

# 河套灌区农业水土资源时空匹配格局研究

郑久瑜<sup>1,3</sup>, 赵西宁<sup>1,2</sup>, 操信春<sup>1</sup>, 孙世坤<sup>1</sup>, 张丽丽<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部  
水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**为了客观地评价内蒙古河套灌区农业水土资源时空匹配情况,在分析灌区水土资源利用现状和空间分布格局的基础上,以灌溉用水量作为水资源量的表征参数,构建了农业水土资源匹配测算模型,评价了河套灌区及 5 个县域的农业水土资源匹配程度,并对其匹配程度进行了划分。结果表明:河套灌区农业水土资源匹配一般,耕地资源优势明显,水资源问题突出;10 a 来农业水土资源匹配程度逐渐降低,匹配程度空间差异性较为显著,总体呈现出“自西向东依次变差”的特点。针对河套灌区农业水土资源匹配程度差、区域差异明显的情况,应加强该区水利工程建设和加快水务管理体制变革,同时兼顾农业水土资源优化配置,提高河套灌区农业水土资源匹配程度。

**关键词:**河套地区; 农业水土资源; 匹配系数; 时空差异

中图分类号:F323.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)03-0132-05

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2015.03.025

## Study on Spatiotemporal Matching Pattern of Agricultural Water and Land Resources in Hetao Irrigation District

ZHENG Jiuyu<sup>1,3</sup>, ZHAO Xi'ning<sup>1,2</sup>, CAO Xinchun<sup>1</sup>, SUN Shikun<sup>1</sup>, ZHANG Lili<sup>1</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Dryland Water-Saving Agriculture Research Institute, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to evaluate the spatiotemporal matching situation of agricultural water and land resources correctly in Hetao Irrigation District, the utilization and spatial distribution pattern of the water and land resources were analyzed, and the amount of irrigation water was introduced into the study as the characteristic parameter of water resources quantity, and then a measure model for matching patterns was constructed to evaluate the matching degree of agricultural water and land resources of Hetao Irrigation District and five county regions in this area, the matching degree was graded finally. The results indicated that the agricultural water and land resources showed a situation on the whole that land resources were abundant while water resources were deficient; during the past decade the matching coefficient of agricultural water and land resources was reducing gradually, and the spatial distribution patterns of the two resources exhibited an obvious dislocation phenomenon, the characteristic was that the degree was decreasing from west to east. Against the situation of agricultural water and soil resources in Hetao Irrigation District, strengthening the construction of water conservancy project, speeding up the water management system reform and optimizing agricultural soil and water resources configuration should be conducted to increase the degree of agricultural water and soil resources matching.

**Keywords:** Hetao Irrigation District; agricultural water and land resources; matching coefficient; spatiotemporal variation

水土资源是农业生产发展的核心要素,二者在时间和空间上的匹配程度直接影响区域农业可持续发展<sup>[1]</sup>。随着我国工业化和城镇化的高速发展,农业水

土资源被挤占的势头难以逆转,必将影响到国家及地区的粮食安全<sup>[2]</sup>。河套灌区位于内蒙古自治区巴彦淖尔市南部的河套平原,区域内土地深厚肥沃,引黄

收稿日期:2014-07-06

修回日期:2014-09-03

资助项目:“十二五”国家科技支撑计划(2011BAD29B09);高等学校学科创新引智计划(B12007)

第一作者:郑久瑜(1991—),男,安徽安庆人,硕士研究生,研究方向为农业水土资源利用。E-mail:pzmy007@sina.com

通信作者:赵西宁(1976—),男,陕西渭南人,副研究员,主要从事农业水土资源高效利用及其效益评价研究。E-mail:xiningz@aliyun.com

灌溉便利,自然条件适应农业生产。经过数十年的开发和建设,已经成为我国西部地区重要的粮食生产基地。水资源的丰缺和利用合理与否都直接影响着耕地资源的生产效率和利用方式,而耕地资源的开垦程度也制约着水资源的开发利用<sup>[3-4]</sup>。定量地测度河套地区的农业水土资源匹配程度,对于合理开发利用地区水资源和耕地资源及区域内的农业水土资源优化配置具有科学的指导意义。

水土资源的时空耦合是农业生产的先决条件。以往有关农业水土资源匹配格局的研究较少,近些年来国内学者对区域水土资源研究有所重视。吴宇哲等<sup>[5]</sup>将区域基尼系数引入水土资源匹配的研究,通过基尼曲线和系数对我国水土资源整体匹配状况进行了分析,结果表明我国水土资源匹配程度处于世界平均水平;刘洋<sup>[6]</sup>、姜宁<sup>[7]</sup>等分别将基尼系数应用于辽宁省及黑龙江省的水资源空间匹配研究;刘彦随等<sup>[8]</sup>以中国东北地区为例,构建区域农业水土资源匹配系数模型,以市域为单位对东北地区农业水土资源匹配程度作出了定量评价。侯薇等<sup>[9]</sup>应用农业水土资源匹配系数,评价了关中地区及所辖5个地级市的农业水土资源匹配程度。上述研究推动了我国区域内水资源和土地资源耦合理论及其优化配置集体研究的发展。但研究中表征水资源量参数多用当地农业用水总量,一般农业用水总量统计中包括农田、林业、牧业的灌溉用水及水产养殖业、农村工副业用水等<sup>[10]</sup>,从耕地用水角度采用灌溉用水量比较准确。本研究在对河套灌区水土资源构成及利用分析的基础上,以灌溉用水量作为水资源量的表征参数,构建区域水土资源匹配测算模型,并对该区农业水土资源匹配系数进行计算和划分匹配等级,以期对区域农业水土资源的进一步开发利用及优化配置提供科学指导。

## 1 研究区域概况

内蒙古河套灌区是亚洲最大的一首制自流引水灌区及我国3个特大型灌区之一。灌区位于黄河中上游内蒙古段北岸的冲积平原,东西长250 km,南北宽50 km,北抵阴山山脉的狼山、乌拉山,南至黄河,东与包头市为邻,西与乌兰布和沙漠相接。河套灌区由西向东横跨巴彦淖尔盟的磴口县、杭锦后旗、临河市、五原县和乌拉特前旗5个旗、市(县),灌区总面积111.95万hm<sup>2</sup>,现引黄有效灌溉面积57.44万hm<sup>2</sup>,占灌区总面积的51.2%,农业人口100余万,是我国西北重要的粮食生产基地。

河套灌区地处干旱、半荒漠草原地带,属于典型的温带大陆性干旱半干旱气候带,降水稀少、蒸发强

烈、干旱多风、温差大、日照时间长是其主要气候特征。年均降雨量170 mm,年平均气温6~8℃,自西向东逐渐增加,5—9月份降雨量占全年的70%左右。年均蒸发量2000~2500 mm,5—7月蒸发量最大,占全年50%以上,年均蒸发是年降水的10倍多。全年冰冻期达到5~6个月,最大冻结深度1.0~1.3 m,一般冰冻期自11月中旬到4月下旬,无霜期140 d左右<sup>[11]</sup>。特殊的自然条件决定了河套灌区需要引黄灌溉来发展农业。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据来源

河套灌区多年引黄水量、水资源总量来源于《巴彦淖尔市水资源公报》(2001—2010年),农业灌溉用水量来源于内蒙古河套灌区管理总局;河套灌区各旗、县耕地面积和人口数据来源于《巴彦淖尔统计年鉴》(2001—2010年);2001—2010年全国农业水土资源匹配系数根据《中国水资源公报》和《中国统计年鉴》(2001—2010年)的整理数据计算得出。

### 2.2 研究方法

农业水土资源匹配系数是表征特定的区域可供农业生产利用的水资源和耕地资源时空适宜匹配的量比关系,揭示此区域上农业水资源和耕地资源在时空上的相互满足程度,此处采用单位面积耕地上所拥有的灌溉水量的多少来表示。农业水土资源匹配系数值越大,表明该区域农业水资源能够满足耕地资源的程度越高;其值越小,则反映农业水资源能够满足耕地资源的程度越低<sup>[8]</sup>。根据区域水资源和土地资源利用数据,以县(旗)域为单位,计算当地农业水土资源匹配系数。测算模型如下:

$$R_{i,k} = W_{i,k} / L_{i,k} \quad (1)$$

式中: $R_{i,k}$ —— $i$ 县域 $k$ 年水土资源匹配系数; $W_{i,k}$ —— $i$ 县域 $k$ 年灌溉用水量(亿m<sup>3</sup>); $L_{i,k}$ —— $i$ 县域 $k$ 年耕地面积(万hm<sup>2</sup>)。

河套灌区区域农业水土资源匹配系数反映了地区内各县(旗)农业水土资源匹配的平均水平,其计算模型:

$$R_k = \sum_{i=1}^n R_{i,k} / n \quad (2)$$

式中: $R_k$ ——河套灌区 $k$ 年农业水土资源匹配系数; $R_{i,k}$ —— $i$ 县域 $k$ 年水土资源匹配系数; $n$ ——区域内县域的数量。

## 3 河套灌区水土资源量及空间分布格局

### 3.1 水资源构成及利用

河套灌区的水资源由地表水和地下水组成。该

区地处平原,年降雨量稀少,很少形成地面径流,地表水主要来源是过境的黄河水(黄河年均过境流量约为 296.9 亿  $m^3$ )<sup>[12]</sup>。河套灌区地下水大部分依靠引黄河水的入渗补给,其次为大气降水入渗和北部山脉的侧向径流补给。地区多年平均(2001—2010 年)引用黄河水量为 47.26 亿  $m^3$ ,平均水资源总量为 49.482 亿  $m^3$ ,其中地表水资源量为 45.388 亿  $m^3$ ,地下水资源量为 19.284 亿  $m^3$ ,地表水与地下水的重复计算量为 15.189 亿  $m^3$ 。如表 1 所示,河套灌区的水资源主要以地表水为主,占水资源总量的 70.18%。2010 年河套灌区人均水资源占有量 3 365  $m^3$ ,高于全国平均水平(2 100  $m^3$ /人)。

河套灌区 2001—2010 年多年平均用水量为 45.16 亿  $m^3$ ,其中以农业用水为主,多年平均农业用

表 1 河套灌区水资源量的计算

项目	河套灌区	临河	磴口	杭锦后旗	五原	乌拉特前旗
地表水/亿 $m^3$	45.388	11.861	6.197	9.849	11.275	6.206
地下水/亿 $m^3$	19.284	4.038	4.370	3.404	3.567	3.904
重复计算量/亿 $m^3$	15.189	3.943	2.068	3.311	3.402	2.464
水资源总量/亿 $m^3$	49.482	11.955	8.499	9.943	11.441	7.646
地表水占总量/%	70.18	74.60	58.64	74.31	75.97	61.38

### 3.2 土地资源构成及利用

河套灌区所在的 5 个旗县土地总面积为 182.8 万  $hm^2$ ,2010 年耕地面积和牧草地面积占总面积的 65.74%,其中耕地面积占 32.83%,灌区人均耕地占有量为 0.408  $hm^2$ ,远远高于同期全国人均水平。整个地区的耕地分布是自西向东呈现出不断增加的趋势,同时 10 a 来灌区的耕地面积也在缓慢提高。河套灌区较为丰富的耕地和草地资源为当地提供了优越的农业生产自然条件。

### 3.3 农业水土资源空间分布

根据河套灌区多年平均水资源总量和多年平均耕地面积统计数据,以县域为基本单元,计算各个县域的水资源量占全区百分数和耕地面积占全区百分数(表 2)。以水资源占全区百分比和耕地面积占全区百分比为度量指标,分析整个河套灌区水土资源的空间分布情况。

分析表 2 中的灌区各个旗县的水资源量比重和耕地面积比重数据,临河市和五原县水土资源分布相对比较均匀,其他 3 个旗县水土资源在空间上的分布表现出不均匀性和较强的差异性。磴口县和杭锦后旗水土资源空间分布处于“水多地少”情况,其中磴口县尤为明显,其水资源比重达到了耕地面积比重的两倍之多;乌拉特前旗的水土资源空间分布则表现出“地多水少”的特点。河套灌区水资源和耕地资源在

水量为 43.86 亿  $m^3$ ,农业平均用水比例达到 97.13%,远远高于同期全国平均农业用水比例(62%)。2001—2010 年地区工业用水和生活用水比重逐年上升,导致农业用水比例从 2001 年的 98.22% 下降至 2010 年的 96.44%。在总的用水量中,以地表水供水为主,地下水多年平均供水量为 4.2 亿  $m^3$ (乌拉特前旗占 2.34 亿  $m^3$ ),地下水供水量仅占总供水量的 9.3%,平均利用程度仅为 21.8%。河套灌区在中等年份引黄水量 50 亿  $m^3$  条件下,地区的地下水资源量达到 19 亿  $m^3$ ,即使在地区引黄水量指标压缩到 40 亿  $m^3$ ,地下水资源量仍有 15.9 亿  $m^3$ ,同时灌区地下水水位较浅,使得河套灌区地下水开发潜力很大<sup>[13]</sup>。河套灌区用水整体表现出“过度依赖地表水且利用率不高,而地下水开发利用程度低下”的特点。

空间上的分布存在着较为明显的错位现象,而这种空间上的分布错位,很大程度上限制了河套地区农业的生产增产和水土资源的可持续利用。

表 2 河套灌区水土资源量百分比 %

项目	临河	磴口	杭锦后旗	五原	乌拉特前旗
水资源量占全区百分比	24.16	17.18	20.09	23.12	15.45
耕地面积占全区百分比	24.43	7.90	16.32	25.50	27.84

## 4 河套灌区农业水土资源匹配格局研究

根据河套灌区县域多年水资源总量和耕地面积统计数据,运用以上农业水土资源匹配系数测算模型,计算得出 2001—2010 年河套灌区各县(旗)农业水土资源匹配系数(表 3)。

依据河套地区各县(旗)域  $R_i$  值积聚与离散的分异特征,将地区农业水土资源匹配系数划分为 3 个等级:(1) 匹配程度较好( $R_i \geq 1.7$ );(2) 匹配程度一般( $0.6 < R_i < 1.0$ );(3) 匹配程度较差( $R_i \leq 0.6$ ),用以定量分析河套灌区农业水土匹配系数。

### 4.1 农业水土资源匹配特征

河套灌区 2001—2010 年农业水土资源匹配系数为 0.665~0.834,高于同期全国平均水平(0.25~0.33),表明灌区农业水土资源整体表现出匹配一般,但优于全国平均水平。确切地讲,河套灌区土地资源

优势比较明显,水资源的瓶颈问题比较突出,特别是 1999 年以来国家对黄河水量实行全流域统一调配和灌区节水改造工程的逐步落实,自治区分配给河套灌

区的引黄指标限定为 40 亿 m<sup>3</sup>,这将加剧灌区水资源的供需矛盾,决定了河套灌区水土资源匹配长期处于不利的局面。

表 3 2001—2010 年河套灌区各县域农业水土资源匹配系数 万 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>

年份	临河	磴口	杭锦后旗	五原	乌拉特后旗	河套灌区
2001	0.849	1.624	1.045	0.909	0.366	0.814
2002	0.877	1.398	1.049	0.909	0.363	0.813
2003	0.717	1.101	0.905	0.928	0.262	0.700
2004	0.837	1.291	0.960	0.852	0.327	0.756
2005	0.862	1.493	1.048	0.834	0.378	0.802
2006	0.829	1.520	1.014	0.829	0.403	0.796
2007	0.828	1.635	0.999	0.751	0.360	0.766
2008	0.828	1.493	1.029	0.729	0.338	0.748
2009	0.881	1.616	1.145	0.836	0.405	0.834
2010	0.685	1.167	0.994	0.617	0.349	0.665

#### 4.2 农业水土资源匹配格局的时间变化

河套灌区 2001—2010 年农业水土资源匹配系数与水资源总量的变化趋势如图 1 所示。农业水土资源匹配系数的年际波动范围较小,整体处于缓慢下降趋势,表明河套地区的农业水土资源匹配程度在逐年变差;灌区的水资源总量在逐年缓慢升高,由于灌区降雨很少形成径流,主要依赖引黄河水,反映出这些年的引黄水量在增加;农业灌溉用水量 10 a 间变化较为平稳,随着这些年耕地面积的增加和有效灌溉面积的提高,间接反映出灌区农业用水效率的提高。河套地区水资源总量在增加,农业水土资源匹配程度变差,形成这种相反趋势主要原因在于:近些年来河套灌区农业土地开发利用加快,耕地面积逐年增加且有效灌溉面积不断提高;地区经济社会发展,二、三产业和生活用水增长较快,挤占农业用水份额。

差,即黄河上游匹配程度优于下游”的特点。河套地区农业水土资源匹配格局这种空间差异主要原因在于:灌区农业用水主要依靠过境的黄河水,控制引水工程三盛公水利枢纽位于上游磴口县境内,这使得上游地区农业用水非常充足;河套灌区内引水输水多采用明渠渠道,大多是未采取防渗防漏措施的土渠,渠系水利用率低下,致使输水过程中损失较大;地区农业灌溉和用水管理方法落后,粗放经营,灌溉方式普遍采用地面漫灌,管理方式采用按照灌溉面积收费,造成农户农业用水时无节水意识,水费一定的情况下,过量超额用水,使得中上游地区水资源浪费损失严重,灌溉水利用率低,下游地区少水甚至无地表水可用;整个灌区耕地面积自西向东增加明显,这种与引黄水量相反的分布趋势,更加不利于整个河套灌区的农业水土资源匹配。

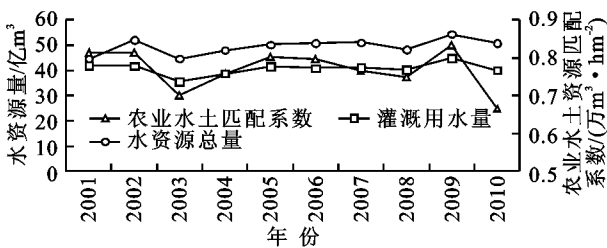


图 1 河套灌区农业水土资源匹配系数与水资源总量变化趋势对比

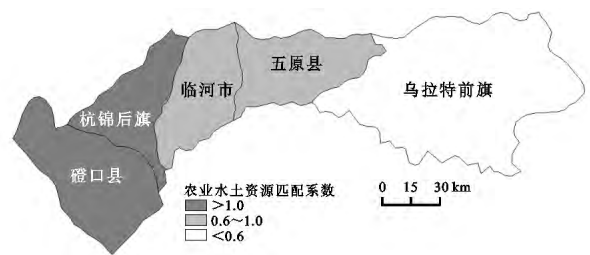


图 2 2010 年河套灌区农业水土资源匹配空间格局

#### 4.3 农业水土资源匹配格局的空间差异

利用 ArcGIS 10.1 绘制出 2010 年河套地区县域尺度农业水土资源匹配格局(图 2)。从图中可以看出,河套灌区水土资源空间分布不均,农业水土资源匹配程度区域性差异显著。从县域尺度上看,磴口县和杭锦后旗匹配程度较好,磴口县优于杭锦后旗;临河市和五原县匹配程度一般,临河市好于五原县;乌拉特后旗匹配程度最差。整个河套灌区水土资源匹配程度呈现出“自西向东农业水土资源匹配逐渐变

### 5 结论

河套灌区 2001—2010 年水资源总量呈小幅度上升趋势,主要来自于引黄水量的增加,农业灌溉用水量变化幅度不大,农业用水比例却在不断下降,耕地面积缓慢增加。短时间内来看,灌区这种水土资源变化趋势将会持续下去,将会给灌区的农业用水及水土资源分配提出更高的要求。

从农业水土资源匹配角度看,河套灌区匹配程度一般,优于全国农业水土资源匹配的平均水平;在地

区水资源总量呈现逐年增加的趋势下,区域的农业水土资源匹配程度却呈下降趋势;区域内农业水土资源匹配程度差异性较大,整个地区农业水土资源匹配程度呈现“自西向东依次变差”的特点。总的来看,河套地区耕地资源优势明显,水资源问题比较突出。

河套灌区水资源问题,既有来自资源性缺水的自然约束,也有地区粗放经营的人为后果。近些年来河套灌区虽加强了水利基础设施建设,但地区水利工程老化严重和田间配套差的现象依然大量存在,整体情况看,该地区的水利基础设施还是比较薄弱,同时地区灌溉方式和管理方法落后,这些都不利于节水农业的发展,加剧河套灌区水资源短缺,造成整个地区农业水土资源匹配程度低下。河套地区是西北重要的粮食生产区,在地区引黄水量限定的情况下,解决该地区的水资源问题,应该采取相应的一系列工程、技术、管理措施。引黄水和地下水的联合使用及采取井、渠结合的农田灌溉模式,同时加快地区续建配套与节水改造工程和水务管理体制的改革步伐,全面加强水利基础设施建设,兼顾区域农业水土资源优化配置,是增强河套灌区水土资源匹配程度的重要途径。

参考文献:

- [1] 张晶,封志明,杨艳昭.宁夏平原县域农业水土资源平衡研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(2):60-65.
- [2] 刘彦随,吴传钧.中国水土资源态势与可持续食物安全[J].自然资源学报,2002,17(3):270-275.
- [3] 操信春,吴普特,王玉宝,等.水分生产率指标的时空差异及相关关系[J].水科学进展,2014,25(2):268-274.
- [4] 操信春,吴普特,王玉宝,等.中国灌区水分生产率及其时空差异分析[J].农业工程学报,2012,28(13):1-7.
- [5] 吴宇哲,鲍海君.基尼系数及其在区域水土资源匹配分析中的应用[J].水土保持学报,2003,17(5):123-125.
- [6] 刘洋,金凤君,甘红.区域水资源空间匹配分析[J].辽宁工程技术大学学报,2005,24(5):657-660.
- [7] 姜宁,付强.基于基尼系数的黑龙江省水资源空间匹配分析[J].东北农业大学学报,2010,41(5):56-60.
- [8] 刘彦随,甘红,张富刚.中国东北地区农业水土资源匹配格局[J].地理学报,2006,61(8):847-854.
- [9] 侯薇,刘小学,魏晓妹.陕西关中地区农业水土资源时空匹配格局研究[J].水土保持研究,2012,19(1):134-138.
- [10] 范群芳,董增川,杜芙蓉.农业用水和生活用水效率研究与探讨[J].水利学报,2007(S1):465-469.
- [11] 张银辉,罗毅,刘纪远,等.灌区土地利用变化驱动因素分析:以内蒙古河套灌区为例[J].资源科学,2006,28(1):81-85.
- [12] 彭芳,张新林.浅谈内蒙古河套灌区节水灌溉潜力[J].内蒙古农业大学学报,2005,26(2):73-76.
- [13] 杨路华,沈荣开,曹秀玲.内蒙古河套灌区地下水合理利用的方案分析[J].农业工程学报,2003,19(5):56-59.
- [11] 田雨,庄莹,曹义,等.雾灵山低山区土地利用类型对土壤理化性质的影响[J].水土保持研究,2012,19(6):41-44.
- [12] 刘晚苟,山仑,邓西平.干湿条件下土壤容重对玉米根系导水率的影响[J].土壤学报,2003,40(5):779-782.
- [13] 陈祯.土壤容重变化与土壤水分状况和土壤水分检测的关系研究[J].节水灌溉,2010(12):47-50.
- [14] Sainju U M, Good D E. Vertical root distribution in relation to soil properties in New Jersey Pineland forest [J]. Plant and Soil,1993,150(1):87-97.
- [15] 李卓,吴普特,冯浩,等.容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J].土壤学报,2010,47(4):611-620.
- [16] Barraclough P B, Weir A H. Effects of a compacted subsoil layer on root and shoot growth, water use and nutrient uptake of winter wheat [J]. Journal of Agricultural Science,1988,110(2):207-216.
- [17] 薛正平,杨星卫,段项锁,等.土壤养分空间变异及合理取样数研究[J].农业工程学报,2002,18(4):6-9.
- [18] 陶俊.三峡库区不同护坡草本根系分布对土壤理化性质的时间尺度效应[D].重庆:西南大学,2013.
- [19] 宋日,刘利,吴春胜,等.土壤团聚体大小对大豆出苗和幼苗生长的影响[J].中国油料作物学报,2009,31(2):223-227.
- [20] Sandnes A, Eldhuset T D, Wollebæk G. Organic acids in root exudates and soil solution of Norway spruce and silver birch [J]. Soil Biology and Biochemistry,2005,37(2):259-269.
- [21] 吴惠群,李光德.金荞麦生态环境研究[J].云南师范大学学报:自然科学版,1994,14(4):102-109.
- [22] 李振高,李良谟,潘映华,等.小麦苗期根系分泌物对根际反硝化细菌的影响[J].土壤学报,1995,32(4):408-413.
- [23] 李小刚.影响土壤水分特征曲线的因素[J].甘肃农业大学学报,1994,29(3):273-278.
- [24] Williams J, Prebble R E, Williams W T, et al. The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic [J]. Soil Research, 1983,21(1):15-32.
- [25] Hillel D. Application of Soil Physics [M]. New York: New York Academic Press,1980.
- [26] 潘瑞,刘树庆,宁国辉,等.土壤质地定名法及吸湿水与土壤粒级含量关系的研究[J].北方园艺,2010(16):25-29.

(上接第131页)