 229
- [4] 王兴仁, 陈新平, 张福锁. 施肥模型在我国推荐施肥中的应用. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 67~ 74. Wang X R, Chen X P, Zhang F S. Fertilizer application model in China (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(1): 67~ 74
- [5] 张惠文, 贾登泉, 金红梅. 不同氮磷比例对玉米氮素利用率的影响. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 474~ 476. Zhang H W, Jia D Q, Jin H M. Effect of different N and P ratio on N absorbed by corn plant (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(4): 474~ 476
- [6] 王德建, 林静慧, 孙瑞娟, 等. 太湖地区稻麦高产的氮肥适宜用量及其对地下水的影响. 土壤学报, 2003, 40(3): 426~ 432. Wang D J, Lin J H, Sun R J, et al. Optimum nitrogen rate for a high productive rice-wheat system and its impact on the groundwater in the Taihu Lake area (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(3): 426~ 432
- [7] 闫德智, 王德建, 林静慧, 等. 太湖地区氮肥用量对土壤供氮、水稻吸氮和地下水的影响. 土壤学报, 2005, 42(3): 441~ 446. Yan D Z, Wang D J, Lin J H, et al. Effect of fertilizer-N application rate on soil supply, rice uptake and groundwater in Taihu Lake region (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(3): 441~ 446
- [8] 张奇春, 王光火, 方斌. 不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响. 土壤学报, 2005, 42(1): 116~ 121. Zhang Q C, Wang G H, Fang B. Influence of fertilization treatment on nutrients uptake by rice and soil ecological characteristics of soil microorganism in paddy field (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(1): 116~ 121
- [9] Wang X Y, Xie H T, Liang W J, et al. Rice yield and water use affected soil management practices. Pedosphere, 2004, 14(3): 331~ 337
- [10] 褚清河, 潘根兴, 廖宗文, 等. 土壤养分类型与玉米氮磷最适施肥比例. 土壤通报, 2004, 35(6): 750~ 752. Chu Q H, Pan G X, Liao Z W, et al. Soil nutrient types and optimal N and P ratio for corn (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(6): 750~ 752
- [11] 花天崇. 合理氮磷用量及比例的研究. 土壤肥料, 1981(5): 29~ 30. Hua T C. Study on appropriate N and P rate and ratio (In Chinese). Soil and Fertilization, 1981(5): 29~ 30
- [12] 李龙, 蔡玉, 刘洪才, 等. 玉米氮磷施肥比例的试验研究. 土壤肥料, 1994(4): 33~ 34. Li L, Cai Y, Liu H C, et al. Study on N and P ratio for corn (In Chinese). Soils and Fertilizers, 1994(4): 33~ 34
- [13] 何萍, 金继运, 林葆. 不同氮磷钾用量下春玉米生物产量及其组分动态与养分吸收模式研究. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 67~ 74. He P, Jin J Y, Lin B. Dynamics of biomass and its components and models of nutrients absorption by spring corn under different nitrogen, phosphorous and potassium application (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(1): 67~ 74
- [14] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. Lu R K, ed. Analytical Methods of Soil and Agronomy (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999

MAXIMUM FERTILIZATION RATES FOR CORN WITH FIXED N/P RATIO OR WITH N RATE VARYING WITH P RATE

Chu Qinghe^{1,2} Pan Genxing¹ Li Dianyou¹ Shi Haiping² Zhang Xunhui¹

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Institute of Integrative Survey of Agro Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030006, China)

Abstract It has been proved that there are two types of corn-growing soils, balanced or unbalanced in soil nutrient supply. Therefore it is necessary to recommend proper nutrient ratios to achieve high yield of corn. A field experiment was carried out on calcareous drab soil, which is balanced in nutrient supply, in Shanxi to explore maximum fertilization rate and optimal fertilization ratio for high yield of corn. N and P application rates were set in two ways, with fixed N/P ratio or with N rate varying

with P rate. Results show that in the treatment with fixed N/P ratio, the maximum N application rate was 235.4 kg hm^{-2} , the highest corn yield $10\ 213 \text{ kg hm}^{-2}$, the optimum N application rate as 207.1 kg hm^{-2} , its corresponding yield $10\ 163 \text{ kg hm}^{-2}$, 46 kg hm^{-2} , 738 kg hm^{-2} , 39 kg hm^{-2} and 723 kg hm^{-2} higher respectively than in the other, showing every additional kilogram of N could bring about an additional yield of 18.5 kg. The experiment demonstrated that N/P ratio of fertilization is the most important factor affecting maximum N rate and economic benefits. Through increasing N and P application rates while keeping them at a fixed ratio an optimal fertilization rate could be obtained.

Key words Soil nutrients; Nutrients balance; Nutrient ratio; Maximum fertilization rate

新书推介

《植物的根》(Plant Roots)

由 Peter Gregory 教授所著的《Plant Roots: Growth, Activity and Interactions with the Soil》(ISBN: 1405119063) 由世界著名出版公司 Blackwell 于 2006 年出版。Peter Gregory 教授是国际著名的根系研究科学家, 现任英国苏格兰作物研究所所长。其目前的研究领域包括: 利用 X-ray CT 进行根和根土界面的非损图像扫描; 提高根土界面的资源利用效率; 有毒金属在根际土壤的转化; 全球变化和食物安全。以前的相关研究领域包括单作、间作粟和花生对根生长和水分利用的影响, 温度对根系的影响; 土壤中的水分运动; 大麦和鹰嘴豆根系生长的基因型差异; 旱地作物(绿豆、大豆)的水分平衡; 提高旱地作物的水分利用和产量; 根土界面和作物生产系统的综合营养管理等。作者曾在《New Phytologist》、《Ann Bot》、《Ecological Modelling》、《European Journal of Soil Science》、《Physiological Entomology》等国际知名学术期刊发表多篇文章。

根系是植物的重要组成部分, 因此了解根及其功能对于农业、植物和土壤学家是非常重要的。在《Plant Roots》这本书里, Peter Gregory 教授对植物与土壤的动态界面即根系的最新研究进展进行了概括, 包括根的反应和对土壤的适应性改变, 根系对环境反应的遗传控制, 图像技术、分子生物学技术和分析化学等现代技术在根系研究中的应用, 根系特性的生产应用等。

全书共分为九章。第一章为植物、根和土壤, 包括根的进化、根和地上部互相依赖的功能、根和土壤; 第二章为根和根系的结构, 包括根的术语和类型、根的结构、扩展和分支、根尖、根系的结构; 第三章为根系的生长发育, 包括根系的测量、根系发育、根系的大小和分布、根和地上部的分配、根的寿命和周转、根系的模拟; 第四章为根系的功能, 包括根的支撑作用、水分吸收、养分吸收; 第五章为根和物理化学环境, 包括

温度影响、根的向地性和其他向性、土壤机械特性、土层特性、土壤化学环境、大气 CO_2 浓度; 第六章为根和生物环境, 包括根与土壤生物的互作关系、共生关系、根部病害和寄生关系、草食动物; 第七章为根际和土壤中根的变化, 包括根沉积、影响养分获取的化学变化、根际的物理变化; 第八章为根系特性的遗传控制, 包括根系的遗传差异、根系的遗传、良好根系的培育; 第九章为根系在生产中的利用, 包括根系的优化和资源竞争、间作和农林业、作物轮作、植物修复等。

该书每一章都对根系研究进行详细的讨论, 并包含大量的文献和图表。该书的影子最早可追溯到 R. Scott Russell 所著的《Plant Root Systems》(1977)。Peter Gregory 教授将更多的笔墨放在根际生物学和遗传学, 减少了根系对耕作方式的反应篇幅, 反映了过去 30 多年来根系研究领域的快速发展。该书另外一个明显的特点是大部分关于根系研究的工作集中在作物方面, 这反映了 McCully、Passioura、Nye、Tinker、Drew、Marschner、Stuedle 和 Peter Gregory 等科学家的工作。然而, 在根系生态学方面也体现了 Fitter、Caldwell、Jackson、Pate、Read 等学者的重要工作。文章所附的名词索引有助于方便地查询根系有关术语。

该书的出版在国际上获得了好评。Zobel (2006) 在《Crop Science》、Lynch (2007) 在《Soil Sci Soc Am J》、Smith (2007) 在《Ann Bot》、Robinson (2007) 在《Experimental Agriculture》等国际学术刊物上均有关于该书的介绍和评述。

该书可作为植物、作物、土壤和农业科学家、植物生理学家、环境科学家、生态学家和水文学家的重要教材和参考书。也可作为相关大学及研究机构图书馆收藏的重要参考书。

(华南农业大学热带亚热带生态研究所 蔡昆争)