

# 华北平原土壤剖面质地构型对小麦产量的影响研究<sup>①</sup>

檀满枝<sup>1</sup>, 李开丽<sup>2</sup>, 史学正<sup>1</sup>, 赵炳梓<sup>1</sup>, 陈杰<sup>3\*</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 江苏第二师范学院, 南京 210013; 3 郑州大学水利与环境学院, 郑州 450001)

**摘要:** 华北平原是一个河流冲积而成的平原, 土壤剖面层次质地分异明显, 土壤剖面在垂直方向上的质地层次不同排列影响作物产量, 目前在这方面的研究甚少。本文基于河南省封丘县 152 个土壤剖面层次的颗粒组成和 121 个田块的连续两年小麦测产结果, 应用模糊 c-均值算法模型和地统计学模型, 研究了土壤剖面质地构型与小麦产量间的定量关系。结果表明: 研究区主要分布了 8 种土壤剖面质地构型, 它们对应的小麦生产力水平差异较大。8 种类型中, 砂-砂-砂型小麦生产力水平最低, 对应的分布区是小麦的主要低产区, 土壤剖面全砂性质地是导致小麦低产的一个关键因素, 原因是砂性土壤不利于保水保肥, 而且砂性土壤本身所含土壤养分很低。壤-黏-壤、壤-黏-黏构型是肥力条件较好的土壤, 传统上称这种土壤为“蒙金地”, 小麦单产较高且稳定, 是建设高产田的基础。砂-壤-壤、壤-壤-壤、壤-壤-黏构型是肥力条件最好的土壤, 其小麦生产力水平最高。将小麦单产进行分级后研究发现, 土壤剖面质地构型对 <math>7\ 050\ \text{kg}/\text{hm}^2</math> 的中低小麦产量会产生影响, 但对 >math>7\ 050\ \text{kg}/\text{hm}^2</math> 的小麦高产影响不大。

**关键词:** 华北平原; 潮湿锥形土; 特征质地层; 剖面质地构型; 小麦产量

**中图分类号:** TP3; S159

华北平原是我国最重要的粮食生产区, 土壤类型以潮湿锥形土为主, 其最突出的发生学特征之一是对成土母质的强烈继承性。土体中不同深度土壤层次冲积物质的颗粒组成的层理结构, 决定了土壤剖面垂直方向上的质地层次排列, 亦称为土壤剖面质地构型, 它会影响作物产量<sup>[1-2]</sup>。

由于华北平原成土母质为黄河多次泛滥冲积产物, 土壤质地层次在水平和垂直空间上均表现出高度变异性。土壤剖面质地层次排列组合对作物产量的影响研究可以分为 3 个方面, 即表层土壤质地、全剖面土壤质地均质型(单一一种类型)和剖面层次土壤质地类型组合等对作物产量的影响。首先是表层土壤质地对作物产量的影响, Quiroga 等<sup>[3]</sup>在阿根廷彭巴草原区, 基于 38 个试验田块的表层(0 ~ 20 cm)土壤有机质、黏粉粒含量和小麦产量数据, 研究了表层土壤属性与小麦产量之间的关系, 结果表明土壤有机质能解释小麦产量 32% 的变异, 而土壤有机质和黏粉粒含量(国际制 <math><0.02\ \text{mm}</math>) 比值能解释小麦产量 51% 的变异, 这表明后者比前者能更好地表征小麦产量; 有机质和黏粉粒含量的比值越大, 相应的小麦产量越高。比值 4.4 时, 被视为某种程度上有退化风险的

土壤。此结果跟 Pieri 等<sup>[4]</sup>在非洲半干旱区法语居民区的的结果基本相同, 后者确定的比值为 5。其次, 全剖面土壤质地均质型对作物产量的影响, Ahmadi 等<sup>[5]</sup>于 2007 年 4—8 月, 在丹麦的奥尔胡斯市农业科学系 foulum 研究中心基于田间试验, 研究 3 种不同土壤剖面(0 ~ 70 cm)质地和 3 种不同灌溉措施对土豆产量的影响。3 种土壤质地类型分别为粗砂土, 壤砂, 砂壤, 3 种灌溉措施分别为充分灌溉(full irrigation, FI)、不充分灌溉(deficit irrigation, DI)、根部区域干旱(partial root-zone drying, PRD)。结果表明, 不同灌溉措施对应不同土壤质地类型对土豆产量没有显著影响, 但是不同土壤质地类型在不同灌溉条件下对应土豆产量有差异, 壤砂土对应的土豆产量显著高于其他两种土壤质地类型。灌溉措施和土壤质地之间有显著交叉效应, 在充分灌溉条件下壤砂土对应土豆产量最高。Jalota 等<sup>[6]</sup>在印度的 Punjab 的 Ballowal Saunkri 地区, 应用田间试验和作物系统模型模拟两种方法, 设计不同播种日期、灌溉方式和土壤质地剖面(0 ~ 180 cm, 分别为壤砂土、砂壤土和粉砂壤土)对玉米-小麦产量的影响。结果表明, 砂壤土和粉砂壤土对应的玉米产量分别比壤砂土高 3% 和 14%;

基金项目: 国家自然科学基金项目(40701070、40971128)和中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-02)资助。

\* 通讯作者(jchen@zzu.edu.cn)

作者简介: 檀满枝(1978—), 女, 安徽望江人, 博士, 主要从事土壤资源演变、土壤空间预测及土壤调查制图研究。E-mail: mzhtan@issas.ac.cn

小麦产量分别比壤砂土高 8% 和 22%。粉砂壤土对应的玉米和小麦的模拟产量比砂壤和壤砂土高,原因是与砂壤土和壤砂土相比,粉砂壤土有较高的水份保持力。第三,不同剖面层次土壤质地类型组合对作物产量的影响,这更接近土壤实际情况,赵风岩<sup>[7]</sup>和翟玉柱等<sup>[8]</sup>在河北省东南部平原的潮湿锥形土区,根据群众经验,总结出 4 种类型土体构型(系指土体内不同质地土层的排列组合),即均质型(剖面通体无质地等级差别)、蒙金型(即上虚下实,上轻下黏)、腰砂型(两头黏,中间砂)和叠夹型(即土体内层次多而薄,砂、壤、黏交替叠夹),每种类型各选择一试验田块,采用当地典型的轮作制(冬小麦/夏玉米),所有田块的施肥和田间管理措施保持一致,1991—1994 年连续 3 年对试验田块测定作物单产。赵风岩<sup>[7]</sup>研究表明,均质型和蒙金型土壤平均作物单产分别为 15.0 t/hm<sup>2</sup> 和 14.6 t/hm<sup>2</sup>,而夹沙型和叠夹型土壤平均单产为 9.1 t/hm<sup>2</sup> 和 8.3 t/hm<sup>2</sup>,不同土体构型土壤其生产力水平差异很大,均质型和蒙金型作物单产高,而腰砂型和叠夹型作物单产低。翟玉柱等<sup>[8]</sup>与赵风岩<sup>[7]</sup>研究结果一致,从另外一个角度表明均质型和蒙金型是高产农田,而腰砂型和叠夹型则是中低产类型。

综上所述,前人研究是基于表层质地和全剖面土壤质地均质型,针对更接近土壤实际情况的土壤剖面层次质地类型组合,也只是根据群众经验的宏观描述,选择 4 种类型土体构型的田间试验小区,研究只在田块尺度上进行,样点数很少,剖面土壤层次质地组合类型不够全面。基于区域尺度土壤剖面层次质地分析数据,量化研究土壤剖面层次质地组合类型,及其对小麦产量的影响还未见报道。

河南省封丘县在黄淮海平原中低产田改造的国家科技攻关项目中,作为华北平原的示范区从 1981 年开始一直延续到 2005 年,在中低产田改造、建设国家商品粮基地方面作出了历史性贡献。经过 20 多年的改造,该地区从粮食低产区变成了高产区,旱涝、土壤盐碱化虽然得到了很好的治理,但该地区仍有数量可观的中低产田。目前中低产田状况如何、土壤剖面质地构型对粮食产量是如何影响的等方面情况还不清楚。因此本研究选择华北平原的河南省封丘县作为案例区,揭示该地区土壤剖面质地构型,研究土壤剖面质地构型对小麦产量之间的影响,研究结果可为该地区的土壤进一步改良利用、小麦生产布局以及生

产潜力评估提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

封丘县地处河南省东北部,地理位置在 34°53′~35°14′N, 114°14′~114°45′E 之间,是典型的黄河中下游冲积平原区。气候属于北暖温带半干旱型季风气候区,冬季寒冷雨雪少、春季干旱风沙多、夏季炎热多雨水、秋高气爽节短。封丘县属平原地面范畴,其地面形态之间的差异性小,地势平坦。区域面积 1 220 km<sup>2</sup>,其中耕地面积 640 km<sup>2</sup>,总人口 74.7 万,其中农业人口 67.4 万。封丘县是全国商品粮生产县之一,土地利用方式主要为旱地,种植方式为一年两熟,盛产作物有小麦、玉米。本县境内分布的主要土壤是潮湿锥形土,占全县土壤总面积的 98% 以上。成土母质为黄河冲积物,由于黄河的多次泛滥冲积,土壤在垂直与水平方向上质地层次分布较为复杂,砂黏相间、层理交错,剖面质地构型多样。

### 1.2 样品采集与分析

首先在研究区遥感影像图的基础上,布置 2 km×2 km 网格。其次叠加土壤图和土地利用图,在网格内选取土壤类型面积最大且利用方式为耕地的图斑,在图斑中间布点。研究区最后共布设土壤剖面样点 152 个(图 1)。样品于 2008 年 7 月中旬采集完成,剖面深度至 1 m,按土壤实际发生层进行土壤分层采样,共采集土壤样品 608 个。样品经自然风干后,研磨过 10 目筛备用,用吸管法测定土壤样品的颗粒组成<sup>[9]</sup>,并按照美国制进行质地类型的划分。

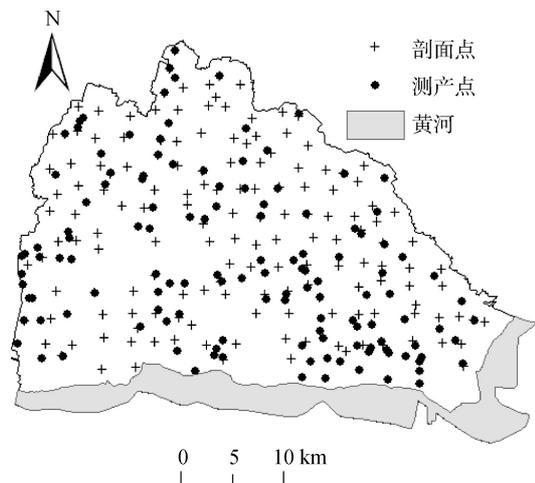


图 1 研究区土壤样点分布图  
Fig. 1 Sample sites in study area

121 个测产田块的布设是依据高、中、低产田(根据历史数据和粮食生产经验)合理布局的原则,同时考虑主要土壤类型和空间上分布相对均匀的原则。研究区面积较大的土种类型至少布置 2 个测产点,若某种土壤类型出现的图斑较多,则选取该土壤类型面积最大的图斑中心作为测产点。分别于 2008 年和 2009 年在小麦收获季节连续两年进行测产,最后计算两年小麦平均单产。同时在测产田块内进行 0~20 cm 表层土壤样品的采集,分析表层土壤有机质含量和颗粒组成。

1.3 特征质地层的划分原则

基于 152 个样点的 608 个土壤剖面分层样品的质地类型,根据相邻质地级别的土壤在生产性能上表现出的近似性,将 12 级质地类型进行简化、归并为砂、壤、黏 3 种质地类别。即砂、壤砂和粉砂归并为砂,用符号 s 表示;壤、粉砂壤和砂壤归并为壤,用符号 l 表示;砂质黏壤、黏壤、粉黏壤、砂黏、粉黏和黏归并为黏,用符号 c 表示。同时,把上述土壤发生层,按 3 种质地类别和在剖面中出现的位置进行归并,厚度<10 cm 的层次不予考虑,归并后表土层深度大约为 0~30 cm,用符合 S 表示;心土层深度约 30~60 cm,用符号 C 表示;底土层深度大约 60~100 cm,用符号 B 表示。这种由层次质地类型(砂、壤或黏)和其在剖面中出现位置(表土层、心土层或底土层)两个基本特征定义的层次,就是特征质地层。根据层次质地类型与出现位置二者的组合,本研究最终确立 9 种特征质地层,表土层、心土层和底土层每层分别包括 3 种特征质地层,表土层包括砂质表层(S-s)、壤质表层(S-l)、黏质表层(S-c);心土层包括砂质心土层(C-s)、壤质心土层(C-l)和黏质心土层(C-c);底土层包括砂质底土层(B-s)、壤质底土层(B-l)和黏质底土层(B-c)。

1.4 土壤剖面质地构型的确定方法

基于 152 个样点对应的土壤特征质地层厚度数据,应用模糊 c-均值算法模型,确定剖面特征质地层

组合类型(特征质地层组合亦被称作土壤剖面质地构型)及每一点隶属于每种剖面质地构型的程度。

1.5 小麦高、中、低产量划分标准及空间预测

基于 121 个田块连续两年小麦测产平均产量,采用普通克里格插值方法,进行小麦产量空间预测。将 121 个测产田块连续两年测产结果平均,按“高-低”排序,分别取测产田块数的 36%、28%、36% 为高、中、低产田块数目,高、中产田划分标准为高产田块中的最低产量,高于(或等于)该产量的田块划分为高产田,相反则为中产田;同理,中、低产田划分标准为中产田块中的最低产量,高于或等于该产量为中产田,低于该产量则为低产田。

2 结果与讨论

2.1 表层质地与小麦产量的关系

基于测产田块小麦产量和表层土壤有机质含量和颗粒组成数据,相关性分析结果表明小麦产量与砂粒、粉粒和黏粒含量以及有机质含量之间均没有显著相关性,而与有机质和黏粉粒含量比值呈显著正相关,相关系数为 0.208。结果同样表明了土壤有机质和黏粉粒含量比值比单一有机质指标、土壤颗粒组成能更好地表征小麦产量。

2.2 土壤剖面质地构型对小麦产量的影响

本研究由于土壤剖面点和测产点在地理空间上没有对应关系,研究土壤剖面质地构型对小麦产量的影响,必须首先基于测产点和剖面点数据,进行小麦产量和土壤剖面质地构型空间预测。

2.2.1 研究区土壤剖面质地构型的确定及其空间分布图

基于 152 个剖面样点特征质地层厚度数据,应用模糊 c-均值算法模型,得到研究区特征质地层组合类型(表 1),即土壤剖面质地构型,以及每种构型对应特征质地层厚度中心值和样点属于每种构型的隶属度值。研究区 152 个剖面土壤特征质地层组合被自动划分为 9 种类型,分别以英文字母 a, b, c, d,

表 1 152 个剖面样点土壤特征质地层组合类型及其对应各特征质地层厚度中心值  
Table 1 Soil profile texture patterns (SPTPs) and their corresponding centroids (thickness) of 152 profiles

类别	代码	S-s	S-l	S-c	C-s	C-l	C-c	B-s	B-l	B-c
壤-黏-壤	a	0	36	0	0	0	30	0	30	0
壤-壤-黏	b	0	20	0	0	34	0	0	0	38
壤-黏-黏	c	0	23	0	0	0	41	0	0	31
黏-黏-黏	d	0	0	25	0	0	33	0	0	26
砂-砂-黏	e	20	0	0	43	0	0	0	0	26
砂-砂-砂	f	25	0	0	35	0	0	39	0	0
砂-壤-壤	g	25	0	0	0	35	0	0	34	0
壤-壤-砂	h	0	21	0	0	49	0	28	0	0
壤-壤-壤	i	0	21	0	0	40	0	0	33	0

e, f, g, h, i 表示, 根据每一种类型中各特征质地层出现和缺失情况, 可清楚地揭示每一组合类型的基本特征。如类型 a 是一种表壤-心黏-底壤型特征质地层组合, 其所对应的 3 种特征质地层的厚度中心值分别为 36、30 和 30 cm。具体确定过程参照作者发表的相关文章<sup>[10]</sup>。

基于样点属于每种土壤剖面质地构型的隶属度值, 进行普通克里格插值, 得到每种土壤剖面质地构型的单一类别隶属度图, 将单一类别隶属度图转换为栅格大小为 120 m × 120 m 的栅格图, 依据对于特征质地层组合类型最大隶属度将各个栅格单元进行土壤剖面质地构型类别归属“硬性”甄别, 实现

研究区土壤剖面质地构型预测结果的去模糊化表达, 亦称最大隶属度制图(图 2)。图 2 中可以看出, 研究区以壤-壤-壤为剖面基本质地构型的土壤分布面积最大, 连片分布在研究区中西部, 其次是砂-砂-砂型土壤, 主要分布在研究区南部黄河附近, 其他剖面质地构型的土壤分布面积较小, 其中壤-壤-黏型土壤主要分布于研究区中东部, 其分布范围主要受地形因素控制。尽管在 152 个观测土壤剖面中发现了以黏-黏-黏为基本组合的剖面质地构型, 但由于其分布范围较为有限, 在最大隶属度制图过程中被综合掉, 本文实际上只对其他 8 种主要土壤剖面质地构型进行研究。

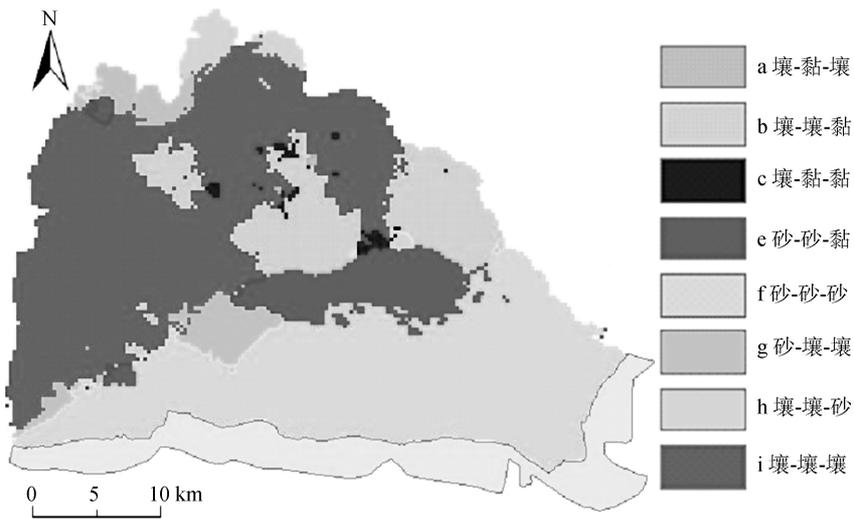


图 2 研究区各种剖面质地构型的空间分布图  
Fig. 2 Spatial distribution map of soil profile texture pattern (SPTP)

**2.2.2 小麦产量及分级空间分布图** 根据封丘县连续两年小麦测产结果平均值统计出小麦高、中、低产田分级标准分别为高产田产量 > 7 050 kg/hm<sup>2</sup>, 中产田产量在 6 000 ~ 7 050 kg/hm<sup>2</sup>, 低产田产量 < 6 000 kg/hm<sup>2</sup>。小麦产量空间分布图显示(图 3), 低产分布区主要分布在封丘县北边的黄德镇、居厢乡, 南边的黄陵乡、黄河沿岸附近。

产量稳定性较差, 虽然其目前平均产量很低, 但通过改变耕作措施, 在某种条件下也能创造出高产, 因此砂-砂-砂型质地构型是提高粮食产量较具潜力的一种剖面质地构型。

**2.2.3 不同类型土壤剖面质地构型与小麦产量的关系** 不同类型土壤剖面质地构型对应小麦产量的最小值、最大值和平均值描述性统计结果表明不同质地构型土壤其生产力水平差异较大(表 2)。砂-砂-砂型质地构型土壤对应小麦产量平均值最低, < 6 000 kg/hm<sup>2</sup>, 其对应的主要是低产田。从标准差和变异系数来看, 壤-黏-壤和壤-黏-黏构型小麦产量离散度较小, 表明壤-黏-壤和壤-黏-黏构型土壤其生产力水平较高且稳定, 是建设高产田的基础。而砂-砂-砂构型小麦产量离散度较大, 表明其小麦

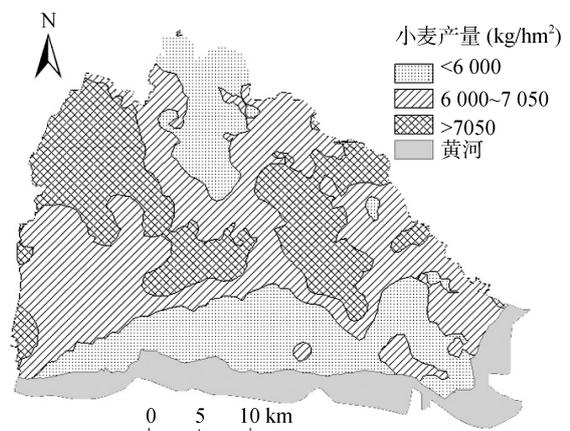


图 3 研究区小麦产量分级空间分布图  
Fig. 3 Spatial distribution map of wheat yield grade

表 2 8 种剖面质地构型对应小麦产量的描述性统计结果(kg/hm<sup>2</sup>)  
Table 2 Descriptive statistics of wheat yields of 8 soil profile texture patterns

类别	代码	最小值	最大值	平均值	极差	标准差	变异系数(%)
壤-黏-壤	a	5 805	7 035	6 375	1 230	240	3.88
壤-壤-黏	b	5 445	8 250	6 900	2 805	510	7.47
壤-黏-黏	c	5 790	7 635	6 210	1 845	255	4.14
砂-砂-黏	e	5 925	8 085	7 005	2 160	435	6.21
砂-砂-砂	f	3 990	8 235	5 895	4 245	765	13.08
砂-壤-壤	g	5 790	8 115	7 245	2 325	420	5.82
壤-壤-砂	h	4 695	7 425	6 090	2 730	405	7.16
壤-壤-壤	i	4 770	8 190	6 780	3 420	615	9.11

土壤剖面质地构型隶属度与小麦产量相关性分析结果表明所有类型中,只有隶属于砂-砂-砂构型隶属度与小麦产量之间呈显著负相关,相关系数为-0.503(表 3);隶属于砂-砂-黏,壤-壤-砂构型土壤的隶属度与小麦产量之间相关性不明显;隶属于壤-黏-壤、壤-壤-黏、壤-黏-黏、砂-壤-壤、壤-壤-壤隶属度与小麦产量之间呈显著正相关。较表层土壤质地与小麦产量关系分析结果相比,土壤剖面质地构型对小麦产量影响评价要优于表层质地的方法。

2.3 土壤剖面质地功能层段与小麦产量的关系

剖面中 0 ~ 60 cm 土体是对土壤肥力质量和农业生产潜力影响最大的层段。对发育于沉积物上的潮湿锥形土类型而言,这一层段的质地属性,直接决定土壤储存、保持和供给水分和养分的能力。鉴于此,

本研究称这一层段为质地功能层段或质地控制层段。根据土壤质地特性近似原则,将本研究定义的表土层和心土层合并为功能层段,砂-砂-黏、砂-砂-砂和砂-壤-壤型剖面质地构型归并为一类,壤-壤-砂和壤-壤-壤型归并为一类,壤-黏-壤,壤-壤-黏和壤-黏-黏型归并为一类。统计 3 类之间的小麦产量最小值、最大值和平均值(表 4)。结果表明,0 ~ 60 cm 土壤质地从砂到壤再到黏性质地逐渐过渡,小麦产量最高值差别不大,而最小值和平均值均是逐步升高的,其中从砂到砂-壤质土,小麦产量上升趋势较为明显,砂质土对应的小麦产量平均值最低。但同时砂质土对应小麦产量极差值较大,表明砂质土生产力水平不稳定,通过改变其耕作措施和立地条件,砂质土在某种程度上也能创造高产。

表 3 土壤剖面质地构型隶属度与小麦产量之间的相关性分析结果  
Table 3 Correlation between wheat yield and soil profile texture pattern

壤-黏-壤	壤-壤-黏	壤-黏-黏	砂-砂-黏	砂-砂-砂	砂-壤-壤	壤-壤-砂	壤-壤-壤
0.411**	0.395**	0.396**	0.197	-0.503**	0.433**	0.171	0.279*

注: \*、\*\* 分别表示 P<0.05、P<0.01 水平下显著相关。

表 4 0 ~ 60 cm 层次土壤质地类型对应小麦产量的描述性统计结果(kg/hm<sup>2</sup>)  
Table 4 Descriptive statistics of wheat yields of soil texture in 0 - 60 cm layer

序号	类别	面积比(%)	最小值	最大值	平均值	极差
1	砂	44	3 990	8 235	6 090	4 245
2	砂-壤	44	4 695	8 190	6 735	3 495
3	壤-黏	12	5 445	8 250	6 840	2 805

2.4 土壤剖面质地构型对不同等级小麦产量的影响

对小麦产量按低产、中产和高产进行分级,统计不同等级内不同层次土壤质地类型所占面积比例(图 4)。结果表明从低产到高产,无论剖面中 0 ~ 60 cm 质地控制层段还是 30 ~ 60 cm 心土层,砂质土所占总面积比例逐渐减少,壤质土所占总面积比例逐渐增加,在 0 ~ 60 cm 质地控制层段,黏质土所占总面积比例增加趋势也较为明显。

不同等级小麦产量对应 8 种土壤剖面质地构型面积比例统计结果表明,从低产到高产,质地构型砂-砂-砂型土壤所占各个等级面积比例明显减少,壤-壤-壤型质地构型土壤所占各个等级面积比例明显增加(图 5),其他构型变化趋势不明显。在低产区,砂-砂-砂型质地构型占到低产分布面积的 73%,全剖面砂性土壤对应的主要是低产田,砂-砂-砂型质地构型是导致小麦低产的一个重要因素。

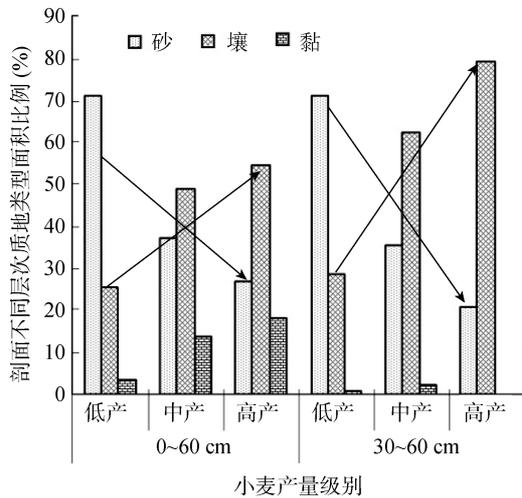


图 4 小麦产量分级对应剖面不同层次质地类型面积比例  
Fig. 4 Area ratios of soil texture of different depths corresponding to wheat yield grade

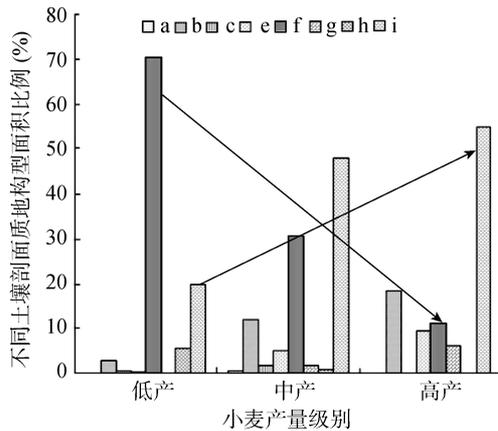


图 5 小麦产量分级对应不同土壤剖面质地构型面积比例  
Fig. 5 Area ratios of different soil profile texture patterns corresponding to wheat yield grade

8 种剖面质地构型隶属度与小麦低产等级产量、中产等级产量和所有产量具有相同的相关性规律,除砂-砂-砂型构型外,其他构型隶属度与小麦低产等级产量、中产等级产量和所有产量均呈显著正相关。而在高产等级中,隶属于壤-黏-黏,砂-砂-黏构型隶属度与高产等级产量之间的相关性规律被打破(图 6)。此外产量等级越高,类别隶属度与小麦产量相关性越不明显。说明剖面质地构型对小麦的低产和中产等级产量会产生一定的影响,但对高产等级产量影响不大。砂-砂-砂型质地构型与小麦产量之间呈显著负相关,结果也表明全剖面砂性质地是影响小麦产量的主要障碍因子之一。

### 3 结论

(1) 研究表明,在华北冲积平原区土壤剖面质地

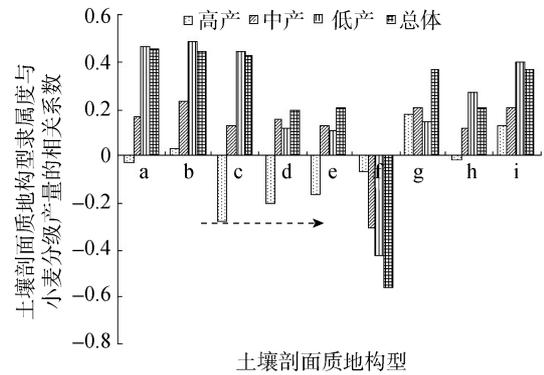


图 6 土壤剖面质地构型隶属度与小麦分级产量的相关性柱状图

Fig. 6 Bar chart of correlation between wheat yield and membership value of soil profile texture pattern

构型相比表层土壤质地对小麦产量的影响大,土壤剖面质地构型对小麦产量影响评价要优于表层质地的方法。采用土壤剖面质地构型进行耕地土壤质量评价较仅仅采用表层土壤质地更加合理。

(2) 研究区 8 种剖面质地构型土壤其小麦生产力水平差异较大,其中砂-砂-砂型剖面质地构型,其土壤生产力水平最低。土壤隶属于砂-砂-砂质地构型程度与小麦产量之间呈显著负相关,砂-砂-砂型质地构型土壤对应的主要是小麦低产区。壤-黏-壤,壤-黏-黏型质地构型土壤是肥力条件较好的土壤,传统上称这种土壤为“蒙金地”,小麦产量较高且稳定,是建设高产田的基础。

(3) 土壤剖面质地功能层段(0~60 cm)土壤质地对小麦产量有一定的影响,从砂到砂-壤质土,小麦平均产量上升较为明显,砂质土对应的小麦产量平均值最低。同时砂质土对应小麦产量极差值较大,表明砂质土生产力水平不稳定,通过改变其耕作措施和立地条件,砂质土在某种程度上也能创造高产。

(4) 对小麦产量进行分级,发现剖面质地构型对中等以下小麦产量( $< 7\ 050\ \text{kg}/\text{hm}^2$ )会产生一定的影响,但对小麦高产影响不大。全剖面砂性质地是影响小麦产量的主要障碍因子之一,原因是全剖面砂质土壤不利于保水保肥。

### 参考文献:

[1] 杜国华, 周明枞, 王浩清, 范本兰. 试论潮土基层分类[J]. 土壤学报, 1981, 18(1): 80-86  
 [2] 熊毅, 席承藩. 华北平原土壤[M]. 北京: 科学出版社出版, 1961: 293  
 [3] Quiroga A, Funaro D, Noellemeyer E, Peinemann N. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 90(1): 63-68

- [4] Pieri C. Long term soil management experiments in semiarid francophone Africa[A]// Lal R, Stewart BA. Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality Workshop on Long Term Soil Management Experiments[C]. USA: CRC Press, 1995: 225–266
- [5] Ahmadi SH, Andersen MN, Plauborg F, Poulsen RT, Jensen CR, Sepaskhah AR, Hansen S. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(11): 1 923–1 930
- [6] Jalota SK, Singh S, Chahal GBS, Ray SS, Panigrahy S, Singh KB. Soil texture, climate and management effects on plant growth, grain yield and water use by rainfed maize-wheat cropping system: Field and simulation study[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(1): 83–90
- [7] 赵风岩. 土层排列组合与作物产量差异[J]. *土壤通报*, 1997, 28(3): 105–106
- [8] 翟玉柱, 李雅静, 刘全凤, 王振明. 土体构型与土壤肥力关系的研究[J]. *土壤通报*, 2005, 36(6): 975–977
- [9] Gee GW, Bauder JW. Particle-size analysis[A]// Klute A. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods[M]*. SSSA Series Book No.5, 1986: 383–411
- [10] 檀满枝, 密术晓, 李开丽, 陈杰. 模糊集理论在土壤剖面质地构型中的应用——以河南省封丘冲积平原区土壤为例[J]. *土壤学报*, 2011, 48(2): 221–229

## Impact of Soil Profile Texture Pattern (SPTP) on Wheat Yield in North China Plain

TAN Man-zhi<sup>1</sup>, LI Kai-li<sup>2</sup>, SHI Xue-zheng<sup>1</sup>, ZHAO Bing-zi<sup>1</sup>, CHEN Jie<sup>3\*</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 2 *Jiangsu Second Normal University, Nanjing 210013, China*; 3 *School of Water Conservation and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China*)

**Abstract:** As an alluvial plain, the layers of soil profile are significantly complex in North China Plain, crop yields may be affected by soil profile texture pattern (SPTP), however, little information is available now on this issue. Based on the data of 152 soil profiles and wheat yield of 121 farm plots in 2008 and 2009, fuzzy c means (FCM) method and geostatistical model were used to study the quantitative relationship between wheat yield and SPTP. The results showed that there were mainly eight SPTPs in study area, which corresponded to the differences in wheat productivity. Among the eight SPTP patterns, wheat yield of the sand-sand-sand was the lowest, because sand soil showed poorly in retaining water and nutrients and its low nutrient contents, loam-clay-loam and loam-clay-clay were better patterns for high and stable yield. With highest level of wheat yields, sand-loam-loam, loam-loam-loam and loam-loam-clay were the best soils for fertility conditions. The influence of SPTP will be expressed when wheat yield below 7 050 kg/hm<sup>2</sup>.

**Key words:** North China Plain, Aquic cambosols, Characteristic texture layers, Soil profile texture pattern (SPTP), Wheat yield