

基于土壤和地形约束的耕地识别方法研究 ——以锦西灌区为例

李保琦¹ 肖伟华^{1*} 杨明智¹ 孙青言¹ 宋长虹² 侯保灯¹ 董晓勇³

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;

2. 黑龙江省水利水电勘测设计研究院, 哈尔滨 150080;

3. 青海省水利水电勘测设计研究院, 西宁 810000)

摘要 为探讨土壤特性和地形特征这2个最为核心的耕地资源限制因子影响下的可用于耕地的土地资源,在前人研究的基础上,综合考虑土壤类型及其性质和地形影响,以ArcGIS分析工具为平台,构建耕地资源识别模型,对锦西灌区内可用于耕地的土地进行识别分析。结果表明:在锦西灌区1 200.59 km²的土地中,568.33 km²适宜耕地,较适宜耕地的面积为5.92 km²,改良后适宜的面积564.15 km²,仅62.19 km²不适宜耕地,不适宜耕地部分包括受土壤因素限制的34.19 km²和受地形影响的32.00 km²,综合考虑两方面的因素所得面积为62.19 km²。与传统的识别方法比较,本研究所构模型对最核心的限制因素进行综合考虑,可更全面、更客观、更精准的识别可用于耕地的土地资源。

关键词 耕地识别;土壤属性;地形特性;锦西灌区

中图分类号 Q938.1+3

文章编号 1007-4333(2017)08-0074-09

文献标志码 A

Cultivated land identification based on soil properties and terrain features identification: A case study of Jinxi irrigation area

LI Baoqi¹, XIAO Weihua^{1*}, YANG Mingzhi¹, SUN Qingyan¹, SONG Changhong²,
HOU Baodeng¹, DONG Xiaoyong³

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. Heilongjiang Province Water Conservancy and Hydropower Investigation, Design and Research Institute of
the Ministry of Water Resources, Harbin 150080, China;

3. Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Xining 810000, China)

Abstract Cultivated land resource identification is one of the most important technology to guarantee the safety of food strategy. Based on existing research, from the aspects of precipitation, productivity of cultivated land, potentiality of grain production and quality of cultivated land, a new model based on soil property and terrain features is presented to identify cultivated land resource in Jinxi irrigation area. The model is presented on the platform of ArcGIS. The results show that: Of the total 1 200.59 km², 568.334 km² is the most suitable for cultivation; 5.92 km² is more suitable to cultivate; The area of cultivated land reaches 564.15 km² after revision and the rest do not fit cultivate. By taking account of two features, the cultivated land is about 62.19 km². Compared to traditional methods, the new model is more comprehensive, objective and precise.

Keywords cultivated land identification; soil properties; terrain features; Jinxi Irrigation Area

收稿日期: 2016-08-18

基金项目: 黑龙江省水利科技项目(201305); 国家自然科学基金项目(51679252)

第一作者: 李保琦, 博士研究生, E-mail: tongyeti@163.com

通讯作者: 肖伟华, 教授, 主要从事水资源合理配置、水环境模拟与风险分析、水资源综合管理与保护和水资源高效利用等方面研究, E-mail: xwsen998@163.com

粮食是一种特殊的商品,是重要的战略物资,关乎国计民生和社会稳定^[1]。2010 年,我国首次成为全球进口美国农产品最多的国家^[2],粮食安全受到粮食进口国的制约,严重影响国家战略安全,粮食保障问题已经上升到国家安全战略的地位。与粮食产量紧密相关的耕地资源,不仅关系到土地资源的合理利用,还涉及到粮食供给和粮食安全^[3]。耕地是农业生产中不可替代的劳动对象、生产要素和空间场所^[4]。作为土壤的精华,耕地是人类获取粮食和其他农产品不可替代的生产资料^[5]。耕地资源的识别对国家粮食安全和农业可持续发展具有重要的意义,尤其在受自然和人类双重影响的今天,识别耕地资源对保障粮食安全和维护国家可持续发展具有长远的现实意义和强烈的实用价值。

长期以来,国内外很多专家学者在耕地资源的识别方面做了大量的工作。Natsuki 等^[6]从降水的角度对印度尼西亚西爪哇岛 Cidanau 流域典型水田区域进行了评估;Deng 等^[7]从耕地利用效率出发,探究了耕地资源转换的利弊,指出耕地要维持在一定数量;Yang 等^[8]从自然和社会两方面因素考虑,对中国历史耕地进行了重组;Zhang 等^[9]以试验田为基础,对中国粮食生产潜力进行了分区;Liu 等^[10]应用卫星影像针对耕地质量进行了耕地识别;Li 等^[11]从当前财政政策和税率入手对耕地进行了识别。刘洛等^[12]分析了 1990—2010 年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响,结果表明耕地数量对粮食产量存在着巨大影响;赵晓丽等^[13]对中国近 30 年耕地变化进行了分析,结果显示中国的耕地面积在持续减少,对粮食安全和区域可持续发展造成了巨大的影响;王霞等^[14]基于核函数支持向量回归机对耕地面积进行了预测,从统计学的角度对未来耕地进行了识别研究;土壤质量是耕地质量的主要要素之一^[15],耕地质量与土壤质量密切相关,闫一凡等^[5]分析了土壤属性与耕地地力的关系,表明土壤本身特性是耕地地力的构成要素之一;金涛^[16]就中国粮食生产和耕地利用效率进行了探讨,论述了耕地利用与粮食产量的关系;龙军等^[17]研究了地貌和耕地土壤有机质的关系,说明耕地识别与地貌和土壤有着密切的关系。

以上方法在核定耕地数量、挖掘耕地潜力、提高耕地效率和保障耕地资源等方面发挥了巨大作用。但在社会持续发展和技术不断进步的今天,新的环境要求耕地资源的识别必须对最关键的限制因素进

行综合考虑。在降水、耕地利用效率、粮食生产潜力、耕地质量等各种影响因子中,土壤特性和地形特征是耕地识别的关键部分,这 2 种因素是其他各种因素比如耕地潜力、耕地效率等的基础且属于自然因素而不易受人类影响。为了适应新的环境、满足更高的需求,本研究旨在从土壤属性和地面特性出发,基于土壤类型及其性质和地形特征,以 ArcGIS 分析工具为平台,构建耕地资源识别模型,以期从宏观角度识别耕地资源,鉴别各种土地利用类型中适宜耕种的土地,校核可以用于耕作的土地资源。

1 方法和数据

1.1 研究区域

粮食主产区是我国重要的粮食生产基地,“我国粮食主产区粮食产量占全国产量的 70%”^[18]。三江平原是中国粮食主产区^[19]之一,为保证黑龙江省粮食总产量和商品量一直稳居全国第一^[1]并为保障国家粮食安全作出了突出贡献。“十三五”期间,国家规划了三江平原配套灌区骨干工程,本研究选取了工程中的锦西灌区为典型灌区,进行耕地识别。研究区域位于黑龙江省东北部三江平原,介于黑龙江、松花江和乌苏里江之间,锦西灌区面积为 1 200.59 km²,灌区位置见图 1。本研究主要针对灌区内的土壤类型及其特性和基于海拔高度的地形、地势及坡度、坡向分析出适合耕地的分布区域及面积。

1.2 研究方法

以陆地卫星等航天遥感数据为主要信息源的三江平原配套灌区骨干工程土壤类型及 DEM 数据,经过 GIS 平台加工修正影像精度后,误差控制在一个像元以内,也就是 1:10 万比例尺的 0.3 mm 以内,判读定位误差在 0.25 mm 以内,出图精度可以达到最小单元,短板长度大于 4 个像元。投影采用全国统一的双标准纬线和中央经线,双标准纬线分别为 N47°和 N25°,中央经线为 E105°,为等面积割圆锥投影,即高斯克里格椭球体。

DEM 数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/search>),为 SRTM(Shuttle radar topography mission)90 m 分辨率数据。该数据由美国太空总署(NASA)和国防部国家测绘局(NIMA)联合测量,2003 年开始公开发布,研究中所用数据版本为经多次修订后的 V4.1 版本。研究中 DEM 主要用于考虑地形特性如地势、坡度和坡向

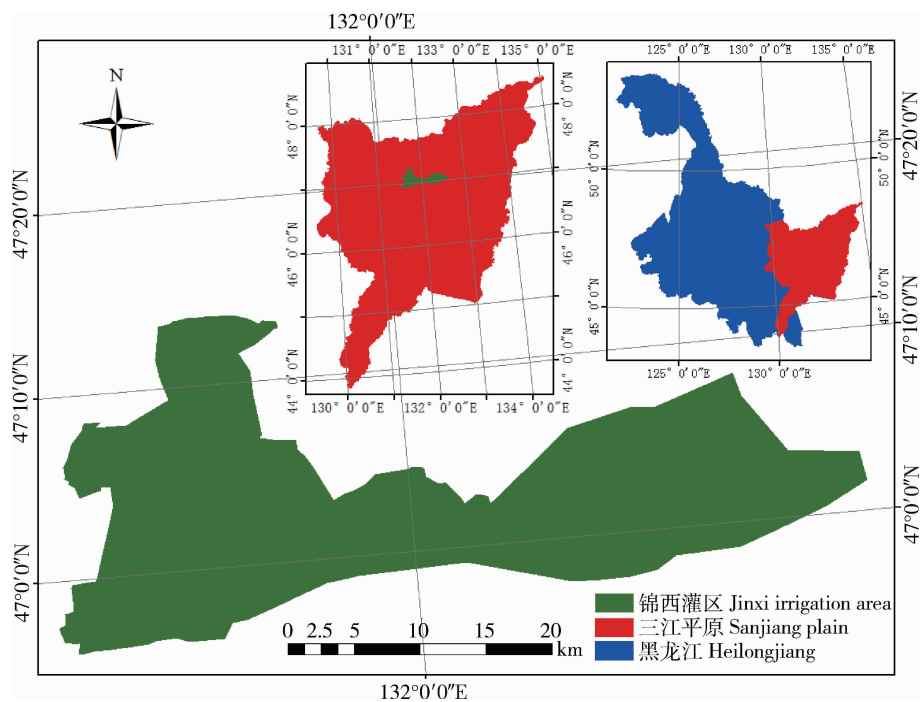


图 1 锦西灌区位置示意图

Fig. 1 Location of Jinxi irrigation area

对耕地资源识别的影响,为综合考虑影响耕地资源的关键因子提供基础数据支持。

中国土壤信息系统数据源来自中国土壤数据库和全国第二次土壤普查数据,基于原始纸质土壤图件通过数字化编制而成,此次研究采用 1:5 万系列。根据美国农部的土壤系统分类 ST (Soil taxonomy) 和 FAO 等国际组织制定的 WRB(World reference base for soil resources) 分类结合中国土壤发生分类将三江平原灌区土壤分为八类,分别为:草甸土、黑土、沼泽土、暗棕壤、白浆土、泥炭土、水稻土以及冲积土,锦西灌区包含了其中的 5 种:草甸土、黑土、沼泽土、暗棕壤和白浆土。土壤剖面属性数据引自《中国土种志》,包括:土壤砂粒含量、土壤粉粒含量、土壤粘粒含量、土壤容重、土壤田间持水量、土壤凋萎系数、土壤 pH、土壤全 N 含量等。

本研究利用 ARCGIS 软件,以 2014 年遥感影像数据为信息源,依靠遥感影像解译系统,识别灌区内土壤类型,并在 ArcMap 软件支持下进行图形编辑,分析各灌区的土壤类型及其分布区域和面积;然后从土壤特性入手,根据各类土壤的物理、化学特性,以土壤的水、肥、气、热状况为基础,并考虑地形特性的影响,将灌区划分为不适宜耕地的区域、较适宜耕地的区域、适宜耕地的区域和改良后适宜耕地

的区域四类;最后针对以上分析对灌区耕地种植提出综合治理途径,技术路线图如图 2 所示。

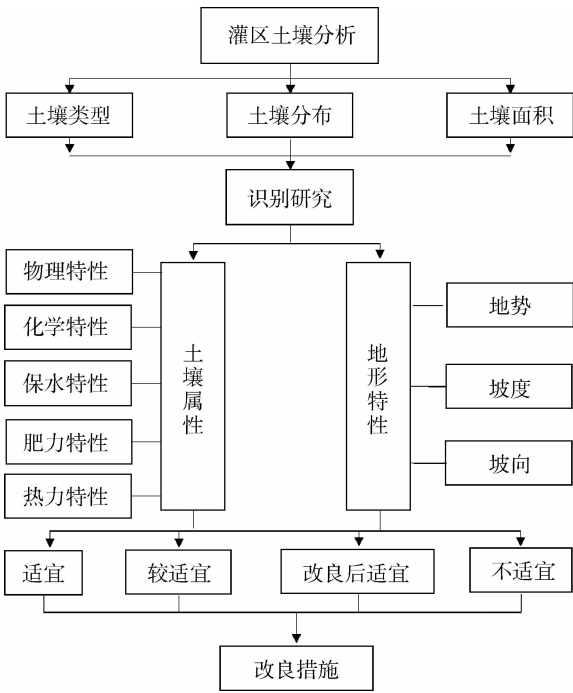


图 2 耕地资源识别技术路线图

Fig. 2 Technology roadmap for cultivated land identification

2 耕地资源的识别

2.1 典型灌区土壤分析

1) 土壤类型分析。

锦西灌区包含了三江平原所有的八类土壤中的 5 种,它们分别是暗棕壤、黑土、白浆土、草甸土和沼泽土。锦西灌区内土壤类型面积及所占比例见

表 1。

可以看出,锦西灌区草甸土面积最大,为 630.20 km²,占灌区总面积的 52.49%,其余依次为沼泽土、黑土和暗棕壤,分别占灌区总面积的 22.70%、21.01% 和 1.86%,白浆土所占比例最小,仅为灌区总面积的 0.99%。灌区土壤类型面积与现状耕地所涉土壤类型面积基本相符。

表 1 锦西灌区土壤类型面积及其比例

Table 1 Area of different soil types and their propotions in Jinxi irrigation area

项目 Items	草甸土 Meadow soil	黑土 Black soil	沼泽土 Boggy soil	暗棕壤 Dark brown soil	白浆土 Albic soils	合计 Total
面积/km ²	630.20	252.21	272.58	22.33	11.86	1 200.59
比例/%	52.49	21.01	22.70	1.86	0.99	100.00

2) 土壤特性分析及适宜程度划分。

土壤特性的研究,主要从土壤的物理、化学特性入手,使土壤的水、肥、气、热状况相协调,为农作物创造适宜的生长条件,达到高产稳产的目的。本研究主要从土壤的供水和蓄水能力、抗洪抗旱能力、养分状况以及通气状况来确定各类土壤种植耕地的适宜程度,以中国土壤数据库为主要依据来判定各类土壤的上述特性。

土壤的供水能力取决于土壤有效水分的含量,即田间持水量与凋萎含水量之差。而二者又因土壤的质地、结构、有机质含量等不同而有很大的差异。耕地土壤的凋萎含水量粘质土壤一般在 15%~20%(质量含水率),而壤质土壤在 10%~15%,说明粘质土壤的无效水较壤质土壤为高。田间持水量壤质土壤的为 20%~35%,粘质土壤的为 40%左右,且表层高于下层,故土壤的供水能力粘质土壤高于壤质土壤,耕层高于下层。

土壤的蓄水能力:壤质土壤大于粘质土壤,如松花江以北的壤质土壤透水性能好,易于接纳降水,渗透系数为 0.144~0.47 m/d,土层内最大有效蓄水量可达 350~370 mm/m;松花江以南的粘质土壤渗透系数仅为 0.1~0.01 m/d,土层内最大有效蓄水量 230~300 mm/m。特别是白浆土,由于白浆层紧实,无结构,透水性能极差,渗透系数<0.01 m/d,故白浆土的实际蓄水能力一般只限于表层,有效蓄水量仅在 100 mm 左右。

根据土壤的供水和蓄水特性,壤质土虽然蓄水能力高,抗涝能力强,但保水能力弱,有效含水量较低,故抗旱能力较差。粘质土则相反。

区内土壤表层的总孔隙度是较高的,一般在 55%左右,向下渐减至 40%左右。松花江以北的壤质土壤比江南的粘质土壤好,而以白浆土最差。

经过以上分析加之各土壤类型的理化性质,将土壤类型划分为不适宜耕作、较适宜耕作、适宜耕作和改良后适宜耕作四类,不适宜耕地是指土壤本身质量不佳经人工改良后仍不能用于耕地或土壤本身可以用于耕地但受限于地形而无法进行耕地作业,较适宜耕地是指土壤本身可以用于耕作,但不是最佳耕地土壤类型,适宜耕地是指最适合用来耕作的土壤,改良后适宜耕地是说土壤本身不适宜耕地,但经人为土壤改良之后可以用于耕地。三江平原 8 种土壤种类在土壤学中称为土类,而各土类又具体分为不同亚类,具体分类见表 2。根据文章所分四类土壤类型和土种分类,具体划分为①白浆土中的典型白浆土不适宜耕地;②草甸土中的白毡甸黄土较适宜耕地;③暗棕壤中的草甸暗棕壤、黑土中的草甸黑土、草甸土中的典型草甸土、泥炭沼泽土、淹育耕地田和耕地土适宜耕地;④其余的土壤种类在种植耕地时需要注意采取耕种措施。灌区内土壤适宜耕地种植程度的划分及其性状特点见表 3。

表 2 土种分类表
Table 2 Classification of soil species

土类	暗棕壤	白浆土	黑土	草甸土	沼泽土	泥炭土	水稻土	新积土
Great soil group	Dark brown soil	Albic soils	Black soil	Meadow soil	Boggy soil	Peat soil	Paddy soil	Alluvial soils
亚类	典型暗棕壤 白浆化暗棕壤 草甸暗棕壤 暗棕壤性土	典型白浆土 草甸白浆土 潜育白浆土	典型黑土 白浆化黑土 草甸黑土	典型草甸土 白浆化草甸土 潜育草甸土	典型沼泽土 草甸沼泽土 泥炭沼泽土	低位泥炭土	典型水稻土 淹育水稻土	冲积土

表 3 灌区土壤划分及其性状特点
Table 3 Soil assignment and their characters in Jinxi irrigation area

适宜程度	土壤种类	性状特点
Fitness level	Soil type	Characteristics
不适宜	典型白浆土	有机主成分贫瘠:有机质含量 4.25%,全氮 0.280%,碱解氮 193 mg/L,速效磷 12 mg/L,速效钾 157 mg/L。 白浆层结构不良,通气透水性能差,所以导致土壤冷浆,板结,耕性不良,粮食产量不高。
较适宜	白馅甸黄土	有机主成分相对贫瘠:有机质含量 6.08%,全氮 0.314%,速效磷 10 mg/L,碱解氮 217 mg/L,速效钾 189 mg/L。 腐殖质层薄,养分贮量低,肥力差。加上质地较粘,白浆层紧实、板结、冷浆、通透性差、易涝易旱,所以作物生长不良。
适宜	草甸暗棕壤、草甸黑土、典型草甸土、泥炭沼泽土、耕地土、淹育耕地田	有机质含量(以泥土沼泽土为例)26.67%,全氮 0.717%,碱解氮 346 mg/L,速效磷 28 mg/L,速效钾 226 mg/L。 质地适中,既保水保肥,又渗汤沥水,土性热潮,耕性好,适合各种作物生长,并高产稳产。
改良后适宜	潜育草甸土、白浆化黑土、黑土、草甸沼泽土、沼泽土、暗棕壤、白浆化暗棕壤、潜育白浆土、草甸白浆土、低位泥炭土、冲积土	各土种有机主成分含量基本满足耕地种植,但是有些问题需要在种植的时候注意采取一些措施。 潜育草甸土土壤质地较粘,排水不良,季节性积水;白浆化黑土质地较粘,土壤通透性差,易涝,多为坡耕地,水土流失严重;黑土质地粘重,耕性不良,通气透水性能差,多为坡耕地,易引起水土流失;草甸沼泽土质地粘重,通气透水性不良,有季节性积水;沼泽土地势低洼,有积水,夏秋季易涝;暗棕壤养分贮量低,水土流失严重;白浆化暗棕壤结构不良,致使养分贮量少,通气透水性能差,土壤肥力低,易旱易涝;潜育白浆土质地较粘,通气透水性差,土壤过湿,耕性不良;草甸白浆土质地较粘,通气透水性差,耕性不良;低位泥炭土地势低洼,地面有季节性或者长期积水;冲积土肥力水平低,易受江河水泛滥影响。

2.2 典型灌区地形分析

锦西灌区位于三江平原腹地,海拔较低,地势平坦,地形起伏不大,基本符合农田种植的条件(图 3 和图 4)。由图 3 可知,锦西灌绝大多数地区海拔为

50~100 m,且起伏不大地势平坦,为平坦广袤的平原区,基本不会对耕地种植造成不利影响,只是在灌区西部存在一处海拔最高为 468 m 的高岗,此高岗有 2 处高地组成两,处高地海拔在 200 m 以上的面

积约为 25 km²，不利于土地耕作。在高岗南面存在一处狭长的地带，海拔 100~200 m，按照海拔高于 200 m 不利于耕作的标准，此狭长地带不会对耕作造成影响。相应的，从图 4 可以看出，灌区内地势坡度除西面的高坡外几乎全部为 0°~1.73°，这也为耕地种植提供了有利的条件，便于耕地种植范围的扩大和种植规模的规划。按照坡度>7°不利于耕作的

标准，锦西灌区只在灌区西面的高岗和海拔较高的狭长地带地形坡度>7°，故此处因受地形限制无法进行耕作。锦西灌区受地势坡度影响的面积为 28 km²。

3 结果分析

3.1 锦西灌区耕地识别

表 4 和图 5 给出了进锦西灌区耕地识别结果，其中不适宜耕地的部分包括受土壤特性限制和地形因素(包括地势和坡度)两部分内容，受土壤特性限制的部分锦西灌区中其面积为 34.19 km²，占灌区总面积的 2.84%，受地形因素中地势限制不适宜耕地的面积为 25.00 km²，受坡度影响不适宜耕地的面积为 32.00 km²，其中坡度因素包括了地势因素，故取 32.00 km² 为地形因素限制结果约占灌区总面积的 2.67%。综合考虑两方面的影响因素锦西灌区不适宜耕地的面积为 62.19 km²，占灌区总面积的 5.17%。灌区内较适宜耕地的面积为 5.92 km²，占灌区总面积的 0.49%，这类土壤在种植时需要特别注意采取适当的耕作措施。

适宜耕地种植的土壤总面积 568.33 km²，占灌区总面积的 47.34%。这些土壤适合各种作物生长，并高产稳产。

在进行耕地时需要进行土壤改良的部分面积为 564.15 km²，占灌区总面积的 46.98%。这部分在种植耕地时需要引起特别的注意。

综上，根据各类土壤的物理、化学特性，以土壤的水、肥、气、热状况为基础，并考虑地形特性的影响所划分得到的适宜、较适宜、改良后适宜和不适宜四类土地在锦西灌区的面积分别为 568.33、5.92、

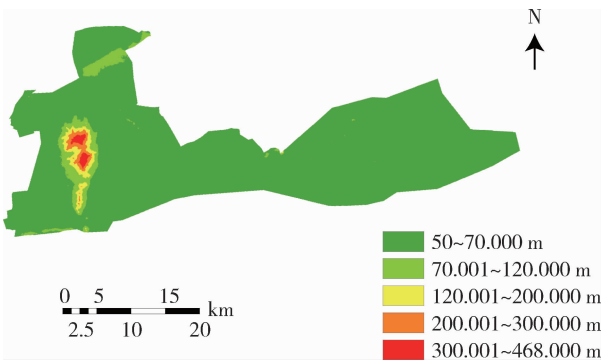


图 3 锦西灌区地形图

Fig. 3 Topographic map of Jinxi irrigation area

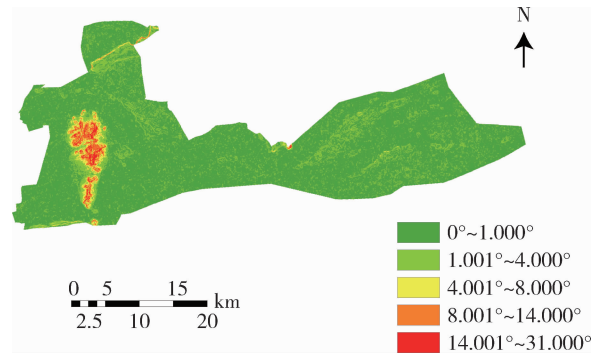


图 4 锦西灌区坡度图

Fig. 4 Slope map of Jinxi irrigation area

表 4 锦西灌区耕地识别结果

Table 4 Results for cultivated land identification of the Jinxi irrigation area

项目 Items	不适宜 Little fit			较适宜 Less fit	适宜 Fit	改良后适宜 Modified suitable
	土壤特性因素 Soil characteristics factors	地形因素 Terrain factor				
		地势 Topography	坡度 Slope			
面积/km ²	34.19	25.00	32.00	5.92	568.33	564.15
比例/％	2.84	2.08	2.67	0.49	49.67	46.98

564.15 和 62.19 km², 占灌区面积的比例分别为 49.67%, 0.49%, 46.98%, 5.17%, 可知在锦西灌区内将近一半的土地可以直接用于耕地并且高产稳产, 一少半的土地改良后可以用于耕地, 改良措施见 3.2 部分, 只有很少的部分(0.49%)属于较适宜耕地部分, 在用于耕地时需要采取适当的耕作措施, 由于锦西灌区位于三江平原, 受地形限制而不能用于耕地的土地很小, 为 2.67%, 加之土壤特性限制而不适宜耕地的面积也只不过灌区总面积的 5.17%, 可以用于他途。

为了便于对耕地识别结果进行验证, 将文中耕地识别结果分为可用于耕地和不可用于耕地两部分, 其中用于耕地部分包括适宜、较适宜、改良后适宜合三类, 不适宜为不可用于耕地部分。研究中所

构模型计算结果与文献[5]和文献[10]计算结果进行了对比, 具体见表 5。

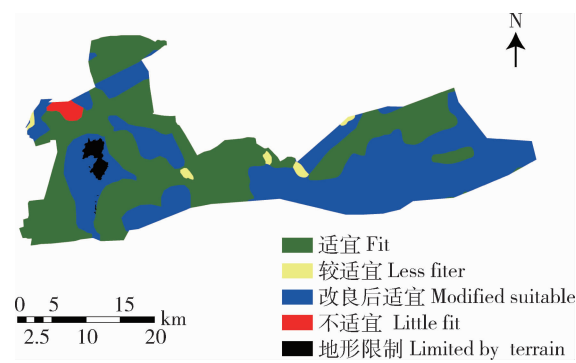


图 5 耕地识别结果图

Fig. 5 The results map of cultivated land identification

表 5 耕地识别结果对比表

Table 5 Results comparison of cultivated land identification

耕地类型	本研究	文献[5]	文献[10]
Cultivated land type	In this research	Reference [5]	Reference [10]
可用于耕地	1 138.40	1 166.40	1168.59
不可用于耕地	62.19	34.19	32.00

由表 5 可知, 研究中所构模型对土壤属性和地形特征进行综合考虑, 得出锦西灌区不可用于耕地的面积为 62.19 km², 而文献[5]从土壤属性与耕地地力的关系进行分析, 所得不可用于耕地的面积为 34.19 km², 文献[10]应用卫星影像针对耕地质量所进行耕地识别的结果为 32.00 km², 可以看出研究所构模型较单纯考虑土壤属性或地形特征所得结果更全面、更客观和更精准。

3.2 灌区土壤改良措施

在不适宜、较适宜、适宜和改良后适宜 4 种类型中, 锦西灌区改良后可耕作的面积为 564.15 km², 占灌区总面积的 47.77%, 具体改良措施如下。

岗坡地开垦早, 坡度大, 水土流失严重, 造成瘠薄、干旱。在治理措施上首先把土放在第一位, 在平地、深翻、改良土壤上狠下功夫, 适度退耕还林。实行横坡打垄, 深翻改土, 压绿肥, 增施有机肥, 并推行纵横交替, 深浅交替和平垄结合, 翻耕结合的耕作法。

松花江以南的平地 and 洼地, 地形平坦, 土质黏重, 低洼易涝。在治理途径上首先根据各分区的水土资源条件, 发展耕地, 以稻治涝, 然后是排水治涝,

大搞深翻改土, 并逐步发展旱灌。松花江以北的低平地区, 地形平坦, 一般土壤砂性较大, 局部地区也有黏土。在治理途径上: 排灌结合, 修建条田, 改土、平地, 发展灌溉。

本区土壤盐渍化的面积很小, 盐渍土的成土母质是碳酸盐含量较高的粘土, 是土壤盐碱化的主导因素。随着三江平原的开发治理, 经过疏通河道, 防洪、排涝和系统排水; 并同时采用深翻深松、客土、施肥、平整土地等改土治水相结合的综合措施, 则本区的盐碱土是完全可以防治和改良的。

4 结 论

本研究在分析灌区土壤类型及其特性和地形要素的基础上, 基于 ArcGIS 平台, 探究了锦西灌区耕地的潜力, 不难发现:

1) 根据所建模型将灌区分为适宜耕地、较适宜耕地、改良后适宜耕地和不适宜耕地四类, 锦西灌区总面积 1 200.59 km², 其中 568.33 km² 适宜耕地, 其比例达到整个灌区的 47.33%, 较适宜耕地的面积为 5.92 km², 改良后适宜的面积为 564.15 km², 占灌区总面积的 46.98%, 不适宜耕地的面积为

62.19 km², 占灌区总面积的 5.17%。

2) 不适宜耕地的部分由土壤特性和地形特征两方面确定, 其中土壤特性确定的面积为 34.19 km², 地形特性确定不适宜耕地的面积为 32.00 km², 综合考虑土壤和地形两方面的因素, 既受土壤限制又受地形影响的面积为 4.00 km², 得出锦西灌区不适宜耕地的面积为 62.19 km²。如果使用过去的单一因素评估方法, 只能得出受土壤特性限制的 34.19 km² 和受地形特征影响的 32.00 km², 而不能综合考虑两方面的影响。本方法既抓住了限制因素中最关键的部分, 又避免了单纯考虑一种因素而使可用于耕地的土地偏大的缺陷, 将关键因素综合考虑使所得结果更加客观、数据更加精准。

3) 在灌区内施行耕地时, 改良措施包括: ①岗坡地的治理: 灌区内岗坡地很少, 主要措施有横坡打垄, 深翻改土, 压绿肥, 增施有机肥, 并推行纵横交替, 深浅交替和平垄结合, 翻耕结合的耕作法; ②平地 and 洼地的治理: 需要排灌结合, 修建条田, 改土、平地, 发展灌溉; ③土壤盐渍化问题: 灌区土壤盐渍化的面积很小, 采用深翻深松、客土、施肥、平整土地等改土治水相结合的综合措施即可。

综上, 从土壤和地形两方面最关键的因素综合进行耕地识别, 可以更全面的考虑耕地的影响因子和限制因素, 所得结果更加客观、数据更加精准。在所分的 4 种类别中, 只有不适宜的种类是不可用于耕地的, 其面积为 62.19 km², 仅占灌区面积的 5.17%, 也就是说灌区 94.83% 的面积是可以耕地的, 或者说经过改善和采取各种措施就适合耕地, 这说明锦西灌区的耕地种植潜力是非常巨大的, 在耕地现状种植的情况下还有很大的空间可以提升, 只要灌溉等工程规模符合要求, 就会大幅提升耕地总产量, 为国家粮食安全战略提供可靠的支撑和保障。

参考文献 References

[1] 孙绍全, 钟建国. 做中国粮食梦的践行者[J]. 经营管理, 2013, (5): 23-25
Sun S Q. To be the practitioners of China's grain dreams[J]. *Jing Ying Guan Li*, 2013, (5): 23-25 (in Chinese)

[2] 张海蛟, 张正河. 中国粮食主产区粮食生产发展路径研究[J]. 粮食科技与经济, 2013(3): 5-7
Zhang H J, Zhang Z H. Developing path of grain production in the major grain producing areas in China[J]. *Food Science and Technology and Economy*, 2013(3): 5-7 (in Chinese)

[3] Gao Z Q, Liu J Y, Cao M K, Li K R, Tao B. Impacts of land-use and climate changes on ecosystem productivity and carbon cycle in the cropping-grazing transitional zone in China[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2005, 48(9): 1479-1491

[4] 杜国明, 刘彦随. 黑龙江省耕地集约利用评价及分区研究[J]. 资源科学, 2013, 35(3): 554-560
Du G M, Liu Y S. Evaluating and zoning intensive utilization of cultivated land in Heilongjiang Province[J]. *Resources Science*, 2013, 35(3): 554-560 (in Chinese)

[5] 闫一凡, 刘建立, 张佳宝. 耕地地力评价方法及模型分析[J]. 农业工程学报, 2014(5): 204-210
Yan Y F, Liu J L, Zhang J B. Evaluation method and model analysis for productivity of cultivated land[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(5): 204-210 (in Chinese)

[6] Yoshikawa N, Shiozawa S. Estimating variable acreage of cultivated paddy fields from preceding precipitation in a tropical watershed utilizing Landsat TM/ETM[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 85(3): 296-304

[7] Deng X, Gibson J, Wang P. Management of trade-offs between cultivated land conversions and land productivity in Shandong Province[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, S1(2): 767-774

[8] Yang X H, Jin X B, Guo B B, Long Y, Zhou Y K. Research on reconstructing spatial distribution of historical cropland over 300 years in traditional cultivated regions of China[J]. *Global and Planetary Change*, 2015, 128: 90-102

[9] Zhang J K, Zhang F R, Zhang D, He D X, Zhang L, Wu C G, Kong X B. The grain potential of cultivated lands in Mainland China in 2004[J]. *Land Use Policy*, 2009, 26(1): 68-76

[10] Liu Y, Zhang Y, Guo L. Towards realistic assessment of cultivated land quality in an ecologically fragile environment: A satellite imagery-based approach [J]. *Applied Geography*, 2010, 30(2): 271-281

[11] Li Y, Wu Q. Quantitative change of cultivated land based on the current system of finance and taxation [J]. *China Population Resources & Environment*, 2007, 17: 119-123

[12] 刘洛, 徐新良, 刘纪远, 陈曦, 宁佳. 1990—2010 年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响[J]. 地理学报, 2014, 69(12): 1767-1778
Liu L, Xu X L, Liu J Y, Chen X, Ning J. Impact of farmland changes on production potential in China during recent two decades[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(12): 1767-1778 (in Chinese)

[13] 赵晓丽, 张增祥, 汪潇, 左丽君, 刘斌, 易玲, 徐进勇, 温庆可. 中国近 30a 耕地变化时空特征及其主要原因分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 1-11
Zhao X L, Zhang Z X, Wang X, Zuo L J, Liu B, Yi L, Xu J Y. Analysis of Chinese cultivated land's spatial-temporal changes and causes in recent 30 years[J]. *Transactions of the Chinese*

Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(3): 1-11 (in Chinese)

[14] 王霞,王占岐,金贵,杨俊. 基于核函数支持向量回归机的耕地面积预测[J]. 农业工程学报, 2014(4): 204-211
Wang X, Zhang Z Q, J G, Yang J. Land reserve prediction using different kernel based support vector regression [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, (4): 204-211 (in Chinese)

[15] 陈印军,肖碧林,方琳娜,马宏岭,杨瑞珍,易小燕,李倩倩. 中国耕地质量状况分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3557-3564
Chen Y J, Xiao B L, Fang L N, Ma H L, Yang R Z, Yi X Y, Li Q Q. The quality analysis of cultivated land in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(17): 3557-3564 (in Chinese)

[16] 金涛. 中国粮食生产时空变化及其耕地利用效应[J]. 自然资源学报, 2014, 29(06): 911-919
Jin T. Effects of cultivated land use on temporal-spatial variation of grain production in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(06): 911-919

[17] 龙军,张黎明,沈金泉,周碧青,毛艳. 复杂地貌类型区耕地土壤有机质空间插值方法研究[J]. 土壤学报, 2014, 2014, 06: 1270-1281
Long J, Zhang L M, Shen J Q, Zhou B Q, Mao Y. Spatial interpolation of soil organic matter in farmlands in areas complex in landform[J]. *Aata Pedologica Sinica*, 2014, 06: 1270-1281 (in Chinese)

[18] 陆福兴. 粮食主产区公共产品投入的稳定增长机制研究[J]. 粮食科技与经济, 2013(02): 12-14
Lu FX. A study on the stable increasing mechanism of public products in major grain producing areas[J]. *Grain Since and Technology and Economy*, 2013(02): 12-14 (in Chinese)

[19] 相慧,孔祥斌,武兆坤,武兆坤,史婧然,张青璞. 中国粮食主产区耕地生产能力空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2012(24): 235-244
Xiang H, Kong X B, Wu Z K, Shi J R, Zhang Q P. Spatial distribution characteristics of potential productivity of arable land in main crop production area in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(24): 235-244 (in Chinese)

[20] 李静. 黑龙江省粮食生产影响因素研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014
Li J. Research on the factor of analysis of grain-production in Heilongjiang Province [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014 (in Chinese)

责任编辑: 王燕华