

卫新东,王 宁,王筛妮,等.省域尺度耕地质量监测样点布控——以陕西省为例[J].地球科学与环境学报,2021,43(3):549-558.  
WEI Xin-dong,WANG Ning,WANG Shai-ni,et al. Establishment of Sampling Points for Quality Monitoring of Arable Land at Provincial Scale—A Case Study of Shaanxi Province[J]. Journal of Earth Sciences and Environment,2021,43(3):549-558.

DOI:10.19814/j.jese.2021.01030• 庆祝长安大学建校七十周年专辑 •

# 省域尺度耕地质量监测样点布控

## ——以陕西省为例

卫新东<sup>1,2,3</sup>,王 宁<sup>1</sup>,王筛妮<sup>1,2,3\*</sup>,宋林韩<sup>1</sup>,吴 桐<sup>1</sup>

(1. 长安大学 土地工程学院,陕西 西安 710054; 2. 陕西省土地整治重点实验室,陕西 西安 710054;  
3. 自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室,陕西 西安 710054)

**摘 要:**耕地质量监测是新时期耕地保护的重要内容,是动态、实时掌握耕地质量变化趋势的重要举措。为保障国家粮食安全,精准化监测耕地生产力和改善耕地生态环境,以陕西省为研究对象,从省级、耕地监测区层面系统分析耕地质量监测样点布控。基于陕西省 2005~2019 年耕地质量等别评价成果,对耕地利用水平分区和经济水平分区进行空间叠加分析,采用分区组合法划分监测控制区,采用空间分层抽样法布控耕地质量监测样点,对比分析不同属性值情况下监测样点的耕地面积比例与数量比例分布趋势。结果表明:陕西省划分 7 个监测类型区、82 个监测控制区,布设 757 个监测样点,样点代表性与所选取的因素类型分布趋势保持一致,样点分布合理,能够满足耕地质量监测的需要。本研究构建了陕西省耕地质量监测样点体系,以期为全国其他省域耕地质量监测体系构建提供参考,为实现国家粮食安全、耕地数量质量并重管理、耕地产能提升等提供技术支撑,助力乡村振兴、生态保护和高质量发展。

**关键词:**土地利用;耕地质量;空间叠加分析;监测样点;监测控制区;耕地保护;粮食安全;陕西  
**中图分类号:**S158;F323.211 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-6561(2021)03-0549-10

# Establishment of Sampling Points for Quality Monitoring of Arable Land at Provincial Scale

## —A Case Study of Shaanxi Province

WEI Xin-dong<sup>1,2,3</sup>, WANG Ning<sup>1</sup>, WANG Shai-ni<sup>1,2,3\*</sup>, SONG Lin-han<sup>1</sup>, WU Tong<sup>1</sup>

(1. School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Land Consolidation, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Key Laboratory of Degradation and Unused Land Rehabilitation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** The monitoring of arable land quality is an important content of arable land protection in the new era, and is an important measure to grasp the trend of arable land quality in a dynamic and real-time manner. In order to effectively ensure national food security, accurately monitor arable land productivity and improve the ecological environment of arable land, Shaanxi province was taken as the research object to systematically analyze the distribution and control of arable

收稿日期:2021-01-27;修回日期:2021-03-03 投稿网址:<http://jese.chd.edu.cn/>  
基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFD1100901);陕西省土地整治重点实验室开放基金项目(2018-JC05);  
自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室开放基金项目(SXDJ2018-13)  
作者简介:卫新东(1978-),男,陕西咸阳人,长安大学副教授,工学博士,E-mail:xindongw@chd.edu.cn.  
\* 通讯作者:王筛妮(1978-),女,陕西咸阳人,长安大学讲师,E-mail:shainiw@chd.edu.cn.

land quality monitoring sample points from the provincial and arable land monitoring area levels. Based on the results of arable land quality equivalence evaluation in Shaanxi province from 2005 to 2019, the spatial superposition analysis was performed on the arable land utilization level division and economic level division, the monitoring control area was divided by the partition combination method, the arable land quality monitoring sample points were distributed and controlled by the spatial stratified sampling method, and the distribution trends of arable area proportion and quantity proportion of the monitoring sample points under different attribute values were compared and analyzed. The results show that 7 monitoring areas, 82 monitoring control areas and 757 monitoring sample points are divided in Shaanxi province. The representativeness of the sample points is consistent with the distribution trend of the selected factor types, and the sample points are reasonably distributed, which can meet the needs of arable land quality monitoring. The arable land quality monitoring sample point system of Shaanxi province is constructed in order to provide a reference for the construction of arable land quality monitoring system in other provinces, to provide technical support for realizing national food security, equal management of arable land quantity and quality, and improvement of arable land production capacity, and to help rural revitalization, ecological protection, and high-quality development.

**Key words:** land use; arable land quality; spatial superposition analysis; monitoring sample point; monitoring control area; arable land protection; food security; Shaanxi

## 0 引言

中国政府历来高度重视粮食安全问题,而耕地数量和质量的直接变化影响国家粮食产量<sup>[1-2]</sup>。基于年度土地资源变更调查和耕地质量年度更新评价,政府构建起了现势性较强的耕地数量、质量并重管理体系;通过严格的耕地占补平衡制度和高标准基本农田建设,实现了耕地数量动态基本稳定平衡、质量稳中有升。开展耕地质量动态变化监测,科学合理布设监测样点,实现“以点代面”布设效果,反映评价监测区域的耕地质量,掌握耕地质量等别变化趋势,对提高耕地综合生产力、改善耕地生态环境和实现持续粮食安全具有重要意义<sup>[3-4]</sup>。

国内外专家学者在耕地质量监测体系建立<sup>[5-6]</sup>、耕地质量监测指标选取方面<sup>[7-8]</sup>进行了研究。耕地质量监测样点布设方法<sup>[9-10]</sup>除传统的简单随机抽样方法<sup>[11]</sup>、规则格网布样方法<sup>[12]</sup>以外,主要基于标准样地<sup>[13-14]</sup>、因素组合法<sup>[15-16]</sup>、空间叠加(分区组合)法<sup>[17-18]</sup>、变异函数法<sup>[19-21]</sup>、克里金插值法<sup>[12,22]</sup>、空间模拟退火算法<sup>[23]</sup>、空间平衡法<sup>[24]</sup>等。上述耕地质量监测样点布设方法在样点布设的空间均衡性、抽样方法的灵活性和减少抽样成本方面均表现出较好的优越性。然而,目前有关耕地质量监测样点布设方法的研究尺度多集中在国家<sup>[25]</sup>或县域<sup>[26]</sup>,对于在省域尺度上探讨耕地质量监测样点的布控研究相对不

足<sup>[27]</sup>,基于省域层面合理布设耕地质量监测样点成为当前研究的热点和难点问题之一。基于此,本文以陕西省 2005~2019 年耕地质量评价及年度更新评价成果,结合 2020 年开展的陕西省第三次全国国土调查耕地资源质量分类,全面分析陕西省耕地质量状况和区域自然环境条件,探索省域层面耕地质量等别监测区划分及监测样点布设方法,为陕西省及其他省域耕地质量等别监测样点布设提供技术支撑,提升耕地管护治理决策能力和水平。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

陕西省地处中国内陆腹地,地域南北跨度大,秦岭以北为黄河流域,秦岭及以南地区属长江水系。陕西省从北到南可划分为陕北黄土高原、关中渭河谷地和陕南秦巴山地三大地貌区;从北到南跨温带、暖温带和北亚热带 3 个气候带;主要耕作土壤有黄绵土、黄棕壤、粗骨土、棕壤、潮湿土、褐土、塿土;主要耕作类型有一年两熟、两年三熟和一年一熟。地貌条件、气候资源、土壤类型和耕作制度丰富多样,耕地质量分布在 5~14 等别,跨度较大,对于研究省域尺度耕地质量监测样点布设具有较强的代表性和典型性。

陕西省现辖 10 个地级市、107 个县(县级市、市辖区)。据 2019 年土地利用现状变更调查,陕西省

土地总面积约为  $2\,056.24\times 10^4\text{ hm}^2$ ,耕地面积为  $397.68\times 10^4\text{ hm}^2$ ,其中,水田为  $16.41\times 10^4\text{ hm}^2$ ,水浇地为  $106.74\times 10^4\text{ hm}^2$ 。耕地质量等别评价时将全省划分为 7 个三级指标区,耕地在各指标区的面积比例分布如图 1 所示。

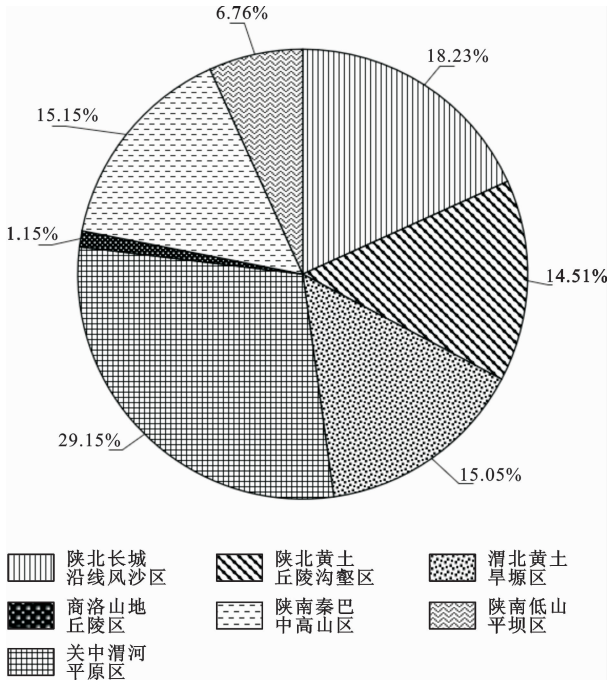


图 1 陕西省耕地面积比例分布

Fig. 1 Proportional Distribution of Arable Land Area in Shaanxi Province

1.2 数据来源

耕地面积、社会经济数据来源于《陕西省统计年鉴》(2009~2019)、《陕西省国土资源公报》(2009~2019)以及 2019 年陕西省土地利用现状变更调查数据、《陕西省国民经济和社会发展统计公报》(2019)。耕地等别成果数据来源于《陕西省耕地质量等别数据库》(2005~2019 年)。

2 监测样点布设方法

2.1 监测控制区划分方法

一般而言,划分耕地质量等别监测控制区应遵循相似性和差异性、空间连续性原则。在进行监测控制区划分时,基于省内三级指标区,综合考虑自然状况、利用水平和经济水平等影响耕地等别变化的因素,根据差异性原则和主导因素原则,划定多种监测背景分区,利用 GIS 软件进行空间叠加,最终得出监测控制区并作为监测样点布设的参考依据。由于本文是以省域为研究尺度,研究区范围相对较大,所以首先基于研究区宏观的地形地貌、气候、水文等

背景分析基础上,结合耕地质量分布及其影响的主导因素,初步划分监测类型区;然后在监测类型区内,在考虑利用水平因素和经济水平因素的基础上,对监测背景进行分区划分,依次划分为“利用水平分区”、“经济水平分区”等;最后通过对 2 种监测背景分区的空间叠加,并经过区域的合并、调整,最终形成监测控制区,实现对监测类型区的细分,并作为布控监测点的基础。

2.2 监测样点数量确定方法

2.2.1 空间分层抽样

本文监测样点选取是基于全覆盖性、均匀性、代表性、差异性、可操作性原则,监测样点的布设主要采用空间分层抽样法,基于空间属性特征的差异性,将研究区进行分层,且每层互不重复。在此基础上,将研究区样本总量进行计算,再根据研究对象和研究目标的特性,选择不同的分配方式,将样本依次、有序地分配到每层中,最后在每个层内按照一定的原则和方法布设样点。

运用类似分层抽样模型的样本数量计算方法确定监测样本数量,样本数量的计算公式为

$$n = \frac{(\sum W_h S_h \sqrt{C_h}) \sum (W_h S_h / \sqrt{C_h})}{P + (1/N) \sum W_h S_h^2} \tag{1}$$

$$W_h = \frac{N_h}{N} \tag{2}$$

式中: $n$  为样本数量; $h$  表示第  $h$  层; $N$  为样本总量; $N_h$  为第  $h$  层中样本总量; $W_h$  为第  $h$  层权重; $S_h$  为第  $h$  层的真实标准差; $C_h$  为第  $h$  层的单样本费用; $P$  为抽样精度。

2.2.2 空间自相关分析

空间自相关是一种地理特征,存在于空间数据中<sup>[28]</sup>。Tobler 指出空间自相关性是在一定的空间范围内,距离越近的事物,彼此之间的相互联系越强<sup>[29]</sup>。空间自相关性是空间分层抽样的基础和前提,本文采用 Moran's I 系数进行空间自相关分析<sup>[30-31]</sup>。

Moran's I 系数的计算公式为

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sigma^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \tag{3}$$

式中: $I$  为 Moran 空间自相关系数; $x_i$  和  $x_j$  是变量  $x$  在相邻空间单元的取值; $\bar{x}$  是变量的平均值; $W_{ij}$  是相邻权重; $\sigma$  为均方差。

$W_{ij}=1$  表示空间单元  $i$  与  $j$  相邻; $W_{ij}=0$  表示空间单元  $i$  与  $j$  不相邻。 $I$  取值范围为  $-1\sim 1$ ,其中

-1 表示极强的空间负自相关关系,1 表示极强的空间正自相关关系。如果不存在空间自相关关系,则随机情况下的 Moran's I 系数为

$$E_I = \frac{-1}{n-1}$$

(4)

式中: $E_I$  为空间自相关的量化指标。

对  $E_I$  进行显著性检验,显著性指标  $Z$  的计算公式为

$$Z = \frac{I - E_I}{\sqrt{\text{VAR}(I)}}$$

(5)

式中: $\text{VAR}(I)$  为  $I$  的方差。

### 3 结果分析

#### 3.1 监测控制区划分结果

##### 3.1.1 划分监测类型区

陕西省南北狭长,自然条件差异较大。陕西省耕地质量分等划分为 7 个三级指标区,即陕北长城沿线风沙区、陕北黄土丘陵沟壑区、渭北黄土旱塬区、关中渭河平原区、商洛山地丘陵区、陕南低山平坝区和陕南秦巴中高山区。7 个三级指标区各有一套分等指标体系,即在指标区内影响耕地质量的因素类型基本一致,且指标区的划分也充分考虑了全省的地形、地貌、气候、水文、土壤、植被等因素,符合分区惯例。因此,本文沿用耕地质量分等成果,以三级指标区为基础,划分监测类型区(图 2)。

##### 3.1.2 划分“利用水平分区”和“经济水平分区”监测背景分区

(1)利用水平分区。影响耕地利用水平的因素主要有种植业结构、主要作物产量水平、农田基础设施和土地整治工程等。在耕地质量分等中,耕地利用水平由种植作物的产量直接反映,土地利用系数是耕地分等单元作物实际产量与耕作制度区域内最大粮食产量的比值,是耕地利用水平的直接量化指标。因此,根据土地利用系数划分土地利用系数等值区,形成利用水平分区。基于 2019 年陕西省耕地质量分等数据库,根据耕地图斑的土地利用系数,以监测类型区为单元,对每个单元进行频率统计分析,利用 SPSS 软件绘制土地利用系数频率直方图;对直方图中显示的突变点进行定性综合分析,确定基于土地利用系数的等值区间界线值。各监测类型区的土地利用系数等值区如表 1 所示。

(2)经济水平分区。耕地收益水平会受到种植业的影响,例如投入、产出、效益等,土地经济系数是产出(产量)与投入(成本)两者之间比率的相对值,

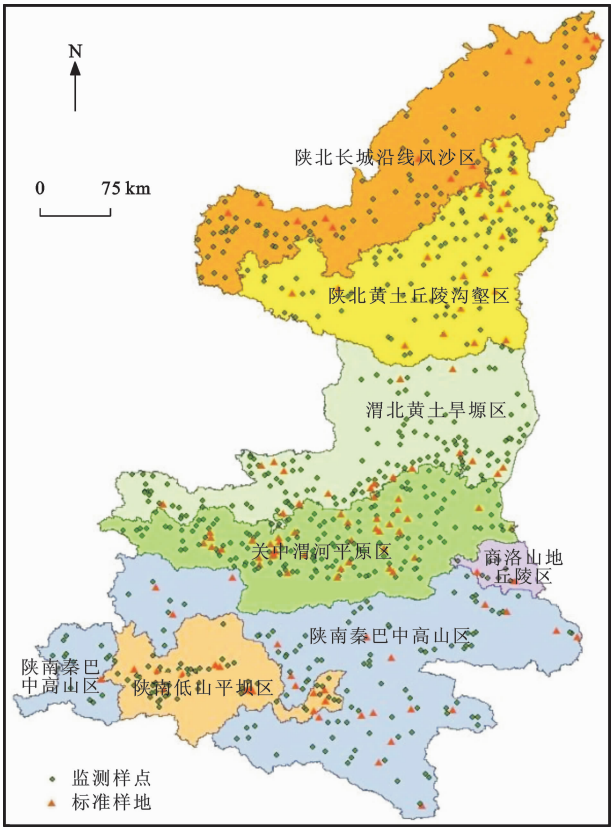


图 2 陕西省耕地质量监测类型区及监测样点分布  
Fig. 2 Distribution of Types and Sample Points of Arable Land Quality Monitoring in Shaanxi Province

是反映农用地生产效益的直接量化指标。因此,可以根据土地经济系数将耕地划分为不同的经济等值区。土地经济等值区间的划分方法与土地利用系数等值区相同,各监测类型区的土地经济系数等值区如表 1 所示。

##### 3.1.3 最终形成监测控制区

在以上监测背景分区划定的基础上,利用 ArcGIS 空间叠加分析功能(Arc Toolbox 中 Unio 工具),将利用水平分区和经济水平分区等背景区叠加,获得耕地质量监测控制区的初步划分结果,但理论划分的结果会出现较多的破碎区域,或属于同一单元的没有集中连片,与该地区的发展规划定位不完全吻合。因此,要对首次划分的区域进行调整和修正。

对首次划定的监测控制区边界,根据实际的行政界线(如乡界、村界)进行适当调整,使其与实际情况相符合,确定耕地质量监测控制区。各监测类型区中监测控制区的最终划分结果为:陕北长城沿线风沙区划分 9 个监测控制区;陕北黄土丘陵沟壑区划分为 15 个;渭北黄土旱塬区划分为 15 个;关中渭河平原区划分为 20 个;商洛山地丘陵区划分为 1

表 1 土地利用系数等值区和土地经济系数等值区分

Tab. 1 Partition of Equivalent Area of Land Utilization Coefficient and Land Economic Coefficient

监测类型区	土地利用系数等值区			土地经济系数等值区		
	低	中	高	低	中	高
陕北长城沿线风沙区	(0.35~0.57]	(0.57~0.73)		(0.42~0.60]	(0.60~0.70]	(0.70~0.98)
陕北黄土丘陵沟壑区	(0.29~0.56]	(0.56~0.70]	(0.70~0.86)	(0.35~0.57]	(0.57~0.72]	(0.72~1.02)
渭北黄土旱塬区	(0.35~0.59]	(0.59~0.71]	(0.71~0.98)	(0.36~0.58]	(0.58~0.76]	(0.76~0.98)
关中渭河平原区	(0.37~0.61]	(0.60~0.70]	(0.70~0.89)	(0.36~0.55]	(0.55~0.72]	(0.72~0.98)
商洛山地丘陵区		(0.65~0.79]				(0.73~0.93)
陕南秦巴中高山区	(0.37~0.60]	(0.60~0.74]	(0.74~1.00)	(0.37~0.64]	(0.64~0.76]	(0.76~0.97)
陕南低山平坝区	(0.39~0.61]	(0.61~0.74]	(0.74~0.92)	(0.37~0.60]	(0.60~0.74]	(0.74~0.93)

个;陕南秦巴中高山区划分为15个;陕南低山平坝区划分为 7 个。7 个监测类型区总共划分了 82 个监测控制区。

3.2 监测样点数量确定及布设

3.2.1 监测样点数量的确定

以监测类型区为分层标准,以国家自然等指数作为属性变量。将 2019 年陕西省耕地质量分等成果数据带入式(1),可得

$$n=\frac{187\ 696.90}{P}-15.88 \tag{6}$$

由式(6)可以得出,抽样精度和样本数量成反比关系。换言之,随着样本数量的增加,抽样精度逐步提高。如果样本数量足够大,则总体均值估计的标准差趋近于 0。

对式(6)求导可得

$$P'=\frac{-187\ 696.90}{n^2} \tag{7}$$

式中: $P'$ 为样本数量导数。

样本数量导数表征样点数量随抽样精度的变化率。设定误差变化率阈值为  $P_0$ ,则当样本数量导数的绝对值小于等于  $P_0$  时,确定合适的最少样本数量<sup>[32]</sup>。根据式(4),当样本数量发生 2 个单位的变化,变化率小于 0.5 时,抽样精度随之产生的变化小于 1 个单位,则再增加样本数量对抽样精度的提高已不显著。将变化率阈值设为 0.5,得到  $n\geq 612.69$ ,即当  $n=613$  时,抽样精度变化率基本趋于水平。因此,本文将变化率阈值设为0.5,在陕西省内最少布设 613 个监测样点。

按照空间分层抽样法,对布设的 613 个监测样点进行空间自相关系数计算,得到 Moran's I 系数为 0.18,Z 值为 9.80(远大于 2.58),监测样点具有显著的自相关性。

3.2.2 监测类型区样本数量分配

基于权重法的空间分层抽样法,样本数量的确

定主要依据每一层的个体数量或面积。由于每一层个体在空间上的变异程度不同,如果变异程度小,则意味着个体间相似度大,可用较少的样本来代表;反之,变异程度大说明个体差异显著,需要更多的样本才能表达总体。因此,可以采用各分层耕地图斑的空间变异系数进行修正,具体表达式为

$$n_h=n\frac{W_hV_h}{\sum W_hV_h} \tag{8}$$

$$V_h=\frac{S_h}{\bar{Y}_h} \tag{9}$$

式中: $\bar{Y}_h$  为第  $h$  层的均值; $V_h$  为第  $h$  层的变异系数; $n_h$  为第  $h$  层的样本数量; $W_h$  为第  $h$  层的权重; $S_h$  为第  $h$  层的真实标准差。

按照空间分层抽样法计算所得各个监测类型区的样本数量见表 2。

表 2 各监测类型区样本数量分配

Tab. 2 Samples Allocated of Each Monitoring Type Region

监测类型区	面积 比例法	图斑个数 比例法	变异 系数法	平均值
陕北长城沿线风沙区	112	40	55	69
陕北黄土丘陵沟壑区	89	59	65	71
渭北黄土旱塬区	92	88	113	98
关中渭河平原区	178	211	185	191
商洛山地丘陵区	7	11	10	9
陕南秦巴中高山区	93	165	159	139
陕南低山平坝区	42	39	26	36

注:以上方法计算的各监测类型区样本数量只做参考,不作为布点最终结果。

3.2.3 监测点布设结果

根据监测样点布设原则和要求,将所选取的分等单元图斑作为监测点,确定监测点的数量、空间位置及其来源等属性。经统计可得,在陕西省共布设了 757 个监测点,占陕西省全部耕地图斑(12 833 个)的 5.90%,其中包含标准样地 128 个(占监测点



总量的 16.9%)。通过类似分层抽样模型计算的监测样本数量至少为 613 个,实际布置的 757 个比理论计算的多了 144 个,能够满足耕地质量监测的精度要求。经统计可得,监测样点在各监测类型区、各地类以及各自然等别中的数量分布如表 3 和表 4 所示。考虑监测控制区、耕地等别类型、地类、标准样地、面积比例等因素,各监测类型区的空间分布如图 2。

表 3 各监测类型区监测点分布

Tab. 3 Monitoring Points Distribution of Each Monitoring Type Region					
监测类型区	耕地面积比例/%	理论计算样点		实际布设监测点	
		个数	比例/%	个数	比例/%
陕北长城沿线风沙区	18.23	69	11.26	98	12.95
陕北黄土丘陵沟壑区	14.51	71	11.58	122	16.12
渭北黄土旱塬区	15.05	98	15.99	147	19.42
关中渭河平原区	29.15	191	31.15	185	24.44
商洛山地丘陵区	1.15	9	1.47	11	1.45
陕南秦巴中高山区	15.15	139	22.68	128	16.91
陕南低山平坝区	6.76	36	5.87	66	8.72

表 4 各自然等别监测点分布

Tab. 4 Monitoring Points Distribution of Each Natural Grading			
自然等别	耕地面积比例/%	监测点个数	监测点个数比例/%
第 5 等	0.06	2	0.26
第 6 等	0.66	5	0.66
第 7 等	7.35	29	3.83
第 8 等	11.05	62	8.19
第 9 等	4.97	54	7.13
第 10 等	6.78	74	9.78
第 11 等	8.13	94	12.42
第 12 等	15.52	156	20.61
第 13 等	17.33	142	18.76
第 14 等	28.16	139	18.36

3.3 监测样点代表性检验

3.3.1 总体与样本的对比分析

采用 SPSS 软件检验统计指标对监测样点的代表程度。数据的离散程度表达各变量远离其中心值的程度,反映数据离散程度采用的度量主要有标准

差、方差、峰度和偏度等。本研究以国家自然质量等为基础,分析监测样本与耕地总体的集中和离散趋势是否一致,反映监测样点的代表性程度。

借助 SPSS 分析,对省域内监测样点的耕地自然等别和全部耕地分等单元做统计检验,结果见表 5。

表 5 陕西省耕地质量监测样点代表性检验  
Tab. 5 Representative Test of Arable Land Quality Monitoring Samples in Shaanxi Province

统计量	耕地分等单元	监测样点
有效数量	12 833	757
缺失数量	0	0
均值	11.05	11.44
均值的标准误差	0.018	0.076
中值	12	12
众数	12	12
标准差	2.090	2.100
方差	4.366	4.411
偏度	-0.493	-0.652
偏度的标准误差	0.022	0.089
峰度	-0.792	-0.483
峰度的标准误差	0.043	0.177
全距	9	9
极小值	5	5
极大值	14	14

参照表 5,对比分析陕西省耕地分等单元和监测样点自然等别的集中及离散趋势测度值,得出结果如下:两者的众数、全距、极大值、中值、极小值均相同;研究区耕地总体的均值为 11.05,均值的标准误差为 0.18,监测样本均值为 11.44,均值的标准误差为 0.076,二者均值也接近,说明耕地总体与监测样本的集中趋势一致。耕地总体的标准差、方差分别为 2.090 和 4.366,监测样本为 2.100 和 4.411,两者的标准差和方差极为接近;加之耕地总体与监测样本的偏度和峰度虽有较小偏差,但差别不明显,因此,从整体来看,监测样本与耕地总体的离散趋势也大体相同。通过分析离散和集中趋势,研究区监测样点对耕地总体具备良好的代表性,作为陕西省的耕地质量监测样点合理。

3.3.2 监测样点代表性分析

对比分析监测样点在各监测类型区、地类、熟制、自然等别、利用等及经济等的数量与耕地面积比值的变化趋势(图 3),检验监测样点的代表性。如果变化趋势相同,说明监测样点具备较高的代表性;如果变化趋势差异明显,则说明监测样点具有较低

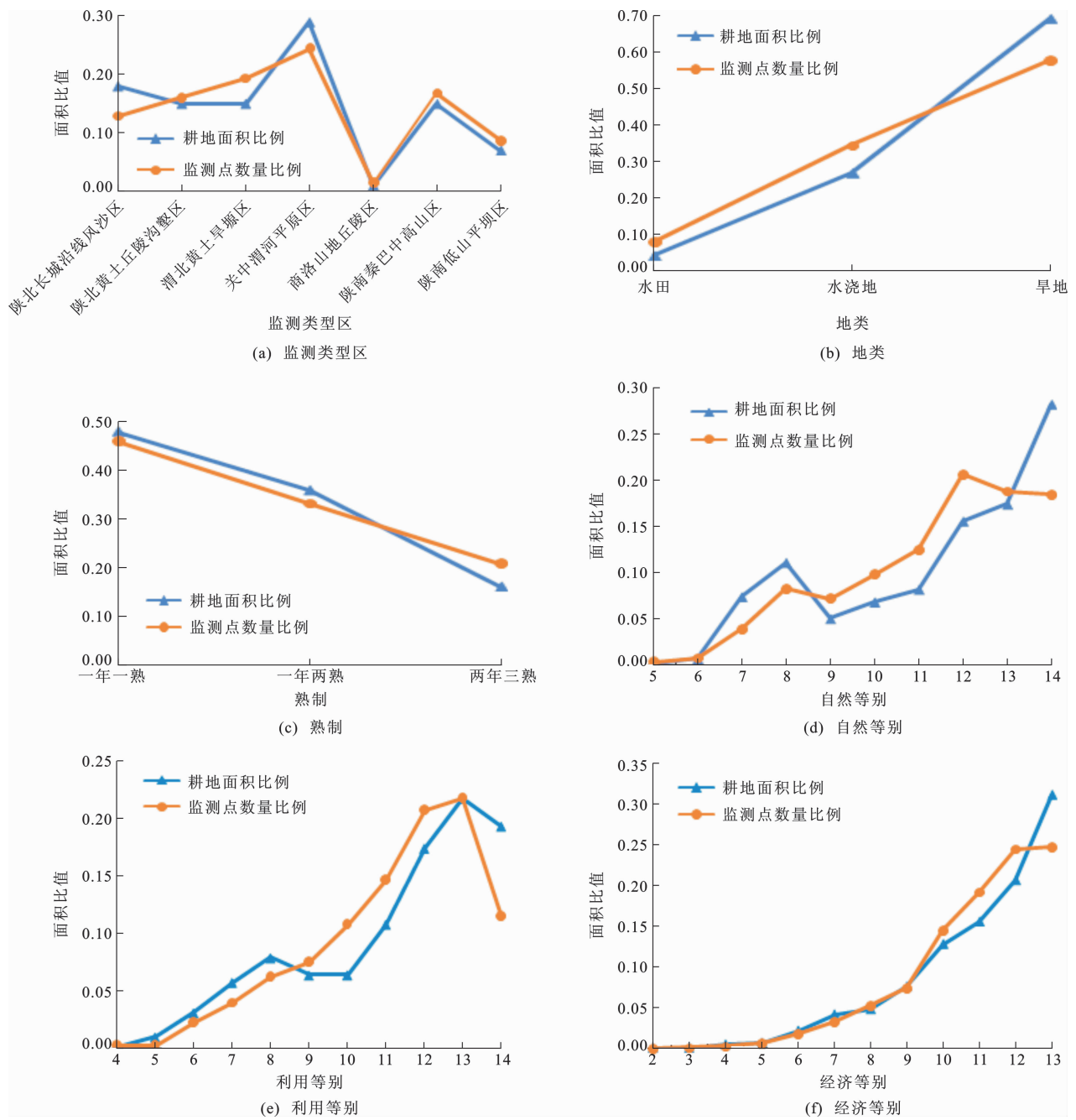


图 3 耕地面积比例与监测点数量比例分析

Fig. 3 Ratio Analyses of Area and Monitoring Points of Arable Land

的代表性,不符合监测要求,需进一步对监测样点进行  
调整使之能够代表研究区耕地总体。

由图 3 可以看出,监测样点的数量分布趋势与  
耕地总体在各类型区、各自然等别以及各地类和熟  
制上的面积分布趋势基本一致,空间分布比较均匀。  
因此,监测样点对研究区耕地总体的面积代表性程  
度较高,能够满足耕地质量监测的需要。

4 结 语

(1)监测控制区的划定。本文基于分区组合的

思想,以三级指标区为控制,共将陕西省划分为 7 个  
监测类型区,通过空间分层抽样法初步确定监测点  
数量,利用空间叠加分析进一步细分监测类型区,采  
用限制系数模型划分耕地自然等别类型,最终形成  
82 个监测控制区,实现“监测点”到“控制区”再到  
“类型区”的提升,进而得到陕西省耕地质量的总体  
变化情况。

(2)监测点数量的确定。采用空间分层抽样模  
型,建立样本数量与抽样精度的关系;通过设定误差  
变化率阈值,确定了陕西省应布设的监测样点总量

为 757 个。基于面积比例法、图斑个数比例法和变异系数法分别计算 7 个监测类型区,分配样点数量取平均值作为布设样点的参考。以此方法确定的各类型区样本数量不仅考虑了耕地面积比例,还体现了各类型区耕地质量的空间变异程度。

(3)监测点的布设。首先通过定性和定量分析方式选取各类型区的主要限制因素,利用限制系数模型将图斑划分为不同的耕地自然等别类型。分等因素的限制系数能够直观地反映出分等因素同相关分等单元自然等别升降的相互关系,既反映了制约程度,也映射了等别质量提升潜力。同时,还综合分析今后的高标准基本农田针对土壤特性的土地整治方监测点布设时,考虑监测控制区、耕地等别类型、地类、标准样地、面积比例等因素,最终布设 757 个监测点。通过检验和面积代表性检验,得知选取的监测样点布设合理,能够满足陕西省耕地质量监测的需要。

(4)考虑研究区域基础条件的差异性 & 数据获取的完整度,会不同程度地对监测样点布控产生影响,在布点时考虑的优化因素方面有所欠缺,应结合农田水利、道路、林网等综合因素,基于全域土地综合整治、山水林田湖草生态保护视角,深入研究优化样点布控的方法,构建更加完备的耕地质量监测指标体系。

谨以此文庆祝长安大学七十周年华诞! 饮水思源,感激母校,培育之恩永生难忘! 2000 年三校合并组建长安大学前夕,我来到长安大学工作、学习,并于 2005 年研究生毕业于我国西北地区最早成立的土地资源管理专业。长安大学土地资源管理专业为国家在自然资源领域培养了地质资源、土地资源、国土空间规划、生态修复等学科齐全的人才,支撑陕西省实现土地资源数量质量并重管理、生态管护相协调,参与构建国家生态文明体系,助力国家治理能力现代化。母校已成长为参天大树,我和我的学生正以中国新时代大学精神为动力,不断地创新发展,用我们的努力为母校争创“双一流”添砖加瓦,期待母校再创辉煌!

## 参考文献:

## References:

[1] 胡甜,鞠正山,周伟. 中国粮食供需的区域格局研究[J]. 地理学报, 2016, 71(8): 1372-1383.  
HU Tian, JU Zheng-shan, ZHOU Wei. Regional Pattern of Grain Supply and Demand in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(8): 1372-1383.

[2] 谭术魁,韩思雨,张路. 粮食安全视角下粮食主产区耕地休耕规模及动态仿真研究[J]. 中国土地科学, 2020, 34(2): 9-17.  
TAN Shu-kui, HAN Si-yu, ZHANG Lu. Study on Fallow Scale and Dynamical Simulation of Major Grain Producing Areas in China from the Food Security Perspective [J]. China Land Science, 2020, 34(2): 9-17.

[3] 马恩朴,蔡建明,林静,等. 2000~2014 年全球粮食安全格局的时空演化及影响因素[J]. 地理学报, 2020, 75(2): 332-347.  
MA En-pu, CAI Jian-ming, LIN Jing, et al. Spatio-temporal Evolution of Global Food Security Pattern and Its Influencing Factors in 2000—2014 [J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(2): 332-347.

[4] 卫新东,宋林韩,王筛妮,等. 黄河西岸陕西各县市耕地质量时空变化特征及其分异规律[J]. 水土保持研究, 2021, 28(2): 326-334.  
WEI Xin-dong, SONG Lin-han, WANG Shai-ni, et al. Spatiotemporal and Temporal Changes and Its Variation of Cultivated land Quality of Counties and Cities in Shaanxi on the West Bank of the Yellow River [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(2): 326-334.

[5] 马建辉,吴克宁,赵华甫,等. 基于农用地分等的耕地质量动态监测体系研究[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(5): 133-139.  
MA Jian-hui, WU Ke-ning, ZHAO Hua-fu, et al. Research on the Dynamic Cultivated Land Quality Monitoring System Based on the Agriculture Land Gradation [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2013, 34(5): 133-139.

[6] LEI S. Study on the Application of Soil Quality Monitoring Technology in New Cultivated Land [J]. Scientific Journal of Economics and Management Research, 2020, 2(8): 355-358.

[7] 杨厚翔,雷国平,徐秋. 基于监测指标复合式控制区的耕地质量监测点布设方法[J]. 农业工程学报, 2017, 33(19): 278-286.  
YANG Hou-xiang, LEI Guo-ping, XU Qiu. Farmland Quality Monitoring Point Layout Method Based on Compound Control Zone of Monitoring Index [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(19): 278-286.

[8] 王佳宁,孔祥斌,张青璞,等. 基于农用地分等的县级耕地质量等级监测指标选取方法: 以内蒙古达拉特旗为例[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(3): 175-187.  
WANG Jia-ning, KONG Xiang-bin, ZHANG Qing-



- pu, et al. Factors Selection Method for Monitoring the Cultivated Land Level Based on Farmland Grading: In Dalate Country[J]. Journal of China Agricultural University, 2015, 20(3): 175-187.
- [9] 刘毅,高尚,刘希霖,等.西部地区耕地质量监测县选取方法的研究[J].资源科学,2013,35(11): 2248-2254.
- LIU Yi, GAO Shang, LIU Xi-lin, et al. A Design Monitoring Network of Western Farmland Quality[J]. Resources Science, 2013, 35(11): 2248-2254.
- [10] 谢英凯,杨颢,胡月明,等.县域耕地质量等别监测分区布点研究[J].农业资源与环境学报,2020,37(6): 845-855.
- XIE Ying-kai, YANG Hao, HU Yue-ming, et al. Study on Sampling Design for Monitoring Cultivated Land Quality at a County Scale[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2020, 37(6): 845-855.
- [11] 李奕志,李立强,孔祥斌,等.美国国家资源清单及其对中国耕地质量动态监测的启示[J].中国土地科学,2014,28(7): 82-89.
- LI Yi-zhi, LI Li-qiang, KONG Xiang-bin, et al. The National Resources Inventory in the US and Its Implication to China's Dynamic Monitoring on Cultivated Land Quality[J]. China Land Science, 2014, 28(7): 82-89.
- [12] 杨建宇,汤赛,郎文聚,等.基于Kriging估计误差的县域耕地等级监测布样方法[J].农业工程学报,2013,29(9): 223-230, 297.
- YANG Jian-yu, TANG Sai, YUN Wen-ju, et al. Sampling Method for Monitoring Classification of Cultivated Land in County Area Based on Kriging Estimation Error[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(9): 223-230, 297.
- [13] 吴克宁,焦雪瑾,梁思源,等.基于标准样地国家级汇总的耕地质量动态监测点构架研究[J].农业工程学报,2008,24(10): 74-79.
- WU Ke-ning, JIAO Xue-jin, LIANG Si-yuan, et al. Framework of the Arable-land Quality Dynamic Monitoring Sites Through National Gathering of Standard Farmland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(10): 74-79.
- [14] 郭力娜,张凤荣,马仁会,等.基于标准样地的国家级农用地等别质量监测点设置方法探讨:以冀豫鄂三省为例[J].资源科学,2009,31(11): 1957-1966.
- GUO Li-na, ZHANG Feng-rong, MA Ren-hui, et al. Methods for Setting up Farmland Grade Monitoring Points from Standard Plots in Hebei, Henan and Hu-bei Provinces[J]. Resources Science, 2009, 31(11): 1957-1966.
- [15] 孙亚彬,吴克宁,胡晓涛,等.基于潜力指数组合的耕地质量等级监测布点方法[J].农业工程学报,2013,29(4): 245-254.
- SUN Ya-bin, WU Ke-ning, HU Xiao-tao, et al. Layout Method for Monitoring Quality Level of Arable Land Based on Combination of Potential Index[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(4): 245-254.
- [16] 余述琼,张蚌蚌,相慧,等.基于因素组合的耕地质量等级监测样点布控方法[J].农业工程学报,2014,30(24): 288-297.
- YU Shu-qiong, ZHANG Bang-bang, XIANG Hui, et al. Layout Method for Monitoring Sample Point of Arable Land Quality Level Based on Combination of Factors[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(24): 288-297.
- [17] 陈镜宇,龚涛,陈运春,等.云南乌蒙山片区耕地自然质量等空间分布特征[J].水土保持研究,2017,24(3): 214-220.
- CHEN Jing-yu, GONG Tao, CHEN Yun-chun, et al. Spatial Distribution Characteristics of Arable Land Natural Quality Grade in Wumeng Mountainous Region of Yunnan Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(3): 214-220.
- [18] 相慧,孔祥斌,陈培雄,等.县域耕地质量等别监测样点布控研究:以内蒙古自治区达拉特旗为例[J].资源科学,2014,36(6): 1203-1210.
- XIANG Hui, KONG Xiang-bin, CHEN Pei-xiong, et al. Establishing Monitoring Samples of Arable Land at the County Level: A Case Study of Dalate District in Inner Mongolia[J]. Resources Science, 2014, 36(6): 1203-1210.
- [19] 韩振坤.基于地统计学的县域耕地质量监测样点布局研究:以公安县为例[D].武汉:华中师范大学,2014.
- HAN Zhen-kun. Layout Study of County Cultivated Lands' Quality Monitor Samples Based on Geostatistics: Case of Gong'an County[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2014.
- [20] 祝锦霞,徐保根,章琳云.基于半方差函数与等别的耕地质量监测样点优化布设方法[J].农业工程学报,2015,31(19): 254-261.
- ZHU Jin-xia, XU Bao-gen, ZHANG Lin-yun. Optimization Layout Method of Monitoring Sample Points of Cultivated Land Quality Based on Semi-variance Analysis and Grade Combination[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,

- 2015,31(19):254-261.
- [21] 王 倩,尚月敏,冯 锐,等.基于变异函数的耕地质量等级监测点布设分析:以四川省中江县和北京市大兴区为例[J].中国土地科学,2012,26(8):80-86.  
WANG Qian, SHANG Yue-min, FENG Rui, et al. Study on Location Sampling for Monitoring the Quality of Arable Land Based on Variation Functions: Case Studies in Zhongjiang County and Daxing District[J]. China Land Science, 2012, 26(8): 80-86.
- [22] 林 晨,周生路,吴绍华.基于 MODIS 影像的农用地自然质量动态快速监测研究[J].地域研究与开发, 2011,30(1):116-121.  
LIN Chen, ZHOU Sheng-lu, WU Shao-hua. A Survey on the Research of Logistics for Urban Agglomerations in China[J]. Areal Research and Development, 2011, 30(1): 116-121.
- [23] 汤 赛.县域耕地质量等级监测样点布设及优化方法研究[D].北京:中国农业大学,2014.  
TANG Sai. Study of Sampling and Optimizing Methods for Monitoring the Quality of Cultivated Land in County Area[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.
- [24] 杨建宇,岳彦利,宋海荣,等.基于空间平衡法的县域耕地质量监测布样方法[J].农业工程学报,2015,31(24):274-280.  
YANG Jian-yu, YUE Yan-li, SONG Hai-rong, et al. Sampling Distribution Method for Monitoring Quality of Arable Land in County Area Based on Spatial Balanced[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(24): 274-280.
- [25] 张蚌蚌,孔祥斌,郦文聚,等.我国耕地质量与监控研究综述[J].中国农业大学学报,2015,20(2):216-222.  
ZHANG Bang-bang, KONG Xiang-bin, YUN Wen-ju, et al. A Review on Quality and Monitoring of Arable Land in China[J]. Journal of China Agricultural University, 2015, 20(2): 216-222.
- [26] 胡晓涛,吴克宁,马建辉,等.北京市大兴区耕地质量等级监测控制点布设[J].资源科学,2012,34(10):1891-1897.  
HU Xiao-tao, WU Ke-ning, MA Jian-hui, et al. Control Points for Quality of Arable Land Quality Monitoring in Daxing District, Beijing[J]. Resources Science, 2012, 34(10): 1891-1897.
- [27] 张玉臻,孔祥斌,刘 炎,等.基于标准样地的省级耕地质量监测样地布设方法:以内蒙古自治区为例[J].资源科学,2016,38(11):2037-2048.  
ZHANG Yu-zhen, KONG Xiang-bin, LIU Yan, et al. Layout Method of Monitoring Samples of Cultivated Land at the Provincial Level Based on Standard Plots in Inner Mongolia[J]. Resources Science, 2016, 38(11): 2037-2048.
- [28] 张小伟,余光辉,温小荣,等.空间分层抽样在森林覆盖面积监测中的应用[J].南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(3):81-84.  
ZHANG Xiao-wei, SHE Guang-hui, WEN Xiao-rong, et al. The Application of Spatial Stratified Sampling in Remote Sensing Monitoring of Forest Cover[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2012, 36(3): 81-84.
- [29] TOBLER W. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region[J]. Economic Geography, 1970, 46: 234-240.
- [30] 熊昌盛,韦仕川,栾乔林,等.基于 Moran's I 分析方法的耕地质量空间差异研究:以广东省广宁县为例[J].资源科学,2014,36(10):2066-2074.  
XIONG Chang-sheng, WEI Shi-chuan, LUAN Qiao-lin, et al. Spatial Difference of Cultivated Land Quality Based on Moran's I Analysis Method: A Case Study of Guangning County, Guangdong Province [J]. Resources Science, 2014, 36(10): 2066-2074.
- [31] 朱 磊,杨爱民,夏鑫鑫,等.基于空间自相关的 1975~2015 年玛纳斯河流域耕地时空特征变化分析[J].中国生态农业学报,2020,28(6):887-899.  
ZHU Lei, YANG Ai-min, XIA Xin-xin, et al. Spatial Distribution Pattern and Change Characteristics Analysis of Cultivated Land in the Manas River Basin from 1975 to 2015[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2020, 28(6): 887-899.
- [32] 张 转,卫新东,王筛妮,等.渭北旱塬区耕地质量等级监测样点布控研究[J].湖北农业科学,2018,57(2):48-54,118.  
ZHANG Zhuan, WEI Xin-dong, WANG Shai-ni, et al. Research on Establishing Monitoring Samples of Cultivated Land at the County Level in Weibei Dry Highland[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(2): 48-54, 118.