

混料试验设计在肥料配比研究中的应用

刘春光, 周建斌, 陈竹君
(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 采用盆栽试验研究了混料设计中的单形重心设计在氮、磷、钾配比上的应用。测定了冬小麦分蘖数、地上部鲜物质质量、干物质质量、植株全氮、全磷、全钾含量以及土壤有效氮、磷、钾含量, 配置了各个项目的回归方程, 求出相同产量下的氮、磷、钾肥料配比, 再依各配比值绘制等值线。根据等值线的变化确定了肥料配比变化对作物产量的影响, 初步验证了混料设计在肥料配比研究中的可行性。

[关键词] 混料设计; 单形重心设计; 肥料配比

[中图分类号] S158.5 [文献标识码] A [文章编号] 1000-2782(2001)01-0059-04

混料试验就是试验中各因子的取值按其所占百分比计, 且其总和等于 1(100%)。试验指标仅与各种成分所占的百分比有关, 而与混料的总量无关。这类问题是生产实践和科学研究中经常遇到的一类问题。关于混料试验的设计方法, 自 1958 年 Scheffe^[1]提出了单形格子与单形重心设计后, 发展至今, 已有多种设计方法^[2]。这些方法早已应用于冶金、化工等领域^[3], 并取得了良好的效果。

农业领域遇到的不少问题也可用混料设计方法处理, 如复合肥、饲料、农药等的配方问题。在总施肥量确定的前提下, 作物不同生长时期应施肥的比例问题也属于混料试验研究的问题。近几年来, 一些研究者就该方法在植物营养与肥料方面的应用开展了一些研究工作。如国内外一些学者都利用单形格子设计研究了作物不同生长期肥料的分配问题^[4, 5]; Schrevens 等^[6]探讨了应用混料设计研究水培营养配方的效果。常见的复混肥料由氮、磷、钾 3 种养分

组成, 各养分所占的比例可以用混料试验的方法确定; 但应用混料设计方法对此进行研究, 以确定肥料的合理施用比例, 尚鲜见报道。因此, 本研究对此进行了初步探讨。

1 材料和方法

1.1 试验设计

在西北农林科技大学农化试验站温室进行了盆栽试验。供试土壤为红油土, 采自西北农林科技大学农化试验站, 其基本性质为: 碱解氮 92.17 μg/g, 速效磷 10.1 μg/g, 速效钾 173.1 μg/g, 有机质 11.3 g/kg。供试作物为冬小麦, 品种为西农 881。以小米氏盆作为试验盆钵, 每盆装土 1.4 kg。采用 {3, 3} 单形重心设计, 增加了单施氮、磷处理, 共 9 个处理(表 1), 重复 5 次。供试肥料分别为尿素、过磷酸钙和硫酸钾, 均于播种时 1 次施入。

表 1 N、P、K 配比 {3, 3} 单形重心设计

Table 1 {3, 3} Simplex centroid design under combination nitrogen, phosphorus and potassium						
处 理 Treatment	编 码 值 Coding value			实际施肥量(g/kg) Actual fertilizer rate		
	x ₁ (N)	x ₂ (P ₂ O ₅)	x ₃ (K ₂ O)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	1(0.70)	0(0.20)	0(0.10)	0.28	0.08	0.04
2	0(0.30)	1(0.60)	1(0.10)	0.12	0.24	0.04
3	0(0.30)	0(0.20)	1(0.50)	0.12	0.08	0.20
4	1/2(0.50)	1/2(0.40)	0(0.10)	0.20	0.16	0.04
5	1/2(0.50)	0(0.20)	1/2(0.30)	0.20	0.08	0.12
6	0(0.30)	1/2(0.40)	1/2(0.30)	0.12	0.16	0.12
7	1/3(0.433)	1/3(0.333)	1/3(0.233)	0.173	0.133	0.093
8		仅施氮肥		0.15	—	—
9		仅施磷肥		—	0.10	—

注: 各处理 N、P、K 总量为 0.40 g/kg 土。
Note: The total rates of N, P, K fertilizer application under different treatments were 0.40 g/kg

[收稿日期] 2000-01-12
[基金项目] 杨凌农业高新技术产业示范区科研基金资助项目(98A21)
[作者简介] 刘春光(1974-), 男, 天津蓟县人, 在读硕士, 主要从事旱地水肥管理与新型肥料开发方面的研究。

1.2 测定方法

试验于 10-20 播种, 每盆 10 粒, 留苗 6 株。分别于次年 01-04, 02-25, 03-24 调查各盆分蘖总数。04-09 采收小麦地上部分, 称其鲜物质质量及干物质质量。干样粉碎后用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 法进行消解, 然后分别测定全氮(半微量开氏法)、全磷(钒钼黄比色法)和全钾(火焰光度计法)。并测定盆栽结束后土壤有效氮(碱解扩散法)、速效磷(NaHCO_3 浸提, 比色法)、速效钾(NH_4OAc 浸提, 火焰光度法)。

依测定结果配置回归方程, 求出各产量(y)下的配比值 x_1, x_2, x_3 ($x_1 + x_2 + x_3 = 1$), 并绘制等产线, 从而找出最佳配比范围。

2 结果与分析

2.1 不同氮、磷、钾配比对小麦分蘖的影响

由表 2 可知, 处理 1、8 分别为施氮比例较高或

表 2 分蘖数 3 次调查结果及差异显著性(LSD 法)

Table 2 Tillering numbers investigated in different time and its difference significance

时间 Time	处 理 Treat- ment	平均数 A verage	5%	1%	时间 Time	处 理 Treat- ment	平均数 A verage	5%	1%	时间 Time	处 理 Treat- ment	平均数 A verage	5%	1%
01-04	1	14.6	b	A	02-25	1	21.8	bc	C	03-24	1	21.4	b	B
	2	18.2	a	A		6	27.8	a	A		6	25.0	a	A
	3	18.2	a	A		2	25.8	ab	AB		2	24.0	ab	A
	4	17.0	ab	A		7	25.2	ab	AB		5	23.2	ab	A
	5	16.6	ab	A		3	24.2	ab	ABC		3	22.4	ab	A
	6	18.0	a	A		5	25.2	ab	AB		4	23.8	ab	A
	7	16.4	ab	A		9	23.2	b	ABC		9	22.0	ab	AB
	8	10.2	b	B		8	19.0	c	C		8	17.6	c	B
	9	17.0	ab	A		4	25.0	ab	AB		7	22.6	ab	A
LSD _{0.05} = 2.757 LSD _{0.01} = 3.699					LSD _{0.05} = 4.157 LSD _{0.01} = 5.579					LSD _{0.05} = 3.345 LSD _{0.01} = 4.489				

注: 以上分蘖数为每 6 株平均数(个)。

Note: The tillering number in this table was the average per 6 wheat plants

2.2 不同氮、磷、钾配比对地上部鲜、干物质质量的影响

由表 3 可知, 单施氮、磷处理(处理 8、9)小麦鲜物质质量和干物质质量显著低于其他处理, 说明肥料配合比单施有显著的增产作用; 而处理 3 产量明显低于其他处理, 这与该处理钾的比例偏高, 氮、磷比例低有关。说明氮、磷养分供应不足会影响小麦生长。处理 1、5 均为磷、钾配比一定时氮肥比例偏大的处理, 增产效果明显, 可见氮素对植物生长的主导作用。依鲜物质质量测定结果配置回归方程, 得:

仅施氮肥的处理, 分蘖数明显低于其他处理, 说明仅施氮肥或氮素比例过大不利于小麦分蘖; 处理 2、6 为氮素比例较小而磷素比例较大的处理, 分蘖数明显多于其他处理, 说明磷素有利于促进小麦分蘖。综合来看, 处理 6(N、P、K 配比为 0.173 g/kg, 0.133 g/kg, 0.093 g/kg)的效果较好。依第一次分蘖调查所得数据配置回归方程, 得

$$y = 14.6x_1 + 18.2x_2 + 18.2x_3 + 2.4x_1x_2 + 0.8x_1x_3 - 0.8x_2x_3 - 23.4x_1x_2x_3$$

赋给 y 以不同产量(分蘖数), 求出若干组 x_1, x_2, x_3 , 找出它们在单形中的坐标, 描点并绘制等值线(图 1)。由等值线变化可以直观看出, 氮素比例偏高对分蘖不利; 增加磷、钾比例利于小麦分蘖, 而磷的影响更大一些。

$$y = 31.3x_1 + 27.4x_2 + 24.4x_3 - 2.4x_1x_2 + 8.7x_1x_3 + 12x_2x_3 + 22.5x_1x_2x_3$$

依此方程绘制等值线(图 2)。由图 2 可知, 小麦鲜物质质量与氮素比例大小有密切关系。在氮、磷、钾配比试验中, 氮素比例增加则小麦鲜物质质量增加, 与表 4 分析结果一致。由图 2 还可以看出, 要获得较高产量(鲜物质质量 > 30.5 g/盆), 各因素的取值为 $x_1(\text{N}) = 0.3 \sim 1.0$, $x_2(\text{P}) = 0 \sim 0.38$, $x_3(\text{K}) = 0 \sim 0.45$ 。相应的氮、磷、钾配比分别为 0.12~0.40 g/kg, 0~0.15 g/kg 和 0~0.18 g/kg。

表 3 地上部鲜物质质量和干物质质量比较及差异显著性

Table 3 Fresh matter weight and dry matter weight of aboveground parts and difference significance									
鲜物质质量 (g/盆) Fresh matter weight	处理 Treatment	平均值 Average	5%	1%	干物质质量 (g/盆) Dry matter weight	处理 Treatment	平均值 Average	5%	1%
	1	31.31	a	A		1	6.53	a	A
	2	27.38	b	BC		4	5.69	bc	B
	3	24.43	c	CD		3	5.42	c	B
	4	28.74	ab	AB		2	5.85	bc	AB
	5	30.57	ab	A		6	6.07	ab	A
	6	28.90	ab	AB		7	5.86	bc	AB
	7	30.57	a	A		5	6.08	ab	A
	8	20.93	d	DE		9	4.13	d	C
	9	18.76	d	E		8	3.96	d	C
LSD _{0.05} = 2.823 LSD _{0.01} = 3.789					LSD _{0.05} = 0.538 LSD _{0.01} = 0.722				

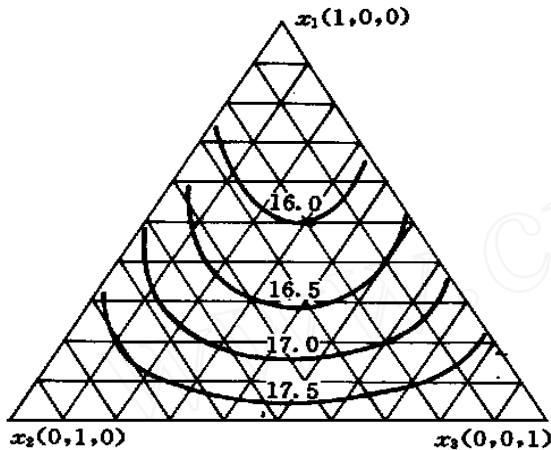


图 1 不同氮、磷、钾配比小麦分蘖数等值线
Fig 1 Isolines of tillers of winter wheat under different N, P and K combination

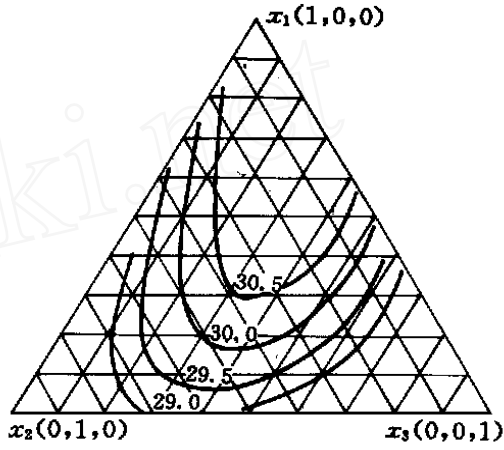


图 2 不同氮、磷、钾配比地上部鲜物质质量等值线
Fig 2 Isolines of tillers of fresh weight of aboveground parts under different N, P and K combination

2.3 对植株体内的全氮、全磷、全钾含量的影响

由表 4 分析, 植株体内氮、磷含量基本上与施入量呈正相关, 施氮量相等的 2、3、6 处理相比, 各处理小麦产量为: 处理 2> 处理 6> 处理 3, 与施磷量相一致, 证实了磷素营养对氮素吸收及氮代谢的重要作用。全磷含量与施入量呈正相关, 受氮、钾影响较小。由处理 1、4、5(大量施氮)可看出, 氮对植株体内全钾含量影响不大, 全钾含量受氮、磷配比变化影响更大些, 含钾量最高的为处理 7(N : P : K= 0.433 : 0.333 : 0.233)。根据以上数据配置回归方程, 得:

全氮: $y = 3.25x_1 + 2.92x_2 + 2.46x_3 - 0.06x_1x_2 + 1.22x_1x_3 + 0.20x_2x_3 + 1.68x_1x_2x_3$

全磷: $y = 0.27x_1 + 0.44x_2 + 0.23x_3 - 0.12x_1x_2 + 0.01x_1x_3 + 0.02x_2x_3 + 0.57x_1x_2x_3$

全钾: $y = 2.9x_1 + 2.38x_2 + 2.84x_3 - 0.88x_1x_2 + 0.44x_1x_3 + 0.04x_2x_3 + 14.52x_1x_2x_3$

在产量(测定结果)范围内给 y 赋不同的值, 解出若干组 x_1, x_2, x_3 组合, 并依此作各个项目的等值线(见图 3, 4, 5)。

表 4 冬小麦地上部全氮、全磷、全钾含量比较

Table 4 Total nitrogen, total phosphorus and total potassium contents of aboveground parts of winter wheat g/kg							
处 理 Treatment	全 氮 Total nitrogen	全 磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium	处 理 Treatment	全 氮 Total nitrogen	全 磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium
1	32.5	2.66	29.0	6	27.4	3.29	26.2
2	29.2	4.38	23.8	7	30.9	3.23	32.0
3	24.6	2.31	28.4	8	26.0	1.96	27.2
4	30.7	3.22	24.2	9	15.9	3.33	25.8
5	31.6	2.52	29.8				

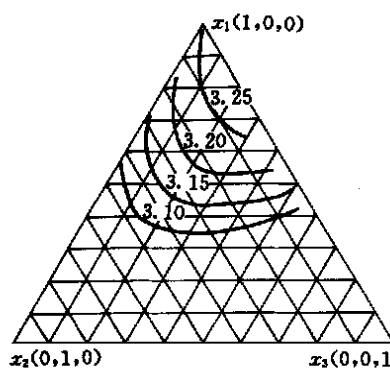


图 3 地上部全氮含量等值线

Fig 3 Isolines of total nitrogen content of aboveground parts

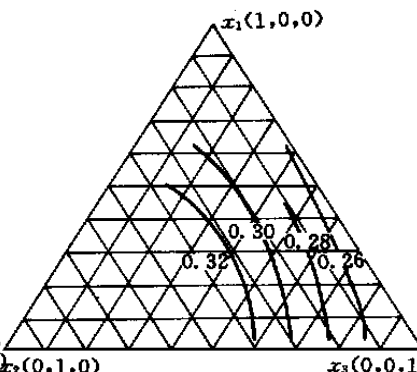


图 4 地上部全磷含量等值线

Fig 4 Isolines of total phosphorus content of aboveground parts

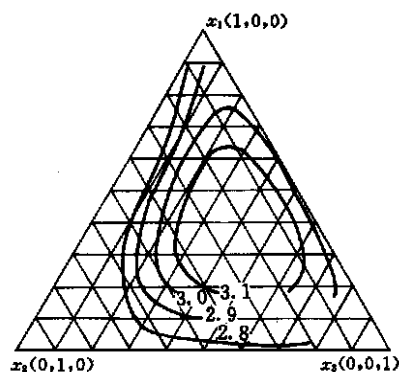


图 5 地上部全钾含量等值线

Fig 5 Isolines of total potassium content of aboveground parts

由图 3 知,植株体内含氮量受磷影响较大,与表 4 分析结果一致。同时还能看出,施磷过多会影响氮素吸收。由图 4 可以看出,植株体内全磷含量与磷肥施用量呈正相关,且受氮、钾影响较小。由图 5 知,植株体内全钾含量受氮、磷配比变化影响。若要求全钾含量 $> 31 \text{ g/kg}$, 配比应为 $x_1(\text{N}) = 0.15 \sim 0.65$, $x_2(\text{P}) = 0.06 \sim 0.44$, $x_3(\text{K}) = 0.21 \sim 0.65$ 。相应的氮、磷、钾施肥配比为 $0.060 \sim 0.260 \text{ g/kg}$; $0.024 \sim 0.176 \text{ g/kg}$; $0.084 \sim 0.260 \text{ g/kg}$ 。

3 结 论

本研究在应用混料设计得到回归方程后,在 $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ 的限制条件下,通过代入法求出不同组分配比的效应,依所求出的 x_1, x_2, x_3 各组合在单形内描点连线,得到不同形状的数条等产(值)线,根据等产线的变化趋势确定了不同养分配比变化时对观察项目的影响,并根据等值线图获得最高产量的大致范围,从而找出的适宜的养分配比方案。可以看出,这一方法具有直观性强,信息量大等优点,是研究肥料配比非常有效的一种方法。

[参考文献]

- [1] Scheffe H. Experiments with mixtures[J]. J Roy Stat Soc B, 1958, 20: 344- 360
- [2] 白厚义, 肖俊璋主编 试验研究及统计分析[M]. 西安: 世界图书出版公司, 1998
- [3] 关颖男 混料回归设计[J]. 数学的实践与认识, 1980, (1): 52- 64
- [4] Duda G G Use of simplex-lattice design techniques to determine optimum distribution of fertilizers between times of their application[J]. Fertilizer Research, 1992, 31: 193- 207
- [5] 李 隆 肥料试验中应用的单形格子设计及其统计分析[J]. 土壤通报, 1992, 23(6): 275- 276
- [6] Schrevens E, Cornell J. Design and analysis of mixture systems: Applications in hydroponic, plant nutrition research[J]. Plant and Soil, 1993, 154: 45- 52

Application of mixture experiment design in studying the effects of fertilizer combination

L IU Chun-guang, ZHOU Jian-bin, CHEN Zhu-jun

(College of Resources and Environment, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this paper the pot experiment was conducted in order to study the application of the simplex centroid design in the combination of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. The tillering numbers, fresh weight and dry weight of the aboveground parts, the total nitrogen, total phosphorus and total potassium of wheat plants, as well as nitrogen, phosphorus and potassium contents in tested soils were determined. The correlation equations of different items were allocated, and the proportions of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers were calculated and the equivalent yield curves were made based on these proportions. According to the changes of equivalent yields curves, the influence of fertilizer proportion changes on crop yield was ascertained, the feasibility of mixture experiment design in the study of fertilizer combination was primarily demonstrated.

Key words: mixture design; simplex centroid design; fertilizer combination