

小麦/大豆间作氮磷肥效的双变量分析

孙建好^{1,2}, 李隆^{2*}, 李娟¹

(1. 甘肃省农业科学院土肥所, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国农业大学资源与环境学院 教育部植物与土壤相互作用重点实验室, 北京 100094)

摘要: 采用双变量分析法, 分析小麦/大豆间作氮磷肥效。结果表明: ① 小麦/大豆间作种植施用磷肥对大豆的增产作用超过小麦, 施用氮肥能明显提高间作系统中小麦产量, 但大豆产量降低。② 小麦/大豆间作的产量互补效应表现为: 小麦产量提高, 大豆产量相应下降; 大豆产量提高, 小麦产量变化不大。③ 在小麦/大豆间作中, 施磷提高小麦千粒重, 增加大豆粒数; 施氮增加小麦穗粒数, 降低小麦与大豆的千粒重。氮磷配施, 磷肥能缓冲施氮引起的小麦与大豆千粒重的降低。

关键词: 双变量分析法; 小麦/大豆间作; 互补效应; 产量构成

中图分类号: S318; S143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)04-0183-04

间作种植能充分利用光、热、水、肥等生产资源, 在“两季不足, 一季有余”或水肥条件优越的地区较单一种植有明显的产量优势, 甘肃省“吨粮田”的70%~85%是采用间套作种植技术实现的。但间作套种是在同一地块上种植两种或两种以上作物, 种间存在竞争、补偿、互惠等复杂的相互关系, 传统分析间作产量优势方法为分别考虑每种作物或将两者简单相加, 不考虑两作物彼此的影响。双变量分析方法类似于协方差分析, 考虑了两变量的相关性, 是分析间作套种产量优势的适宜方法, 能更好地解释试验结果。

本文采用双变量分析法, 研究小麦/大豆间作氮磷肥效, 分析氮、磷肥对小麦/大豆间作产量的影响。

1 材料与方法

试验设在甘肃省农业科学院景滩试验点, 地处东经 104°40', 北纬 37°05', 海拔 1 645 m, 无霜期 165~170 d, 年均日照时数 2 919 h, 降水量 200~250 mm, 蒸发量 2 369 mm, 年均气温 6.6℃, 活动积温 3 208℃, ≥10℃积温 2 622℃, 土壤为灌耕灰钙土。表 1 是播前耕层土壤养分分析结果, 可以看出供试土壤严重缺氮, 磷不足, 钾则较丰富。

表 1 供试土壤(0~20 cm)的基本性质

Table 1 Basic character of soil for experiment (0~20 cm)

有机质 Organic material (g/kg)	全氮 Total nitrogen (g/kg)	全磷 Total phosphorus (g/kg)	全钾 Total potassium (g/kg)	碱解氮 Base hydrolysable nitrogen (mg/kg)	有效磷 Available phosphate (mg/kg)	有效钾 Available potassium (mg/kg)
7.79	0.45	0.42	26.7	9.8	7.6	140

试验设 4 个处理: ① 空白对照(CK); ② 施 P₂O₅ 90 kg/hm²; ③ 施 N 165 kg/hm²; ④ 施 P₂O₅ 90 kg/hm²+施 N 165 kg/hm²。重复 3 次, 随机区组排列。所有肥料均播前均匀深施。

种植方式采用 0.8 m 小麦带+0.4 m 大豆带, 小麦带内条播 6 行, 大豆带内穴播 2 行, 穴距 0.15 m, 每穴播 5 粒。每小区三个组合带, 小区面积 25.2 m²。小麦 3 月 23 日播种, 7 月 21 日收获; 大豆 4 月 13 日播种, 9 月 26 日收获。

在小麦抽穗期和大豆终花期分别调查穗数和株

数, 收获时常规考种。

供试肥料品种: 磷肥为普通过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%), 氮肥为尿素(含 N 46%)。

供试作物品种: 小麦为花培 764, 大豆为汾豆 8 号。

2 结果与分析

2.1 小麦/大豆间作氮磷肥效的双变量分析

双变量分析计算类似于协方差分析, 由 X₁(作物 A 的产量), X₂(作物 B 的产量)的方差分析和二

收稿日期: 2006-09-18

基金项目: 国家重大基础研究发展项目(G1999011707); 国家自然科学基金项目(30070450)

作者简介: 孙建好(1972-), 男, 甘肃省永登县人, 助研, 硕士研究生, 主要从事间套作种植体系营养竞争研究。E-mail: sunjianhao@

中国知网 <http://www.cnki.net>

通讯作者: 李隆(1962-), 男, 甘肃省岷县人, 博导, 主要从事生物多样性研究。E-mail: lilong@cau.edu.cn

者的协方差构成,但对两个变量对称处理。表 2 是小麦/大豆间作籽粒产量的双变量分析结果表。

表 2 施肥对小麦/大豆间作籽粒产量的影响(kg/hm²)

Table 2 Effects of fertilization on grain yield of wheat/soybean intercropping

处理 Treatment	小麦 Wheat	大豆 Soybean
CK	3131±615	1552±281
P	3052±832	2262±351
N	4444±1549	1202±257
NP	5381±155	1298±155

显著性检验 Significance test			
	F	显著性	r
区组(B) Block (B)	4.57	*	0.48
处理间(T) Treatment (T)	15.39	**	-0.74
N level (N)	29.32	**	-1.00
P level (P)	4.59	*	0.98
NP	6.73	*	-0.99
误差(E) Error			0.44

注: r 为变异项的相关系数。Note: "r" for correlation coefficient of variation item.

从表 2 可见,各处理之间差异极显著,氮素差异达极显著,磷素和氮磷交互项差异达显著水平。分别计算氮、磷主效应和配合效应可以看出:① 施氮平均比不施氮,小麦产量增加 1 313~2 329 kg/hm²,增产 41.9%~76.3%,平均增产 59.1%;而大豆产量降低 350~964 kg/hm²,减产 22.6%~42.6%,平均减产 36.6%。② 施磷平均比不施磷,小麦产量增加 -79~937 kg/hm²,增幅 -2.5%~21.1%,而大豆产量增加 96~710 kg/hm²,增产 8.0%~45.7%,平均增产 26.8%。③ 氮磷配合平均比单氮、磷,小麦增加产量 937~2 329 kg/hm²,增幅 17.4%~43.3%;而大豆产量增加 96~-964 kg/hm²,增幅 8.0%~-25.3%,平均增产 26.8%。

李隆等^[1]在研究发现,在小麦/大豆间作系统中存在着强烈的种间竞争,并且指出小麦的竞争能力强于大豆,而后季作物大豆在小麦收获后有明显的恢复作用。在本试验中小麦和大豆两作物同样存在着强烈的相互竞争:小麦产量较 CK 降低的施肥处理(施 P 处理),大豆产量则较 CK 显著增产;小麦增产的施肥处理(施 N、施 NP 处理),大豆则明显减产。

2.2 小麦/大豆间作相关产量的图示分析

前面已提到,间作系统中如果不考虑两作物随机相关模型,分析小麦和大豆产量中结果变异会出现误解。双变量分析的基本优点是在背景相关模型允许之内,用一个简单的成对作物平均产量图示形

式来表示。

图 1 和图 2 是按 Dear 和 Mead^[2]介绍的斜轴图构型而绘制的,两斜轴的夹角 $\theta = \cos^{-1}(r_{\text{误}}) = \cos^{-1}(0.44) = 63.9^\circ$,故轴的斜度表明两处理间的随机相关,即夹角越大表明两作物相关性越小。图中产量点距原点和两坐标轴越远,表示产量越高;如果某产量点距小麦轴近而距大豆轴远,则表明该施肥处理对小麦产量影响大而对大豆产量影响较小,反之亦然。

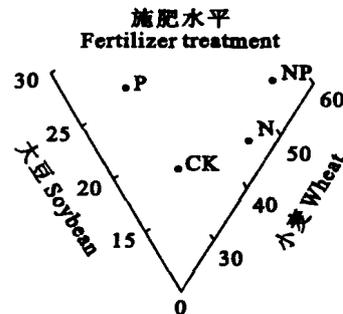


图 1 不同施肥处理平均产量的双变量图 (0.01 kg/hm²)

Fig. 1 Average yield of different fertilizer treatment of double variables

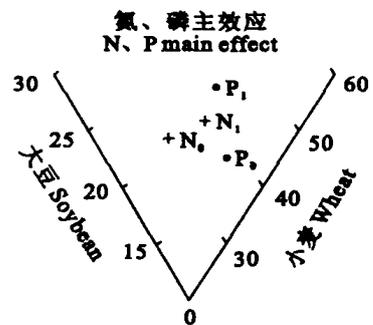


图 2 氮、磷主效应平均产量的双变量图 (0.01 kg/hm²)

Fig. 2 Average yield of nitrogen and phosphorus main effect of double variables

从图 1 可见,相对 CK 施肥各处理均向两轴分布,表明小麦/大豆间作种间产量存在互补效应。分别计算氮、磷简单效应,相对 CK 而言:① 单施氮肥,小麦增产 1 313 kg/hm²,增幅 41.9%;大豆减产 350 kg/hm²,增幅 -22.6%。② 单施磷肥,小麦减产 79 kg/hm²,增幅仅有一 2.5%;大豆增产 710 kg/hm²,增幅 45.7%。③ 氮磷配合,小麦增产 2 250 kg/hm²,增幅 71.9%;大豆减产 254 kg/hm²,增幅 -16.4%。因此,小麦/大豆间作的互补效应表现为:小麦产量提高,大豆产量相应下降;大豆产量的提高,小麦产量变化不大。据文献报道^[1],在小麦/大豆间作中单施磷肥,小麦竞争大豆的氮(或利用大豆固定的氮),从而提高产量。在本试验中,单施磷

肥与小麦产量关系不大,氮磷配合时,磷肥不但提高小麦产量,而且可以缓冲施氮引起的大豆产量降低。

从图2看,磷素效应“线”几乎与大豆产量轴平行,这说明在小麦/大豆间作中,施用磷肥主要是提高大豆产量,而对小麦产量影响不大;氮素效应“线”偏向小麦产量轴,这说明施用氮肥能提高小麦产量但同时大豆产量造成负影响。因此,施用氮磷肥能调节间作整体产量效益。

本试验不能直接获得小麦/大豆间作体系中哪种作物的竞争能力强的结论,但通过分析产量的相互作用可以提供间接证据。从图1、图2的双变量图可以看出,小麦产量(较CK的变化)强烈影响大豆产量,而大豆产量(较CK的变化)对小麦产量的影响就较弱。因此可以间接证明,在小麦/大豆间作系统中小麦对大豆竞争比大豆对小麦的竞争强。这与李隆等^[1]提出的小麦的竞争能力大于大豆竞争能力的结论是一致的。

表3 小麦/玉米间作产量构成

Table 3 Yield component of wheat/soybean intercropping system

处理 Treatments	小麦产量构成 Yield component of wheat			大豆产量构成 Yield component of soybean			
	有效穗数 Tiller number (10^4 plants/hm ²)	穗粒数 Grains per ear	千粒重 1000 grain weight (g)	有效株数 Plants number (10^4 plants/hm ²)	有效荚数 Pod number/ plant	荚粒数 Grain number/pod	千粒重 1000 grain weight (g)
CK	655.1±69.7	20.1±3.5	35.2±6.7	77.1±34.1	19.9±3.6	1.7±0.2	183.2±9.7
P	568.5±33.1	19.5±6.4	41.4±3.4	103.2±10.8	19.6±2.9	1.9±0.2	173.8±4.6
N	720.7±18.7	31.1±3.2	29.7±3.0	77.4±19.8	18.9±6.5	1.6±0.2	153.7±6.7
NP	511.1±64.0	45.1±7.9	35.1±5.0	111.7±46.7	14.4±5.9	1.5±0.3	161.6±5.6

小麦穗粒数和大豆有效荚数、荚粒数变化主要反映小麦和大豆在穗(荚)发育时期对资源利用和种间竞争状况。间作小麦施磷穗粒数较对照(CK)变化不大,施氮增加55.1%,氮磷配合增加124.5%;间作大豆施磷荚数变化不大,荚粒数增加16.3%,施氮荚数和粒数略有减少,氮磷配合荚数、粒数分别下降27.5%、8.4%。

作物千粒重大小能表明作物灌浆期资源利用和竞争状况。间作小麦施磷千粒重较对照(CK)提高17.7%,施氮下降15.6%,氮磷配合千粒重变化不大;间作大豆施磷对千粒重影响不大,施氮降低16.1%,氮磷配合降低11.8%。

施用氮肥后间作小麦对间作大豆竞争能力加强,小麦产量构成表现为有效穗数、穗粒数显著增加,千粒重降低;施氮肥后在竞争中处于弱势的大豆产量构成表现为:除有效株数略有增加外,大豆荚数和粒数均减少,而千粒重显著降低。同理,施用磷肥

2.3 氮、磷肥对小麦/大豆间作产量构成的影响

分析小麦/大豆间作的产量构成,可进一步了解氮磷肥对产量影响的原因。

从作物发育阶段来看,间作小麦有效穗数和间作大豆有效株数变化主要反映了作物营养生长时期的资源利用和种间竞争状况。在小麦/大豆间作体系中(表3),小麦有效穗数和对照(CK)比较,施磷减少13.2%,施氮增加10.0%,氮磷配合减少22.0%;而大豆的有效株数与对照(CK)比较,施磷增加33.9%,施氮变化不大,氮磷配合增加57.1%。两作物株数变化的原因除作物自身对氮磷肥利用特性外,主要是作物种间竞争的结果。竞争能力较弱的作物株数变异较大,在小麦/大豆间作体系中大豆的竞争力较小麦弱,因此间作大豆单位面积株数差异较大。在施用氮磷配合肥后大豆相对竞争力增加,导致大豆有效株数显著增加,从而使间作小麦有效穗数减少。

后能改善相对间作大豆在小麦/大豆间作系统中的弱势地位,主要表现为有效株数、荚粒数均显著增加,而对大豆荚数和千粒重影响不大;施用磷肥后对间作系统中处于优势竞争地位的小麦而言,减少了间作小麦的有效穗数,增加了小麦千粒重。同样,从种间竞争的角度讲,施用氮磷肥既增强了间作小麦的竞争能力又改善了间作大豆不利地位,两作物在产量构成上表现为:间作小麦减少了有效穗数,增加了小麦的穗粒数;间作大豆增加了有效株数,却降低或减少了大豆荚数、粒数和千粒重。

3 讨论与结论

3.1 小麦/大豆间作作物间存在强烈的种间竞争

小麦和大豆两作物间作种植后存在着强烈的相互竞争;小麦产量较CK降低的施肥处理(施P处理)大豆产量则较CK显著增产;小麦增产的施肥处理(施N、施NP处理)大豆则明显减产。从产量构

成看,在小麦/大豆间作体系中,小麦有效穗数增加的处理(施 N 处理),对应的大豆株数减少。这与李隆^[1]的结论是一致的。

3.2 施肥可以调节小麦/大豆间作作物种间的竞争

从产量结果看,施用氮肥有利于提高间作小麦产量,相反氮肥对间作大豆产量具有负效应;施用磷肥有利于提高间作大豆产量,而磷肥对间作小麦产量影响不显著。这与小麦和大豆的作物特性有关,小麦是禾本科作物对氮肥比较敏感,而大豆是豆科固氮作物对磷肥比较敏感。

从作物种间竞争的角度来分析,单施磷肥对小麦产量影响不大,大豆产量却显著提高,这说明磷肥可以改善间作大豆在系统中的不利地位,减缓间作小麦对其产量的影响。施用氮肥后小麦产量显著增加,而大豆产量却明显降低,说明在小麦/大豆间作系统中施用氮肥进一步加强了间作小麦对间作大豆的竞争能力。因此,施用氮肥处理间作大豆减产的原因除氮肥对大豆的负作用外,小麦对大豆的竞争加剧也是重要原因。

氮磷肥配合施用,从肥料效应上表现出明显的氮磷正交互作用,从竞争的角度讲小麦的竞争能力进一步加强。而对于竞争中处于弱势的大豆来讲,虽然磷肥改善了其相对弱势地位,但由于小麦竞争能力在氮磷作用下进一步加强,还是不能从根本上改善其弱势地位,产量表现为较对照减产。

以上分析表明,通过施肥可以适当调节小麦/大豆间作系统的种间竞争作用。在间作种植体系中施肥建议根据作物的品种特性和竞争能力分别施基肥

和追肥,即在小麦/大豆间作中氮肥侧重施在小麦上,磷肥应该侧重施在大豆上。合理的肥料运筹是减少小麦/大豆间作系统种间竞争的重要手段,也是综合提高间作整体效益的关键。

因此,在小麦/大豆间作系统中,施用氮肥有利于小麦生长,施用磷肥有利于大豆生长;小麦/大豆间作种间产量互补效应表现为:小麦产量提高,大豆产量相应下降;大豆产量提高,小麦产量变化不大。在小麦/大豆间作中,施磷提高小麦千粒重,增加大豆粒数;施氮增加小麦穗粒数,降低小麦与大豆的千粒重。氮磷配施,磷肥能缓冲了施氮引起的小麦与大豆千粒重的降低。

参 考 文 献:

- [1] 李 隆,李晓林,张福锁,等. 小麦/大豆间作条件下作物养分吸收利用对间作优势的贡献[J]. 植物营养与肥料学报, 2000. 6 (2): 140-146.
- [2] 牛俊义,杨祁峰. 作物栽培学研究方法[M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 1998. 101-109.
- [3] 金绍龄,李 隆,张丽慧,等. 小麦/玉米带田作物氮营养特点[J]. 西北农业大学学报, 1996, 24(5): 35-41.
- [4] 金绍龄,李 隆,张丽慧,等. 小麦/玉米带田作物氮营养特点[J]. 西北农业大学学报, 1996. 24(5): 61-67.
- [5] 巨晓棠. 冬小麦/夏玉米轮作体系中土壤肥料氮的转化及去向[D]. 北京: 中国农业大学博士论文, 2000.
- [6] Francis C A. Multiple Cropping Systems[M]. Macmillan New York. 1986. 355-374.
- [7] 李 隆,丘进怀,包兴国. 武威川区小麦玉米带田上土壤氮素转化与平衡初探[J]. 甘肃农业科技, 1990. (1): 1-3.
- [8] 胡恒觉,黄高宝. 新型多熟种植研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1999. 18-204.

Double variables analysis of nitrogen and phosphorus fertilizer effects in wheat/soybean intercropping system

SUN Jian-hao^{1,2}, LI Long², LI Juan¹

(1. Institute of Soil and Fertilizers, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070;

2. Key Laboratory of Plant and Soil Interactions of the Ministry of Education, College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Double variables analysis was used to analyze nitrogen and phosphorus fertilizer effect in wheat/soybean intercropping system. Results showed that soybean yield was increased more than wheat when phosphorus fertilizer was applied while wheat yield was increased significantly and soybean yield was decreased when nitrogen fertilizer was used. Complementary effects of wheat/soybean intercropping system indicated that: when wheat yield was increased, soybean yield decreased; but when soybean yield increased, wheat yield changed little. Effect of applying nitrogen fertilizer and phosphorus fertilizer was different. Phosphorus application can enhance wheat 1000 grain weight and soybean grain number while nitrogen application can increase wheat grain number and decrease 1000 grain weight of wheat and soybean. Nitrogen and phosphorus applied together can buffer the drop of 1000 grain weight of wheat and soybean resulted from nitrogen application.

Key words: double variables analysis; wheat/soybean intercropping; complementary effects; yield component