

土壤营养物质和小麦产量关系研究

张正斌 王德轩

(中国科学院 水利部 西北水土保持研究所)

提 要

本文通过对陕西省54个县(市、区)10种土壤营养物质和小麦产量进行相关和多元逐步回归分析研究,总结出小麦产量和土壤营养物质的关系,建立了由碱解氮、速效磷、速效钾、硼、锌构成的土壤营养物质和小麦产量的最优回归模型,揭示了在目前生产水平下,陕北黄土高原沟壑与丘陵沟壑区,土壤肥力还具有增产潜力;关中地区土壤肥力目前在不同程度上已得到发挥。并对土壤营养物质进行了模糊聚类分析,为土壤评价、小麦生产营养诊断提供了可靠信息。

土壤营养物质是土壤肥力的一个重要组成方面,在很大程度上决定了土地生产潜力。本文利用陕西省第二次土壤普查资料,对关中、渭北和陕北黄土丘陵部分地区的主要农业土壤营养物质和小麦产量采用相关和多元逐步回归分析方法,进行了研究,旨在探讨半湿润和干旱半干旱地区土壤营养物质和小麦产量的关系,以揭示不同地区小麦生产的限制因素,为获得小麦高产提供理论依据。

一、陕西省土壤营养物质分布概况

陕西省南北狭长,地貌复杂,土壤类型多样,生产力差异较大。如表1所示:从陕北黄土丘陵沟壑区—渭北旱塬—关中平原,土壤营养物质含量由贫瘠—中等—较高;小麦亩产相应从较低—中等—较高,见表1。

二、结果分析

(一)土壤营养物质相关分析 通过对陕西省54个县(市、区)土壤普查资料进行相关分析,如表2所示:

1. 土壤有机质和全氮>碱解氮>铜>铁>速效磷成极显著正相关;和锌>锰>速效钾成显著正相关;和硼相关不显著。说明有机质是土壤肥力中的一个重要因子,和各种营养物质是有着密切的相关,因此增施有机肥,是培肥地力最基本和最有效的措施。

2. 全氮和碱解氮>速效磷>铁>铜成极显著正相关;和速效钾成显著正相关;和硼、锌、锰相关不显著。

3. 速效磷和碱解氮成极显著正相关;和硼>铜成显著正相关。

4. 速效钾和铜成极显著正相关。

5. 碱解氮和铁>铜>锰成极显著正相关;和锌成显著正相关。

6. pH和铁成极显著负相关;和铜>有机质>全氮>锰成显著负相关;和除硼成很弱正相关外,和其它4个元素都成不显著的负相关。说明pH愈大,土壤愈贫瘠;反之土壤愈肥沃。在

表1 陕西省土壤营养物质含量分布概况

地貌分区	有机质 (%)	全氮 (%)	速效磷 (ppm)	速效钾 (ppm)	碱解氮 (ppm)	硼 (ppm)	锌 (ppm)	锰 (ppm)	铜 (ppm)	铁 (ppm)	pH (ppm)	小麦亩产 (kg/亩)
陕北黄土丘陵沟壑区	0.50 } } 0.85	0.037 } } 0.067	4 } } 6	105 } } 135	21 } } 45	0.23 } } 0.338	0.24 } } 0.704	1.76 } } 5.58	0.42 } } 0.64	1.955 } } 5.49	8.3 } } 8.6	39.22 } } 61.30
吴旗 志丹 延安 富县 黄龙 甘泉 黄陵	0.79 } } 1.34	0.061 } } 0.095	5 } } 10	102 } } 208	36 } } 63	0.17 } } 0.28	0.24 } } 0.77	4.12 } } 10.9	0.58 } } 1.11	4.15 } } 8.25	8.0 } } 8.5	57.90 } } 108.2
渭北旱塬	0.93 } } 1.25	0.055 } } 0.093	4 } } 14	74 } } 205	29 } } 48	0.16 } } 0.52	0.20 } } 0.83	1.98 } } 5.876	0.61 } } 1.11	2.73 } } 7.83	8.0 } } 8.5	61.24 } } 168.81
关中平原	0.85 } } 1.61	0.049 } } 0.103	5 } } 20	94 } } 316	30 } } 80	0.16 } } 0.61	0.24 } } 1.40	4.92 } } 21.39	0.2 } } 2.32	2.47 } } 14.07	6.5 } } 8.6	130.2 } } 252.47
岐山 渭滨 秦都 高陵 渭南 蓝田												
凤翔 金台 长安 临潼 华阴 华县												
眉县 兴平 户县 泾阳 武功 周至 三原												
扶风 凤县 扶风 武功 周至 三原												

表2 土壤营养物质相关阵

	有机质 (%) X ₁	全氮 (%) X ₂	速效磷 (ppm) X ₃	速效钾 (ppm) X ₄	碱解氮 (ppm) X ₅	pH X ₆	硼 (ppm) X ₇	锌 (ppm) X ₈	锰 (ppm) X ₉	铜 (ppm) X ₁₀	铁 (ppm) X ₁₁	小麦 亩产 (kg) X ₁₂
有机质 X ₁	1											
全氮 X ₂	0.891973**	1										
速效磷 X ₃	0.435323**	0.505909**	1									
速效钾 X ₄	0.270527*	0.267423*	0.140532	1								
碱解氮 X ₅	0.693237**	0.731107**	0.451824**	0.209610	1							
pH X ₆	-0.295664*	-0.276937*	-0.167755	-0.069207	-0.196774	1						
硼 X ₇	0.030059	0.071689	0.327061*	0.195435	0.071426	0.035175	1					
锌 X ₈	0.325152*	0.249980	0.157338	-0.002018	0.324591*	-0.166363	0.138335	1				
锰 X ₉	0.271426*	0.199876	0.158055	0.205074	0.396443**	-0.271464*	-0.069332	0.519400**	1			
铜 X ₁₀	0.530483**	0.388133**	0.317919*	0.363840**	0.478793**	-0.304148*	0.197178	0.312389*	0.601903**	1		
铁 X ₁₁	0.466933**	0.397194**	0.250173	0.030931	0.56058**	-0.586262**	-0.158210	0.450506**	0.642836**	0.520254**	1	
小麦 亩产 X ₁₂	0.410723**	0.419108**	0.474316**	0.375089**	0.523079**	-0.243254	0.387103**	0.361328**	0.316850**	0.462588**	0.217591	1

注: **——1%显著水平; *——5%显著水平

生产上通过调节土壤pH，有利于土壤微生物活动，改良土壤农化特性，这也是一个熟化培肥土壤的有效措施。

7. 锌和锰>铁成极显著正相关；和铜成显著正相关；

8. 锰和铁>铜成极显著正相关；铜和铁也成极显著正相关。

9. 小麦亩产和除pH、铁相关不显著外，和碱解氮>速效磷>铜>全氮>有机质>硼>速效钾>锌>锰都成极显著正相关。由此可见、各种土壤营养物质对小麦生长发育都有作用、不可忽视任何一个方面。在北方富钾的土壤中小麦亩产和碱解氮、速效磷有密切相关以外，和微量元素铜也有很大的相关，这提示我们在今后的生产中应该重视铜肥的施用和研究，这是一个没有引起人们深刻认识的新问题，同时应进一步加强硼、锌、锰微肥的研究和推广工作，这样才能在营养上确保粮食生产。

(二) 土壤营养物质的模糊聚类分析。各种土壤营养物质间有着不同程度和不同方向的相关，对不同相关性质的营养物质进行聚类分析，为土壤农化特性评价，以及土壤和植物的营养诊断可提供重要信息。首先我们根据土壤营养物质相关阵(表1)求得模糊等价矩阵($R^* = R^a$)进行模糊系统聚类如图1所示，当 $r = 0.6$ 时，11种土壤营养物质共分为7类：有机质、全氮和碱解氮为第I类；锰、铁、铜为第II类，其余5种营养物质各为一类。

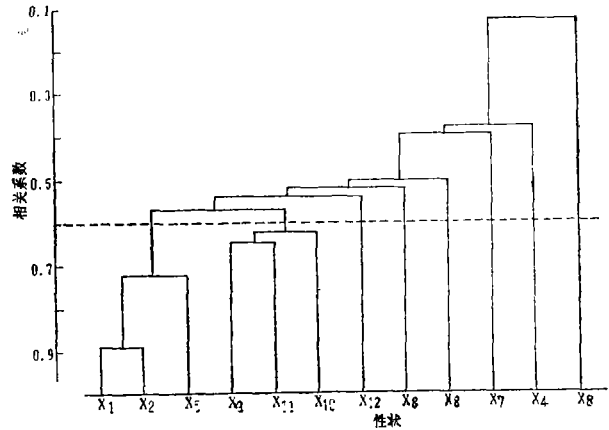


图1 土壤营养物质的模糊聚类图

模糊系统聚类图，一是成图较难，二是求模糊等价矩阵时太多，且图谱只能反映类属间的间接相关关系，而不能详细反映各个性状间的直接最大相关关系。在此我们依最大相似树原则，利用相关阵(表2)直接进行模糊聚类如图2所示，当 $r = 0.6$ 时，11种营养物质也分为7类和模糊系统聚类结果相同。模糊最大相似树，一是直接根据各个营养物质间最大相关系数生成，不需进一步演算；二是图谱清晰易画，且能反映各种营养物质间的相关关系，比模糊系统聚类图富含更多的信息。

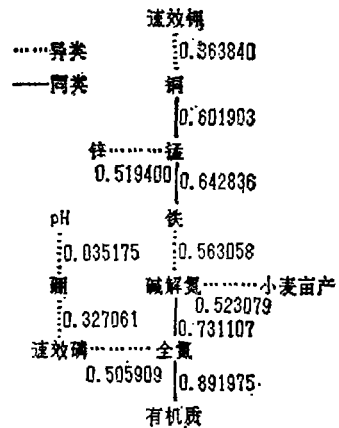


图2 土壤营养物质相关最大树

(三) 小麦产量和土壤营养物质的偏相关和标准回归系数分析 简单相关系数中包含着其它营养物质的影响，是表面的，非本质的关系。只有偏相关和标准回归系数才能真实正确评定除去其它营养物质影响以外某个营养元素和小麦产量之间的线性相关程度和回归效应。经过多元逐步回归变量选择后，得出如下结果，如表2所示

碱解氮>速效钾>硼和小麦产量的偏相关均已达到显著水平以上 ($p < 0.05$)，磷和锌与小麦产量之间的偏相关不显著 ($p > 0.05$)。

由于标准回归系数消除了纲量的影响，因此可以相互比较，它能直观反映自变量作用的大小。如表3所示，各种营养物质对小麦亩产的回归预报作用是碱解氮>速效钾>硼>锌>速效磷。

(四) 土壤营养物质和小麦产量的复相关分析

表3 土壤营养物质和小麦产量偏相关和标准回归系数

逐步回归选择结果	标准化回归系数	偏相关系数	T值	概率p (2尾)
速效磷	0.19888	0.2308	1.6431	0.1069
速效钾	0.24027	0.3096*	2.2555	0.0287
碱解氮	0.30133	0.3341*	2.4560	0.0177
硼	0.22570	0.2815*	2.0321	0.0477
锌	0.20149	0.2576	1.8472	0.0709

注: * 5%显著水平

简单相关和偏相关、标准回归系数,只是在不同深度上,反映了小麦产量和每个营养物质间的相关程度和回归效应。但小麦产量的形成是多个营养物质和其它生态因子相互影响和共同作用的结果。对土壤营养物质和小麦产量进行多元相关和逐步回归分析、挑出决定小麦产量变异主要因素,剔除影响作用较小的因素,抓住主要矛盾,建立最优回归预报模型,能深刻揭示营养物质和小麦产量之间复杂的互作关系,为分析和解决实际问题提供理论依据。

如表4所示碱解氮、硼和小麦产量的复相关系数为0.6297,共同决定了小麦产量变异的

表4 土壤营养物质和小麦产量复相关关系

逐步回归选择结果	复相关系数	决定系数	决定系数变化
碱解氮	0.5231**	0.2736	0.2736
硼	0.6297**	0.3966	0.1229
速效钾	0.6639**	0.4408	0.0442
锌	0.6887**	0.4743	0.0335
速效磷	0.7087**	0.5023	0.0280

注: ** 1%显著水平

39.66%其中硼决定了12.29%,以上5个营养物质和小麦产量的复相关系数为0.7087,共同决定了小麦产量变异的50.23%,说明在小麦生产中这5个营养物质起着重大的决定作用,要加强它们的研究和投入。

(五) 小麦产量和土壤营养物质最优回归模型建立

经过逐步回归计算得到以下模型:

$$\hat{y} = -61.16134 + 2.86481x_3 + 0.32492x_4 + 1.299105x_5 + 118.07815x_7 + 44.20705x_8$$

其方差如表5所示、F测验极显著,偏差概率为零,说明此模型可准确反映土壤营养物质和小麦产量的回归效应。

其模型意义为:每增加1ppm速效磷和速效钾、小麦亩产将分别增加2.86481kg和0.32492kg;每增加1ppm碱解氮、硼和锌、小麦亩产将分别增产1.299kg、118.078kg和44.207kg。

(六) 土壤肥力预测小麦产量分析

利用以上最优回归模型计算得到各县(区)土壤肥力预测小麦产量如表6所示:

表5 方测分析表

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	概率 (p)
回归	356 883.75	5	71 376.75	9.6 868**	0.00
残差	353 684.75	48	7 368.4297		
总和	710 568.5	53	1 3406.95		

表6 实际产量和预测产量对照表

县(区)名	实际产量 (kg/亩)	预测产量 (kg/亩)	偏差 (kg/亩)	县(区)名	实际产量 (kg/亩)	预测产量 (kg/亩)	偏差 (kg/亩)
黄龙	72.56	160.15	-87.6	泾阳	206.25	144.5	61.75
太白	89.77	169.44	-79.67	白水	109.1	55.20	53.90
麟游	61.25	128.3	-67.05	岐山	193.7	142.55	51.15
甘泉	66.8	133.19	-66.4	长安	184.9	136.35	48.55
志丹	46.31	105.61	-59.3	乾县	168.8	128.15	40.65
华阴	146.7	204.95	-58.25	大荔	174.3	135.3	39.0
蓝田	143.65	197.35	-53.70	合阳	126.05	102.5	38.55
铜川郊区	89.55	140.90	-51.35	渭南	195.4	162.05	33.3
延安	61.30	108.1	-46.8	礼泉	165.65	133.05	32.60
黄陵	81.15	126.4	-45.25	三原	191.55	158.85	32.7
宜君	69.25	106.05	-36.80	武功	188.8	157.0	31.8
韩城	136.2	165.4	-29.20	凤翔	161.6	135.85	25.75
宜川	57.8	83.99	-26.1	高陵	252.48	227.795	24.68
淳化	98.2	123.9	-25.7	潼关	130.2	111.35	18.85
吴旗	46.3	64.35	-25.05	秦都区	213.4	197.4	16.0
延长	55.6	78.8	-23.2	卢县	224.45	214.4	10.05
安塞	41.98	64.55	-22.6	千阳	114.8	105.4	9.4
延川	45.8	66.35	-20.55	临潼	204.85	196.45	8.4
耀县	108.15	122.65	-15.0	长武	143.65	135.5	8.15
蒲桥	193.65	207.05	-13.4	永寿	115.9	107.8	8.1
华县	157.8	171.15	-13.35	洛川	88.9	81.1	7.8
子长	39.56	52.70	-13.15	眉县	164.7	160.05	4.65
富平	154.65	166.6	-11.95	旬邑	117.35	113.15	4.15
兴平	230.3	154.55	75.75	富县	106.5	104.0	2.5
周至	191.05	120.3	70.76	澄城	123.1	122.0	1.1
金台	195.95	129.45	6.65	渭滨	148.65	148.1	0.55
扶风	208.35	144.1	64.25	蒲城	136.75	136.65	0.095

在黄土丘陵沟壑地区和一些山区县、预测产量高对实际产量，在这些地区由于水土流失严重和其它因素的影响，使土壤肥力仍未完全发挥，还有潜力可挖，在目前产量水平下并不是小麦高产的限制因子，提高小麦产量的主要途径是：实行和推广蓄水保水节水的水土保持耕作措施，改造坡耕地低产田为梯田、埝地有效防治水土流失。以水调肥，充分发挥土壤肥力增产潜力；减少自然与病虫害对小麦生产的危害，同时增加肥料投入，培肥地力、使小麦由低产达到中产水平。

在关中平原、渭北旱塬地区、土壤肥力在不同程度上发挥了增产作用。在这些地区由于新老灌区的发展和建成，水利设施发达，温热光源丰富，复种指数较高，高产作物连季种植，主要靠增施肥料和灌溉来弥补土壤肥力和降水的不足，满足作物高产需求。提高小麦生产的主要途径是：一、种植抗病不倒伏、耐水肥耐旱的水肥型、旱肥型高产优良品种；二、合理密植，精耕细作、采用优化栽培管理方法，及时防治病虫害；二是增施肥料、培肥地力、扩大灌溉，改造大面积中产田为高产田。

三、结 论

通过以上研究，得到以下主要结论：

1. 小麦亩产除和pH和Fe相关不显著外，和碱解氮>速效磷>铜>全氮>有机质>硼>速效钾>锌>锰都成极显著正相关。

2. 模糊聚类将11种土壤营养物质分为7类，有机质、全氮和碱解氮为第Ⅰ类，锰、铁和铜为第Ⅱ类，其余5种营养物质各为一类。

3. 经过多元逐步回归选择建立了由碱解氮、速效磷、速效钾、硼和锌构成的土壤营养物质和小麦产量的最优回归模型，以上5种营养物质和小麦产量的复相关系数为0.7087，决定了小麦产量变异的50.23%；它们和小麦产量的偏相关以及对小麦产量回归预报作用有相同趋势：碱解氮>速效钾>硼>锌>速效磷。

4. 利用以上最优回归模型计算得到各县小麦的土壤肥力预测产量。认为：在陕北黄土高原沟壑与丘陵沟壑区诸县，土壤肥力并不是目前生产水平下，小麦高产的限制因素，还有潜力可挖。在关中地区土壤肥力已满足不了小麦高产的需要，是高产的限制因素、要高产就要大量投入肥料。

参 考 文 献

- 1、陕西省农业勘察设计院主编：《陕西农业土壤》，陕西科技出版社，1984年6月。
- 2、刘树泽等：《作物产量预报方法》，气象出版社，1987年1月。
- 3、莫惠栋：《农业试验统计》，上海科技出版社，1984年1月。

