

新疆伊犁河谷地下水系统划分及特征研究

邵杰^{1,2}, 李瑛³, 董美玲^{1,2}, 冯俊岭^{1,2}

(1. 中国地质调查局自然资源实物地质资料中心, 河北三河 065201; 2. 中国地质调查局自然资源实物地质资料中心秦皇岛海平面监测站, 河北秦皇岛 066002; 3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西西安 710054)

摘要 地下水系统划分是正确评价和合理开发利用地下水资源的基础,也是区域地下水规划的重要依据。以地下水系统理论为指导,以伊犁河谷地下水系统为研究对象,在全面分析研究区地形地貌、地质、水文地质条件基础上,依据地下水系统划分原则,将伊犁河谷地下水系统划分为2个一级地下水系统,7个二级地下水系统,并对一级、二级地下水系统特征进行了初步总结。通过对研究区地下水系统划分,为伊犁河谷地下水资源规划提供了科学评价和理论依据,对我国西北干旱-半干旱地区地下水系统研究具有实际参考价值和借鉴意义。

关键词 地下水系统;伊犁河谷;系统划分;地下水资源

中图分类号 P 641.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)22-0043-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.22.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Classification and Characteristics of Groundwater System in Yili River Valley of Xinjiang

SHAO Jie^{1,2}, LI Ying³, DONG Mei-ling^{1,2} et al (1. Cores and Samples Center of Natural&Resources (CSCNR), China Geological Survey (CGS), Sanhe, Hebei 065201; 2. Qinhuangdao Sea Level Monitoring Station Cores and Samples Center of Natural&Resources (CSCNR), China Geological Survey (CGS), Qinhuangdao, Hebei 066002; 3. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey (CGS); Xi'an, Shaanxi 710054)

Abstract Groundwater system study is an important base to assess regional groundwater resources and to set up the rational groundwater development patterns. Based on the topography and geomorphology, regional geological conditions and hydrogeology conditions of the Yili River Valley, the groundwater system in the Yili River Valley was divided in taking the systematic theoretical analysis of groundwater. According to the principles of groundwater system division, the groundwater system can be divided into two the first grade and seven second grade groundwater system, and the characteristics of the first and second groundwater system are summarized. The division of groundwater system has important theoretical and practical significance for groundwater resources of Yili River Valley, and the research has the practical reference value and referential significance in the arid and semi-arid area of Northwest China.

Key words Groundwater system; Yili River Valley; System divisions; Groundwater resources

地下水系统是水文地质学研究热点与重要研究方向之一^[1-2],国际水文界于20世纪80年代初提出了“地下水系统”概念,这一概念和理论的提出不仅是系统思想与方法渗入水文地质领域的结果,也是水文地质学发展的必然产物^[3]。在中华人民共和国国家标准《水文地质术语》(GB/T 14157—93)^[4]中规定:“地下水系统(groundwater system)是具有水量、水质输入、运移和输出的地下水基本单元及其组合。”地下水理论是以系统科学的观点和方法,将水文地质学研究的地下水水圈看作一个等级从属关系的许多单元组成的复杂的动力系统^[5-7]。我国最早从事地下水系统研究工作的陈梦熊院士对地下水系统概念进行了全面的概括和总结,并将地下水系统的基本概念归纳为:地下水系统是由若干具有一定独立性又互相关联、互相影响的不同等级的亚系统或次系统所组成;地下水系统是水文系统的一个组成部分,与大气降水和地表水系统存在密切联系,互相转化;地下水系统都具有各自的特征与演变规律,包括各自的含水层系统、水循环系统、水动力系统及水化学系统。著名水文地质学家王大纯教授认为,地下水系统应包括地下水含水系统与地下水流动系统^[8]。正确认识和合理划分地下水系统是勘查与

评价区域地下水资源的理论基础,也是区域地下水资源开发与规划的重要依据^[9-10]。

伊犁河谷地处我国西北边陲,西与哈萨克斯坦接壤,是国家实施“一带一路”经济战略上的一个重要支点^[11]。由于以往在该地区开展的水文地质工作程度有限,导致对该区域地下水系统认识程度较低。笔者以野外水文地质调查为基础,结合研究区以往资料,对伊犁河谷地下水系统进行划分并对其特征进行分析,为正确评价伊犁河谷地下水资源以及科学开发利用地下水资源提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 自然地理条件 伊犁河谷地处我国新疆天山山脉西段,区内地形地貌形态较复杂,总体呈“三山夹两谷地—盆地”的格局,呈三角形,东部顶点为特克斯河与巩乃斯河交汇处,西部底边朝向中哈边界,东高西低,地势由东向西倾斜,东西长170 km。伊犁河谷北部自西向东分布着NW—SE走向的科古琴山、博罗科努山和依连哈比尔尕山等北天山支脉。依连哈比尔尕山平均海拔高度在3 600 m以上,最高峰海拔5 500 m,博罗科努山海拔4 000~4 500 m。南部自西向东分布着NEE—SWW走向的哈尔克他乌山、那拉提山等南天山支脉,平均海拔高度3 500~4 000 m,昭苏西南的汗腾格里山最高海拔在6 000 m以上。伊犁水资源丰富,是新疆荒漠干旱区的一块“湿岛”。区内主要有伊犁河及其三大支流特克斯河、巩乃斯河、喀什河。

1.2 区域地质条件 区内地质构造比较复杂。构造形成始

基金项目 中国地质调查项目(1212011220972);新疆伊犁河谷霍城—霍尔果斯口岸水文地质调查(12120115046401);伊犁河谷西部平原区1:5万水文地质调查(121201011000150021)。

作者简介 邵杰(1989—),男,安徽亳州人,助理工程师,硕士,从事水文地质与环境地质调查与研究工作。

收稿日期 2019-03-08;修回日期 2019-06-14

于震旦纪之前的吕梁期,经加里东期,尤其是华里西期表现更趋强烈,基本形成了区内构造的骨架。又经后期的燕山运动和喜马拉雅运动,便形成了目前的构造形态。伊犁河谷大地构造位于天山—兴安地槽褶皱区西南天山褶皱系西天山优地槽褶皱带。伊犁河谷地出露的地层包括元古界长城系特克斯群、长城系—青白口系和蓟县系—青白口系;古生界奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系;中生界三叠系、侏罗系及新生界第三系、第四系。研究区中低山区、低山丘陵区黄土较发育。在垂直方向上,黄土分布范围上限至林带,海拔高度2 000~2 200 m,下限与河谷平原相接,最低海拔高度600~700 m。区内第四纪地层相当发育,包括各个不同时期的多种成因类型的堆积物。主要分布于伊犁—巩乃斯谷地、喀什河谷地、昭苏—特克斯谷地中。出露地层有下更新统山麓堆积,中更新统冰碛层和冰水堆积层,上更新统冰碛、冰水堆积、风积、洪积、冲积,上更新统至全新统的冲积洪积,全新统的冰碛、冰水沉积、冲积、洪积及沼泽沉积等。第四纪沉积物的结构,一般在谷地和盆地两侧的山前和各大河流的上游均为单一的卵砾石层,山前洪积扇中部以下和各大河流中、下游逐渐变为砂砾石、亚砂土、亚黏土、黏土等互层的多层结构。在伊犁—巩乃斯谷地中,第四纪沉积物厚度,伊犁河下段伊宁市以西大于350 m,上段巩留县附近大于488 m,巩乃斯谷地东部(新源县以东)大于800 m。

1.3 区域水文地质条件 伊犁河谷呈典型喇叭状,西端开口

处宽约90 km,沿伊犁河和巩乃斯河向SEE延伸到工作区东部合拢,为一断陷谷地,第四系厚度由东向西增大,最厚可达近1 000 m,地层结构多次由单层到多层交替,岩层颗粒也多次由粗到细变化。在野果林改良场以北,卵砾石层厚约800 m,往西到阿勒玛勒一带,颗粒变细,层次增多,变为多层结构;再往西到新源县附近,因恰普河从南面汇入,形成新源洪积扇,改变了原有地层结构。在洪积扇的中部,为单一砂砾石层,厚约420 m。冲洪积扇前缘地带为多层结构。新源县以西至肖尔布拉克和公安农场一带,为恰普河和特克斯河两个冲洪积扇的扇间地带,颗粒变细,层次增多,再次出现多层结构。到特克斯河出山口处,又形成规模更大、影响范围更广的冲洪积扇,单一卵砾石层厚度可达600 m。再往西到73团7连一带,又变为多层结构。到雅马渡附近为一新构造隆起,砂砾石变薄,19号孔揭露仅13.5 m。往西又逐渐增厚。到伊宁市以西的广大平原区,出南北山前为单一砂砾石层外,伊犁河两侧皆为细颗粒的多层结构。据研究区地下水位统测数据知,在山前冲洪积扇区,地下水埋藏深度大于100 m,在河流冲洪积扇的河谷区两侧,地下水埋藏大多在0~15 m范围内。研究区北部及南部的山区是地下水主要补给区,山前冲洪积或冰水沉积倾斜平原是主要径流区,而盆地或谷地中部平原区则是主要排泄区。在谷地两侧虽有南北向径流,但整个谷地的地下水总流向是由东向西,大体与巩乃斯河及伊犁河的流向相一致^[12-16],伊犁河谷水文地质情况见图1。

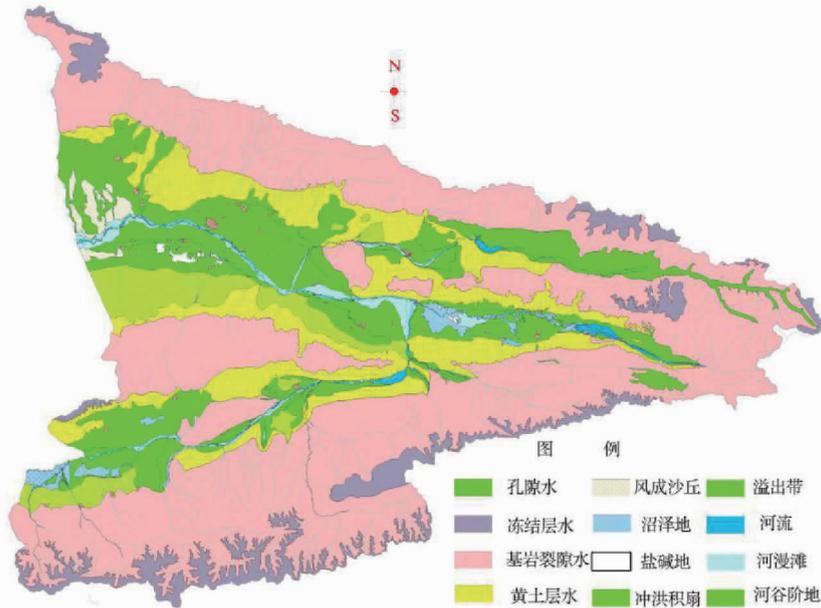


图1 研究区水文地质情况

Fig.1 Hydrogeological map of study area

2 伊犁河谷地下水系统划分

2.1 地下水系统划分的原则及依据 地下水划分原则主要遵循整体性原则、等级结构型原则及系统划分和地下水资源评价与开发相结合的原则^[17]。以自然状态不同级别地下水流系统为首要依据,以含水层系统为判断水力联系和流动系统内部结构的重要基础。只有在进行地下水系统管理模型研究时,在地下水自然系统的基础上考虑人类活动的影响。

在地下水系统划分时,首先划分含水层系统,将含水介质基本相同,具有固定边界所圈闭的含水岩系划分为同一个含水系统,根据含水介质结构、岩相古地理条件及空间分布进一步划分为次级含水系统。然后,在同一含水系统内,将具有统一水力联系的连续水流划分为地下水流系统,同一地下水流系统内,根据其内部水循环特征的差异、水力性质及循环方式和水均衡要素的不同,可进一步划分为若干个次级

地下水流动系统^[18]。

2.2 地下水系统分区结果 以地下水系统理论为基础,依据各个不同水文地质单元的特征、地下水的赋存条件和分布规律。初步划分为伊犁河谷地地下水系统和伊犁河谷基岩山区地下水系统 2 个一级地下水系统,在此基础上进一步将

伊犁河谷地地下水系统划分为喀什河谷地地下水系统等 3 个二级地下水系统,将伊犁河谷基岩山区地下水系统划分为科古琴山—婆罗科努山—依连哈比尕山地下水系统等 4 个二级地下水系统。研究区地下水系统分区见图 2。

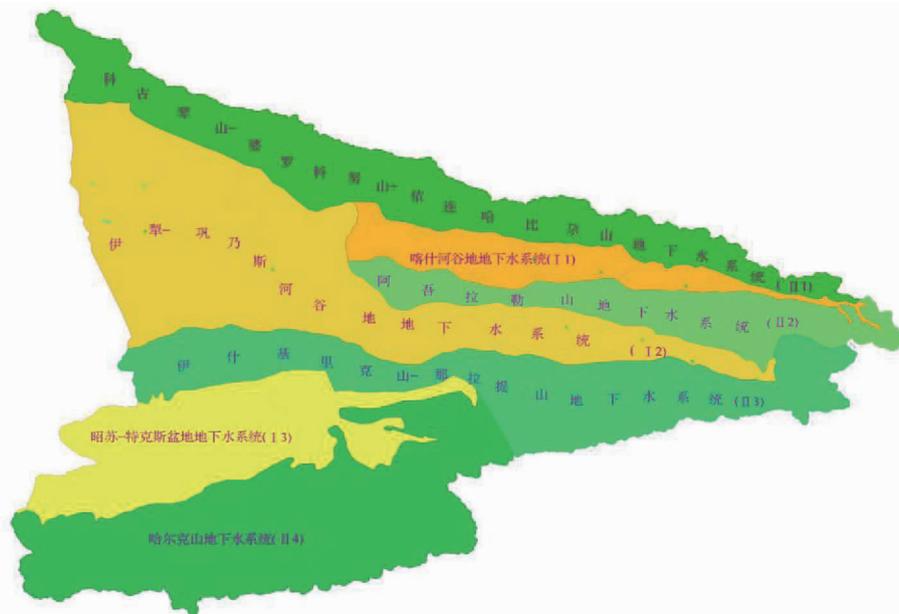


图 2 伊犁河谷地下水系统划分

Fig.2 Groundwater system partition map in the Yili River Valley

2.3 地下水系统分区及其特征

2.3.1 伊犁河谷地地下水系统(I₁)。伊犁河谷地主要受伊犁河以及其三大支流特克斯河、巩乃斯河、喀什河冲积而成,为地下水的主要径流与排泄区,主要包括伊犁—巩乃斯谷地、喀什谷地及昭苏—特克斯谷地。伊犁河谷地地下水系统是研究区最为重要的地下水系统,该系统涵盖研究区整个平原河谷区,具有地下水资源丰富,水位埋藏浅、水质优良,易于取用等特点,是当地居民饮用、工业及农业等主要用水来源。

(1)喀什河谷地地下水系统(I₁)。位于婆罗科努山和阿吾拉勒山之间,为一新生带断陷盆地。北侧赋存基岩裂隙水、碎屑岩裂隙孔隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水;中部为新生代陆相堆积物;从新生代开始,沉积中心多次向西迁移,沉积厚度由东向西逐渐增大,喀什河流域的第四纪堆积物是谷地中松散岩类孔隙水的主要分布区,局部分布承压水。喀什河谷地地下水主要接受降水、地表水渗入和基岩裂隙水侧向补给,径流途径较短。

(2)伊犁—巩乃斯河谷地地下水系统(I₂)。位于研究区中部,呈 NWW 向横贯全区,为典型的喇叭状,西端开口处宽超过 90 km,沿伊犁河和巩乃斯河向 SEE 延伸,至东部合拢。为一断陷谷地,第四系厚度由东向西增大,最厚可达近千米,地层结构多次由单层到多层交替,岩层颗粒也多次由粗到细变化,地下水主要以松散岩类孔隙潜水和承压水为主。此外,在谷地南北两侧的山前地带还分布有第三系砂砾岩裂隙孔隙水,风成黄土中水量较贫乏的潜水以及透水性差或透水

不含水的冰水堆积。

伊犁—巩乃斯谷地东段地下水主要接受巩乃斯河及各支流出山口后的渗漏补给、大气降水渗入补给、渠系及农田灌溉水的渗入补给和基岩裂隙水的侧向补给等,形成丰富的地下径流,在松散层的孔隙中大致由东西偏北方向流动。纵观伊犁—巩乃斯谷地地下水流向,在谷地两侧虽有南北向径流,但整个谷地的地下水总流向是由东向西大体与巩乃斯河及伊犁河的流向相一致^[19]。

(3)昭苏—特克斯盆地地下水系统(I₃)。位于伊什基里克山和哈尔克山之间的沉降带内,为一中新代凹陷盆地。由于新构造运动影响,断裂、拗陷、隆起皆很发育,对地下水起着控制作用。第四系松散岩类沉积厚度大,昭苏盆地第四系厚度大于 500 m,含水层以松散岩类孔隙水为主。南北两侧洪积扇上部为单一卵砾石层,发育孔隙潜水;盆地中部为多层结构,赋存承压水;在相对隆起区,如阿克牙孜等局部地区发育第三系碎屑岩类裂隙孔隙水、承压水和基岩裂隙水。

昭苏—特克斯盆地地下水除接受大气降水、特克斯河水及渠系灌溉水的渗入补给外,南北山前沟谷地表水及基岩裂隙水的侧向补给也占有重要位置。由于盆地新构造运动强烈,断层活化,其很大程度上控制了地下水的补给、径流与排泄条件。

2.3.2 伊犁河谷基岩山区地下水系统(II)。北部自西向东分布着 NW—SE 走向的科古琴山、博罗科努山和依连哈比尕山等北天山支脉。南部自西向东分布着 NEE—SWW 走向的

哈尔克他乌山、那拉提山等南天山支脉。中部自西向东分布着铁木里客山、乌孙山、伊什基里克山及阿吾拉勒等山脉。基岩山区面积占整个研究区面积的70%，区内褶皱、断裂、节理、裂隙较发育，为地下水的分布、赋存和运移提供了良好的条件。区内丰富的降水和分布于山区丘陵的冰雪融水为地下水的补给提供了来源。大部分在强烈侵蚀切割的沟谷中以下降泉的形式出露，汇入地表径流。其中一部分在地表迳流过程中再次渗入和排泄，几经反复后仍转变为地表径流；另一部分则在地下潜流，通过沟谷中的松散堆积物或基岩断裂破碎带等，以侧向潜流的方式排泄于平原中。

(1) 科古琴山—婆罗科努山—依连哈比尕山地下水系统(Ⅱ₁)。分布于北界山区，断裂和褶皱基本控制了地下水的赋存和分布规律。当含水层被侵蚀切割破坏后，多有泉水出露。尤其在沟谷低洼区，泉水出露较多，起着排泄地下水的作用。主要以基岩裂隙水、碎屑岩裂隙孔隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水为主，在沟谷低洼处，多有泉水出露。在3 000 m以上发育高山冻结层水。

(2) 阿吾拉勒山地下水系统(Ⅱ₂)。分布在喀什河和巩乃斯河谷之间，为河间地块隆起区。以脆性岩层为主，构造控水作用明显，在强烈的构造作用下，广泛分布基岩裂隙水，在构造复合部位发育构造富水带；在铁木里—乌兰达板断陷盆地中，有松散岩类孔隙潜水和承压水分布。

(3) 伊什基里克山—那拉提山地下水系统(Ⅱ₃)。呈东西向横亘于伊犁—巩乃斯谷底和昭苏—特克斯盆地之间，山区构造作用强烈，构造发育，岩层破碎，赋存较丰富的层状岩类裂隙水和碎屑岩、碳酸盐岩类裂隙水。此外，在火成岩分布区，还贮存有块状岩类裂隙水。

(4) 哈尔克山地下水系统(Ⅱ₄)。位于研究区最南部的哈尔克山北坡，区内断裂发育，在向斜构造和背斜轴部赋存较丰富的基岩裂隙水。

3 结论

(1) 该研究以地下水系统理论为指导，以伊犁河谷地下水系统为研究对象，在全面分析研究区地形地貌、地质、水文地质条件基础上，依据地下水系统划分原则，将伊犁河谷地下水系统划分为2个一级地下水系统，7个二级地下水系统。并对一级、二级地下水系统特征进行了初步总结。

(2) 研究区受新构造运动的影响，河谷区大多为新生代断陷盆地，第四系沉积厚度大，以松散岩类孔隙潜水为主，局部地区分布承压水，河谷区是地下水的排泄区。基岩山区褶

皱、断裂、节理、裂隙较发育，构造控水作用十分明显，基岩山区内丰富的降水和冰雪融水为地下水的补给提供了重要来源，是地下水的主要形成区与径流区。

(3) 研究区水文地质调查程度较浅，本文是首次对伊犁河谷进行地下水系统划分，伊犁河谷地下水系统划分对正确评价和合理开发利用研究区地下水资源具有重要作用，对我国西北干旱—半干旱地区地下水系统研究具有实际参考价值和借鉴意义^[20]。

参考文献

- [1] 陈梦熊, 马凤山. 中国地下水资源与环境[M]. 北京: 地震出版社, 2002: 385-417.
- [2] 曹剑锋, 冷雪艳, 王福刚, 等. 河南境内黄河流域地下水系统划分与系统分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(3): 251-254.
- [3] 张人权. 水文地质学发展的若干趋向[J]. 水文地质工程地质, 1987(2): 1-2.
- [4] 国家技术监督局. 水文地质术语: GB/T 14157—93[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993: 8.
- [5] 王占和, 谏天德, 于德胜, 等. 塔里木盆地地下水系统划分[J]. 新疆地质, 2004, 22(3): 262-264.
- [6] TÓTH J. Cross-formational gravity-flow of groundwater: A mechanism of the transport and accumulation of petroleum (The generalized hydraulic theory of petroleum migration) [C]//ROBERTS W H I, CORDELL R J. Problems of petroleum migration. Tulsa, Oklahoma, USA: The American Association of Petroleum Geologists, 1980: 121-167.
- [7] TÓTH J. Groundwater as a geological agent: An overview of the cause, process, and manifestations [J]. Hydrogeology journal, 1999, 7(1): 1-14.
- [8] 侯光才, 张茂省, 刘方, 等. 鄂尔多斯盆地地下水勘查研究[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 46-51.
- [9] 侯光才, 林学钰, 苏小四, 等. 鄂尔多斯白垩系盆地地下水系统研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(3): 391-398.
- [10] 杨会峰, 王贵玲, 张翼龙. 中国北方地下水系统划分方案研究[J]. 地学前缘, 2014, 21(4): 74-82.
- [11] 邵杰. 新疆伊犁—巩乃斯河谷地下水循环演化规律研究[D]. 西安: 长安大学, 2015: 25-28.
- [12] 伊犁地区水利电力勘测设计院. 新疆伊犁地区地下水资源[R]. 伊犁: 伊犁地区水利电力勘测设计院, 1990: 36-41.
- [13] 邵杰, 李瑛, 井晶晶, 等. 新疆霍城县水环境同位素特征及其指示作用[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 167-172.
- [14] 邵杰, 李瑛, 侯光才, 等. 新疆伊犁河谷地下水水化学特征及其形成作用[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(4): 99-105.
- [15] 邵杰, 李瑛, 王文科, 等. 水化学在新疆伊犁河谷地下水循环中的指示作用[J]. 水文地质工程地质, 2016, 43(4): 30-35.
- [16] 邵杰, 李瑛, 侯光才, 等. 新疆伊犁河谷地下水循环演化特征[J]. 干旱区研究, 2017, 34(1): 20-25.
- [17] 王大纯, 张人权. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 6-8.
- [18] 张俊, 赵振宏, 尹立河, 等. 鄂尔多斯盆地内蒙能源基地地下水系统划分方法[J]. 工程勘察, 2011, 39(1): 57-63.
- [19] 高轮船. 新疆伊犁河谷地下水污染与防污性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2015: 23-25.
- [20] 李崇博, 褚宏宽, 宋玉, 等. 哈密盆地地下水系统划分及特征研究[J]. 新疆地质, 2016, 34(1): 139-143.
- [21] 郑宁, 马嘉伟, 王旭东, 等. 菌渣与化肥配施对水稻剑叶光合性能和产量的影响[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(3): 603-608.
- [22] 中国食用菌协会. 2017年度全国食用菌统计调查结果分析[R]. 2018.
- [23] 张向前, 曹承富, 陈欢, 等. 长期定位施肥对砂姜黑土小麦根系性状和根冠比的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(3): 382-389.
- [24] 李絮花, 杨守祥, 于振文, 等. 有机肥对小麦根系生长及根系衰老进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 11(4): 467-472.
- [25] 毛学森, 张永强, 沈彦俊. 冬小麦植被指数变化及其影响因子初探[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 35-36.
- [26] 李娜. 基于高光谱遥感的小麦农学参数及籽粒蛋白质含量监测模型构建[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.

(上接第20页)

- [2] 马征, 魏建林, 张柏松, 等. 金针菇菌渣有机肥对棉花产量及经济效益影响[J]. 中国食用菌, 2014, 33(2): 38-40.
- [3] 聂胜委, 李向东, 张玉亭, 等. 不同菌渣肥施用量对小麦产量及其构成因素的影响[J]. 河南农业科学, 2015, 44(6): 76-80.
- [4] 董雪梅, 王延峰, 史磊, 等. 黑木耳菌渣有机肥栽培玉米的应用[J]. 中国林副特产, 2016(6): 4-6.
- [5] 徐江兵, 林先贵, 王小明, 等. 施用茶树菇菌糠对青菜生长及土壤生物学活性的影响[C]//第八届全国环保肥料(农药)新技术、新产品交流会论文集. 北京: 中国腐殖酸工业协会, 2009: 123-126.