

用增稳系数评价钾肥配合秸秆还田 对作物的增产稳定性效应

邢素丽, 刘孟朝, 何 萍

(河北省农林科学院农业资源环境研究所, 河北 石家庄 050051)

摘 要: 根据长期定位试验结果, 提出增产稳定性系数(增稳系数)指标, 据此研究化学钾肥和秸秆配合施用对小麦玉米产量的持续增产稳定性效应, 以期更合理评价钾肥配合秸秆还田这一施肥方式对作物增产稳定性的影响。试验共设4个处理, 分别为: (1) 只施氮磷肥的对照(NP); (2) 在对照基础上加施秸秆(NPSt); (3) 在对照基础上加施钾肥(NPK); (4) 在对照基础上加施秸秆和钾肥(NPKSt)。结果表明: 增稳系数可以作为评价施肥方案对作物产量长期持续增产效应的综合指标; 不同施肥方案的长期持续增产效应定量分析表明, 钾肥配合秸秆还田方案不但促进作物增产, 还能提高增产的持续稳定性。

关键词: 增产稳定性; 增产稳定性系数; 钾肥配合秸秆还田; 小麦; 玉米

中图分类号: S150.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0047-05

评价一种施肥方案的产量效应, 人们往往借助于增产量、增产率、增产效益等指标^[1-3], 其目的是检验施肥方案对作物产量的影响。这些指标都只反映了被检测的施肥处理与对照相比当前的增产效果, 而对该施肥方案长期应用对产量的影响没有科学的量化的体现。事实上, 由于作物产量受土壤质地、栽培方式、气候条件、栽培品种等多种因素影响^[4-6], 评价某种施肥方案对产量的效应, 不仅仅要求增产量或增产率的短期或当年提高, 更需要稳产基础上的增产, 增产条件下的稳产。只有实现了稳定性增产的施肥方案, 才更具有推广和使用价值, 否则只增不稳或只稳不增其施肥方案的推广意义都不大。

秸秆还田、施用钾肥都是培肥增产的农业工程。前人已经在秸秆还田与对作物产量、土壤有机质、土壤养分、土壤物理性状的影响等方面做了大量工作^[7-12]。但是有关秸秆还田与钾肥配合施用后对产量稳定性的影响, 迄今未见其相关定量描述。

我们根据长期定位肥料试验, 提出增产稳定性系数概念, 针对前人对肥料方案的研究多关注于短期的增产性, 忽视长期增产稳定性研究的问题, 定量分析钾肥配合秸秆还田的稳定性增产效应, 为作物持续增产条件下合理施肥提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

本试验区位于河北辛集市马兰农场。该区是华

北平原粮食主产区冬小麦-夏玉米轮作制的典型区域, 属于暖温带半干旱半湿润气候区, 海拔 25 ~ 37.8 m, 年均温 12.4℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温 4 369.2℃, 年均降水量 432 mm。土壤类型为轻壤质潮土, pH 值 7.8, 土壤耕层有机质含量 8.7 mg/kg, 矿质氮含量 69.7 mg/kg, 速效磷 12.6 mg/kg, 速效钾 83.2 mg/kg。

1.2 研究方法

试验包含 4 个处理, 分别为: (1) NP(氮肥 + 磷肥); (2) NPK(氮肥 + 磷肥 + 钾肥); (3) NPSt(氮肥 + 磷肥 + 麦秸); (4) NPKSt(氮肥 + 磷肥 + 钾肥 + 麦秸), 设 4 次重复, 随机区组排列。小区面积为 50 m²。

试验开始于 1992 年 10 月, 种植制度为冬小麦-夏玉米轮作。小麦年度播期一般为 10 月上旬, 翌年 6 月上旬收获; 玉米一般 6 月中旬种植, 当年 9 月下旬收获。麦秸用量为 7 500 kg/hm² (干重, 约折合 K₂O 量 102 kg/hm²)。施肥方案详细信息列于表 1。施用的氮肥选用尿素 (含 N 46%), 磷肥选用磷酸氢二铵 (含 N 18%, 含 P₂O₅ 46%), 钾肥选用氯化钾 (含 K₂O 60%)。每季磷钾肥全部作基肥施用, 每季氮肥底施 1/3, 其余分别在小麦季返青期和玉米季大口期随水追施。施用麦秸的处理在玉米拔节期撒施于作物行间。

每单季作物收获后, 分区计产。每个小区去除东西两边各 4 行、南北两头各 50 cm 作物, 只计算小区中间部分的作物产量。获取产量的方法: 先称各

收稿日期: 2010-05-06

基金项目: 国家科技支撑计划(2008BADA4B07); 河北省自然科学基金项目(D2008001183); PPI&PPI

作者简介: 邢素丽(1966—), 女, 河北唐山人, 副研究员, 硕士, 从事植物营养和 3S 应用研究。E-mail: xingsuli2008@yahoo.com.cn。

小区实际收获部分小麦(玉米)地上部分总鲜质量,然后从中分取 1/10,单独脱粒并晒干,分别称取籽粒和其余部分(含茎叶及麦糠等)干质量,用此部分

干质量样品折算全区小麦(玉米)籽粒产量和干物质质量。本文取 1993~2006 年的小麦玉米产量数据进行分析。

表 1 施肥方案

Table 1 Fertilization design

处理 Treatment	小麦季施肥量 Quantity of fertilization for wheat	玉米季施肥量 Quantity of fertilization for corn	每轮作季总施肥量 Total
NP	N 225 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 90 kg/hm ²	N 225 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 90 kg/hm ²	N 500 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 180 kg/hm ²
NPK	N 225 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 90 kg/hm ² , K ₂ O 150 kg/hm ²	N 225 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 90 kg/hm ² , K ₂ O 150 kg/hm ²	N 500 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 180 kg/hm ² , K ₂ O 300 kg/hm ²
NPS _t	N 225 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 90 kg/hm ²	N 225 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 90 kg/hm ² , 麦秸 Straw 7500 kg/hm ²	N 500 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 180 kg/hm ² , 麦秸 Straw 7500 kg/hm ²
NPKS _t	N 225 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 90 kg/hm ² , K ₂ O 150 kg/hm ²	N 225 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 90 kg/hm ² , K ₂ O 150 kg/hm ² , 麦秸 Straw 7500 kg/hm ²	N 500 kg/hm ² , P ₂ O ₅ 180 kg/hm ² , K ₂ O 300 kg/hm ² , 麦秸 Straw 7500 kg/hm ²

2 结果与分析

2.1 不同处理对作物增产效应

1993~2006 年小麦玉米各处理产量和产量差异分析结果见表 2、表 3。产量数据处理采用 SAS 软件中的 ANOVA 过程作差异显著性测定,并用 LSD 法作多重比较分析。

结果显示,NPKS_t 和 NPK 处理与对照相比小麦玉米多年平均产量都有显著差异,NPKS_t 产量最高,小麦多年平均值为 6 629 kg/hm²,玉米多年平均值是 7 424 kg/hm²,与对照相比,增产量和增产率最大。小麦玉米增产量分别为 577 kg/hm² 和 1 378 kg/hm² 增产率分别为 9.7% 和 22.9%,增产效益分别为 3.85 kg/kg 和 9.19 kg/kg。其次依次为 NPK 处理、NPS_t 处理。

2.2 不同处理对作物增产稳定性影响

2.2.1 增产稳定性系数(增稳系数)的提出 前人评价肥料增产效益的指标不外乎以下几个:增产量(目标施肥方案较对照增产数量)、增产率(目标施肥方案较对照增产的百分数)、增产效益(施入每公斤养分所增加的籽粒产量)等,但是这些指标一般的说都只反映了某一施肥处理与对照相比当前的增产效应或平均增产效应。

为了评价某一施肥方案或处理长期连续应用对作物的稳定性增产效应,本文按照准确、简便和实用的原则,提出增产稳定性系数指标(Yield Increase Stability Coefficient 简写 YISC)。本文规定:相对于某一作物,在一定试验年限内,第 i 个施肥方案与对照相比,其产量差异达统计学显著水平的年份总数(TY)与该处理多年试验平均增产率(AR)之积称为增稳系数。以其从增产幅度、增产稳定性和差异显著三方面综合反映某一施肥处理对作物产量的持续

影响。用公式表示为:

$$SI = TY \times AR$$

式中,SI 表示稳定性增产系数;TY 表示第 i 个施肥方案与对照相比,其产量差异达统计学显著水平的年份总数;AR 表示第 i 个施肥方案与对照相比,多年平均增产率。

2.2.2 增稳系数特征

(1) 增稳系数为大于 0 的数。如果多年平均增产率出现负值或零的情况无效。

(2) 增稳系数为一数值,没有单位。

(3) 增稳系数反映某一施肥方案相对于某种作物的增产持续性指标。不同施肥方案的增稳系数比较要针对同一种作物。同一种施肥方案可以针对多种作物进行增稳系数比较。

2.2.3 不同处理对作物增产稳定性效应 根据以上规定,将各个处理针对小麦玉米不同作物的增产稳定性系数进行计算并分析比较,处理 NPS_t、NPK、NPKS_t 对小麦和玉米的增产稳定性系数分别为 0.217、0.684、1.164 和 0.765、2.782、3.206(图 1)。

图 1 不同处理的增稳系数差异

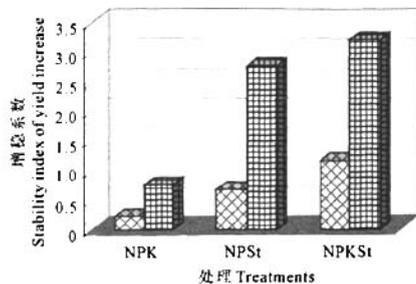


图 1 不同处理的增稳系数差异

Fig.1 Differences of stability index among various treatments

表2 1993~2006年定位试验产量差异分析
Table 2 Grain yields difference analysis in 1993 to 2006

作物 Crop	年份 Year	籽粒产量 Yield(kg/hm ²)				显著水准 Significance level LSD _{0.05}
		NP	NPK	NPS _t	NPKS _t	
小麦 Wheat	1993	4904bc	5325ba	4541c	5445a	527.59
	1994	5843b	6926a	5804b	6916a	597.15
	1995	7451a	7361a	7035a	7403a	885.50
	1996	6330c	6780a	6421bc	6735ba	344.55
	1997	6405b	6998a	6795a	7026a	382.99
	1998	6135b	6161b	6146b	6494b	106.93
	1999	6915c	7054b	7192b	7339b	98.74
	2000	6085c	6795b	6645b	7155a	309.33
	2001	6000b	6698a	6526a	6773a	363.00
	2002	6128c	6815a	6649b	6884a	160.27
	2003	6135b	6461a	6446a	6510a	177.84
	2004	5794c	6337a	6000b	6495a	203.42
	2005	5573b	5903ba	5893ba	6093a	454.53
	2006	5704a	6056a	5981a	6210a	590.63
平均 Annual mean		6100b	6548a	6291ba	6629a	405.72
玉米 Corn	1993	5753b	6611a	5775b	6777a	319.56
	1994	5003 b	6537a	5113b	6628a	336.81
	1995	5616b	6228b	6046a	6062a	215.24
	1996	5742b	6035b	5849b	6611a	365.75
	1997	4723a	6132b	5691b	6264b	680.96
	1998	5948c	6919a	6158b	6964a	200.75
	1999	5468b	6608a	5824ba	6596a	805.41
	2000	6000c	7035a	6375b	7095a	350.10
	2001	6600c	7530a	6960b	7680a	240.0
	2002	5340b	6818a	5666b	6967a	598.73
	2003	6330c	8820a	7669b	8512a	435.31
	2004	6852c	8590a	7549b	8661a	399.11
	2005	7560c	9349a	8663b	9581a	443.25
	2006	7706c	9550a	8680b	9535a	802.16
平均 Annual mean		6046c	7340ba	6573bc	7424a	845.2

注:不同字母表示处理间在0.05水平具有显著差异,下同。

Note: different letters mean significant difference at 0.05 level, and they are the same in the following.

从图1看出,不论对小麦或玉米,处理NPKS_t增稳系数最大,其次是NPK, NPS_t处理最低。该趋势与表3增产量、增产率和增产效益的趋势相一致。也就是说,单一长期施用化学钾肥或秸秆钾素,都不能达到长期稳定增产的理想效果。钾肥和秸秆配合施用,不但促进作物产量增加,还能提高增产的持续稳定性。从同一施肥处理对不同作物的增稳系数来看,玉米的增稳系数大于小麦的增稳系数,也说明应用钾肥或钾肥配合秸秆还田对玉米的增产效应和增产稳定性效应都优于对小麦的效应。

3 讨论

增产稳定性系数指标从统计学差异显著性角度评价作物增产情况,弥补了单一增产量、增产率等指标缺乏统计学分析结论之不足。综合了施用该处理与对照产量差异达显著性水平的年限指标,能更加全面的评价某一施肥方案的产量效应和应用效果。用本文定义的增稳系数对化学肥料配合有机物料秸秆施用的长期稳定增产效果进行的定量分析表明,钾肥和秸秆还田长期施用,不但促进作物产量增加,

还能提高增产的持续稳定性。

表 3 不同施肥处理作物增产效应比较

Table 3 Compare of grain yield unit increase rates among different treatments

作物 Crop	年份 Year	NPK			NPS _t		NPKS _t		
		增产量 Yield increase (kg/hm ²)	增产率 Yield-increasing rate(%)	K ₂ O 增产效益 Yield-increasing effect of K ₂ O (kg/kg)	增产量 Yield increase (kg/hm ²)	增产率 Yield-increasing rate(%)	增产量 Yield increase (kg/hm ²)	增产率 Yield-increasing rate(%)	K ₂ O 增产率 Yield-increasing of K ₂ O (kg/kg)
小麦 Wheat	1993	421	8.6	2.81	-363	-7.4	541*	11.0	3.61
	1994	1083*	18.5	7.22	-39	-0.7	1073*	18.4	7.15
	1995	-90	-1.2	-0.60	-416	-5.6	-48	-0.6	-0.32
	1996	450*	7.1	3.00	91	1.4	405*	6.4	2.70
	1997	593*	9.3	3.95	390*	6.1	621*	9.7	4.14
	1998	26	0.4	0.17	11	0.2	359*	5.9	2.39
	1999	139*	2.0	0.93	277*	4.0	424*	6.1	2.83
	2000	710*	11.7	4.73	560*	9.2	1070*	17.6	7.13
	2001	698*	11.6	4.65	526*	8.8	773*	12.9	5.15
	2002	687*	11.2	4.58	521*	8.5	756*	12.3	5.04
	2003	326*	5.3	2.17	311*	5.1	375*	6.1	2.50
	2004	543*	9.4	3.62	206*	3.6	701*	12.1	4.67
	2005	330	5.9	2.20	320	5.7	520*	9.3	3.47
	2006	352	6.2	2.35	277	4.9	506	8.9	3.37
	平均 Mean	448	7.6	2.98	191	3.1	577	9.7	3.85
玉米 Corn	1993	858*	14.9	5.72	22	0.4	1024*	17.8	6.83
	1994	1534*	30.7	10.23	110	2.2	1625*	32.5	10.83
	1995	612*	10.9	4.08	430*	7.7	446*	7.9	2.97
	1996	293	5.1	1.95	107	1.9	869*	15.1	5.79
	1997	1409*	29.8	9.39	968*	20.5	1541*	32.6	10.27
	1998	971*	16.3	6.47	210*	3.5	1016*	17.1	6.77
	1999	1140*	20.8	7.60	356	6.5	1128*	20.6	7.52
	2000	1035*	17.3	6.90	375*	6.3	1095*	18.3	7.30
	2001	930*	14.1	6.20	360*	5.5	1080*	16.4	7.20
	2002	1478*	27.7	9.85	326	6.1	1627*	30.5	10.85
	2003	2490*	39.3	16.60	1339*	21.2	2182*	34.5	14.55
	2004	1738*	25.4	11.59	697*	10.2	1809*	26.4	12.06
	2005	1789*	23.7	11.93	1103*	14.6	2021*	26.7	13.47
	2006	1844*	23.9	12.29	974*	12.6	1829*	23.7	12.19
	平均 Mean	1294	21.4	8.63	527	8.5	1378	22.9	9.19

注:(1)“*”指在 0.05 水平的差异显著性。(2) K₂O 增产效益(kg/kg):施入每公斤养分所增加的籽粒产量。

Note: (1) “*” means significant difference at 0.05 level. (2) Yield-increasing effect of K₂O means the quantity of yield increase resulting from per kilo-gram fertilization.

根据以往的研究,秸秆还田和化学钾肥配合施用,是维持作物较高的生产力和土壤质量的重要途径。秸秆直接还田,有利于提高土壤有机质含量^[7],促进微生物活动,改善土壤的物理性状和结构,固定和保存土壤氮素养料^[13,14],提高耕层土壤速效钾的含量^[15],从根本上提高土壤的基础地力和综合生产

能力,是提高作物增产稳定性的根本原因。

近年来,由于各类资源的短缺,还有些农户忽视了秸秆对地力的影响,过分强调化学钾肥的作用。本研究说明,化肥配合秸秆施用对作物的增产稳定性有显著影响。从可持续生产的角度看,提倡化学钾肥与秸秆还田同时施用。

4 结 论

增稳系数可以作为评价施肥方案对作物产量的长期稳定性增产效应的综合性指标。应用增稳系数,可以对施肥方案的长期持续增产效应进行科学的定量分析。

参 考 文 献:

- [1] 肖焱波,段宗颜,苏凡,等.玉米不同种植方式氮肥合理施用研究[J].玉米科学,2002,10(1):78—80.
- [2] 同小娟,李俊,李维炯.长期施用有效微生物对冬小麦-夏玉米生长和产量的影响[J].华北农学报,2007,22(6):165—170.
- [3] 梅艳,阮培均,马俊.有机生物复合肥不同底肥施用量对玉米产量及经济效益的影响[J].华北农学报,2005,20(专辑):27—29.
- [4] Hans-Werner Olf, Klaus Blankenau, Frank Brentrup, et al. Soil- and plant-based nitrogen-fertilizer recommendations in arable farming[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2005, 168:414—431.
- [5] 项艳,龚道枝,梅旭荣,等.华北平原不同灌水条件下两冬麦品种土壤水分动态与产量差异[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):74—79.
- [6] 王位泰,张天锋,姚玉莹,等.黄土高原夏半年降水气候变化特征及对作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(1):154—159.
- [7] 邢素丽,刘孟朝,韩宝文.华北平原小麦-玉米两熟作物区土壤培肥途径研究[J].土壤通报,2007,38(3):486—490.
- [8] 高亚军,郑险峰,李世清,等.农田秸秆覆盖条件下冬小麦增产的水氮条件[J].农业工程学报,2008,24(1):55—58.
- [9] 黄琴.作物秸秆还田对土壤养分含量的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2006,24(3):277—279.
- [10] 徐凤花,刘永春,王伟东,等.秸秆还田的增磷作用及对植株全磷含量干物质积累的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,1997,9(3):1—5.
- [11] 詹其厚,张效朴,袁朝良.秸秆还田改良砂姜黑土的效果及其机理研究[J].安徽农业大学学报(自然科学版),2002,29(1):53—59.
- [12] 徐晓波,徐向东,褚秋华,等.不同投肥对作物产量及土壤肥力的影响[J].土壤,1999,(4):220—223.
- [13] 何念祖,孟赐福.植物营养原理[M].上海:上海科学技术出版社,1987:403—404.
- [14] 胡希远, Kuehne R F. 秸秆在土壤内分解初期氮素矿化与固持的模拟测定[J].应用生态学报,2005,16(2):243—248.
- [15] 邢素丽,刘孟朝,韩保文.12年连续施用秸秆和钾肥对土壤钾素含量和分布的影响[J].土壤通报,2007,38(3):486—490.

Evaluating stability of durative yield-increasing effect of potassium(K) fertilization and straw recycling on crop yields by yield increase stability coefficient (YISC)

XING Su-li, LIU Meng-chao, HE Ping

(Agricultural Resources and Environment Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050051, China)

Abstract: According to long-term sited fertilization experiment, this paper put forward yield increase stability coefficient (YISC) index, in order to study and quantitative analyze stability of durative yield-increasing effect of potassium (K) fertilization and straw recycling on wheat and corn yields. The experiment includes 4 treatments as: (1) CK, only providing N and P fertilizer; (2) CK + wheat straw recycling; (3) Optimum rate of N, P and K fertilizer; (4) N, P and K fertilization + wheat straw recycling. The results show that YISC is available for evaluating stable yield-increasing effect of the fertilization design. By quantitative analysis for long-term yield-increasing effect of different fertilization designs we know that long-term K fertilization and straw recycling can both increase grain yield and stability of durative yield increasing.

Keywords: stability of durative yield increasing; yield increase stability coefficient (YISC); potassium (K) fertilization and straw recycling; wheat; corn