黄土旱塬区新增耕地质量等别及粮食产能影响因素

周 欣 花

(甘肃省自然资源规划研究院，甘肃 兰州 733000)

摘 要：[目的] 对黄土旱塬区新增耕地质量等别及粮食产能的影响因素进行分析，为实现黄土旱塬区耕地保护和提高粮食安全保障提供理论依据。[方法] 以陇中黄土旱塬区甘肃省白银市景泰县 2015—2017 年 3 个耕地占补平衡项目为例，以新增耕地的 7 种农用地分等因素为依据，对新增耕地耕地的质量等别和粮食产能进行计算，同时对新增耕地的土壤理化特性进行分析，并利用计量经济学 Logistic 回归模型，从构成新增耕地质量的主要因素入手分析各因素对粮食产能的影响。[结果] 景泰县占补平衡项目的实施，使新增耕地等别提高 1～2 个等别。粮食产能与新增耕地平均等别呈显著的正相关关系，水浇地以占总新增耕地91.84%的面积，创造了比例为 93.36%的总粮食产能。新增耕地年限 3 a 时，土壤结构破坏率较 1 a 时降低了 2.05%，土壤抗侵蚀能力得到显著提高，土壤全氮、有机质及速效钾分别较 1 a 时提高了10.67%，15.39%以及 13.62%。耕种 5 a，4 a，3 a 项目单位面积产能较项目未实施时粮食产能分别提高 15.69%，9.80%和 3.92%。[结论] 5 项因素对新增耕地粮食产能影响程度表现为：新增耕地质量等别＞新增耕地基础设施＞新增耕地面积＞新增耕地单位面积投资＞新增耕地年限，因此要将新增耕地粮食产能提高的着力点放在耕地质量等别的提高方面。

关键词：黄土旱塬；新增耕地；耕地等别；粮食产能；土壤理化特性

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2020)04-0237-07 **中图分类号**：X826

文献参数：周欣花. 黄土旱塬区新增耕地质量等别及粮食产能影响因素[J]. 水土保持通报，2020，40(4)：237-243. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2020.04.032；Zhou Xinhua. Quality Grades of newly cultivated land and factors influencing grain productivity in loess tableland area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(4):237-243.

Quality Grades of Newly Cultivated Land and Factors Influencing Grain Productivity in Loess Tableland Area

Zhou Xinhua

(*Gansu Natural Resources Planning Institute*, *Lanzhou*, *Gansu* 733000, *China*)

Abstract: [Objective] The newly cultivated land classification and the factors influencing grain production capacity in the arid loess tableland area were analyzed in order to provide a theoretical basis for farmland protection and food security improvement in this area. [Methods] Taking the three "balance of farmland occupation and compensation" projects between 2015—2017 in Jingtai County in Central Gansu Province of Loess Plateau as an example, 7 agricultural land classification factors of newly cultivated land were selected to calculate the quality grades of newly cultivated land and grain production capacity. At the same time, the soil physical and chemical properties of newly cultivated land were analyzed, and a logistic regression model was used to analyze the impact of various factors on food production capacity from the factors influencing the quality of newly cultivated land. [Results] The implementation of land occupation-compensation balance project in Jingtai County increased the quality grades of newly cultivated land by 1 to 2 grades. There was a significant positive correlation between the grain production capacity and the average grade of newly cultivated land. Irrigated land accounted for 91.84% of the total newly cultivated land with a total grain production capacity of 93.36%. When the age of new cultivated land was 3 years, the soil structure destruction rate was reduced by 2.05%, compared with that of 1 year, soil erosion resistance was significantly improved, and soil

收稿日期：2020-01-11 **修回日期**：2020-05-21

资助项目：中华人民共和国自然资源部"甘肃省耕地质量分等更新项目"

第一作者：周欣花(1980—)，女(汉族)，甘肃省古浪县人，硕士，高级工程师，主要从事土地利用、规划方面的研究工作。Email：774695316@qq.com。

total nitrogen, organic matter, and available potassium increased by 10.67%, 15.39%, and 13.62%, respectively. After planting for 3 to 5 years, the production capacity per unit area of 5 a cultivation, 4 a cultivation and 3 a cultivation projects was increased by 15.69%, 9.80% and 3.92%, respectively, compared with the unimplemented grain production capacity. [Conclusion] The impact of 5 factors on the grain production capacity of newly cultivated land is as follows: the levels of newly cultivated land> infrastructure in newly cultivated land> newly cultivated land area> investment in newly cultivated land unit area > years of newly cultivated land. Therefore, the focus of increasing the grain production capacity of newly-added cultivated land should be put on increasing the quality grade of cultivated land.

Keywords: arid-highland of Loess Plateau; newly cultivated land; quality grades of cultivated land; grain productivity; physical and chemical properties of soil

耕地资源是农业生产的基础和维护粮食安全的重要保障,中央农村工作会议也明确提出了对现有耕地质量数量加强保护的基本要求[1-2]。而占补平衡项目的实施,既缓解了现有建设用地指标不足带来的巨大压力,同时也通过新造耕地,补充了耕地数量、提高了耕地质量,保障了国家 1.20×10^8 hm^2 耕地红线不动摇战略决策[3-4]。但根据现实生产实际来看,耕地数量增加已不能完全作为补充耕地的第一要务,对耕地质量的要求已变得越来越举足轻重,各地区出现了以旱地改水浇地、旱地改水田以及水浇地改水田进而提高耕地质量的举措[5]。现阶段,耕地等别和粮食产能已成为综合反映和评价耕地质量和数量的重要因素[6],因此,如何提高新增耕地质量对提高粮食产能具有显著影响。而对占补平衡项目区开展耕地质量评价,有利于更好的指导占补平衡项目的开展与进行,为占补平衡项目的实施提供耕地质量参考依据。截止目前,已有较多研究从耕地数量[7-8]、耕地质量[9-11]以及耕地资源[12-13]等方面对粮食产能的影响进行了报道,对科技投入、生产条件以及资源配置等[14-16]对耕地质量的影响也进行了研究,同时也利用空间统计分析、加权平均等方法分析了区域耕地质量等别限制因素及其提升对策[17-18]。新增耕地质量影响因素较多,基于粮食安全耕地质量影响因素对粮食产能的影响是目前耕地保护方面研究的热点和难点。因此,本文以典型的陇中黄土旱塬区甘肃省景泰县 2015—2017 年 3 个年耕地占补平衡项目为例,对新增耕地的质量等别和粮食产能进行计算,并利用计量经济学 Logistic 回归模型,从构成新增耕地质量的主要因素入手分析各因素对粮食产能的影响,为实现黄土旱塬区耕地保护和提高粮食安全保障提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于甘肃省白银市景泰县寺滩乡,地理坐标位于东经 103°33′—104°43′,北纬 36°43′—37°38′,该区地形复杂多样,地势西高东低,项目区为典型的侵蚀堆积黄土丘陵地貌。年平均气温 10.2 ℃左右,无霜期 141 d,年平均日照 2 669.7 h,属温带大陆性干旱气候,海拔在 1 485～1 598 m,年平均冻土深度为 1 m,年平均降雨量 163.7 mm,其中 7—9 月降雨量约占全年降雨量的 70%以上。项目区内土壤以淡灰钙土为主,土层深厚,耕性良好,熟化层厚 30—60 cm,为粉沙轻壤—中壤,土壤养分的平均含量:有机质 1.09%,全氮 0.06%,速效钾 171.8 ppm,速效磷 7.9 ppm,pH 值 7.5,土壤容重 1.4 g/m^3,田间持水率 24%,pH 值 8.1 左右,土壤肥沃,通透性良好,土质富含农作物生长的各种营养成分。研究区主要种植作物类型为春小麦,熟制为一年一熟。耕地类型以旱地和水浇地为主,其中旱地 57.45%,水浇地 42.55%,根据《景泰县 2019 年耕地质量分等更新项目》内容,研究区国家级耕地质量各等别集中在 12—14 等。新增耕地采用工程措施主要为将表层 0—50 cm 深度范围土壤进行表土剥离,在通过工程机械提高田块平整度,将原有条件较好的其他草地平整后进行表土回填,最后再通过旋耕施肥。项目区灌溉用水主要来源于引大入秦工程——景泰县戈壁农业调水工程,通过引大入秦工程东二干渠引水干管引入项目区,设计流量 0.42 m^3/s,年供水量为 4.15×10^6 m^3,可以满足项目区灌溉需求。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

耕地质量等别评价是对各等别耕地的空间分布、面积以及各分等单元的自然、利用和经济属性等的综合评价,对明确土地整治项目区耕地质量的限制性因素以及项目实施后所要达到的耕地质量级别具有重要作用,因此耕地质量等别评价在土地整治项目中已得到广泛的应用,可作为土地利用总体规划的基础依据和资料。本研究所使用的主要数据来源包括:①景泰县耕地质量等别评定成果。景泰县 2015—2017 年度完成的耕地质量等别补充完善成果,包括图件、数据库、表册和报告等,由此获得土地利用系

数、土地经济系数、作物产量比系数、光温生产力潜力指数、气候生产潜力指数等数据。②土地变更调查数据库。景泰县 2017 年更新评价的土地变更调查数据库。③土地利用现状数据。景泰县自然资源局提供的基于全国第二次土地调查土地利用调查结果的现状图、地形图、等高图、土壤类型图等。④土地利用总体规划数据来源于景泰县土地利用总体规划(2006—2020 年)。⑤其他资料：包含项目立项、测量、规划设计、竣工、复核报告、土壤检测化验报告、水质监测报告、环境监测报告等相关资料。

2.2　制定作物分等因素及相关参数获取

依据《甘肃省农用地分等技术规定》，景泰县属中黄土高原区陇中青东丘陵农牧区，其标准耕作制度为春小麦，一年一熟。春小麦的光温生产潜力指数为 1 581，气候生产潜力为 262。景泰县以春小麦为基准作物，其指定作物产量比系数为 1.00。有灌溉设施的耕地采用光温生产潜力，缺乏灌排保障设施的耕地采用气候生产潜力。依据《农用地质量分等推荐因素及其分级、分值和权重》，汇总出景泰县农用地分等补充成果中指定作物的限制因子指标值、权重、级别和自然质量分。选取地形坡度(权重为 0.27)、地表岩石露头度(权重为 0.05)、有效土层厚度(权重为 0.16)、表层土壤质地(权重为 0.15)、土壤有机质含量(权重为0.13)、土壤 pH 值(权重为 0.06)以及灌溉保证率(权重为 0.18)作为分等因素。

2.3　样品采集及分析方法

在白银市景泰县 2015—2017 年选取不同耕种年限的 3 个占补平衡项目〔分别记为 Z_1(1 a)，Z_2(2 a)，Z_3(3 a)〕范围内进行土样选择，选择 10 个样地面积为 20 m 20 m 的研究小区，按对角线法设调查样方 3 个(即 3 次重复)，样方面积为 2 m×2 m，在 10 块标准地的 30 个样地内，每个样地采用直径为 10 cm 的土钻在每个样方中心位置采样，取土样深度为 0—30 cm，取 1 000 g 土样，用四分法将多余的土壤弃去。全氮(TN)采用半微量凯氏法测定；土壤有效磷采用紫外可见分光光度计测定；速效钾用乙酸铵提取—火焰光度计法；有机质用重铬酸钾氧化外加热法(检测仪器：油浴锅 DU-30G)。同时对表层 0—30 cm 范围内的原状土样，并保存其原有结构状态进行土壤物理性质测定[19-20]。土壤粒度及微团聚体采用粒度分析仪测定。

2.4　研究方法

①获取 2015—2017 年度内新增耕地图斑，将最近一期耕地质量等别图与最新土地利用现状图的耕地图层进行叠加，提取 3 个典型新增耕地图斑，形成年度更新评价数据。②评价新增耕地的质量等别信息通过项目资料、确认新增耕地的质量等别情况及相关属性信息，再通过外业补充调查进行检验，按照《农用地质量分等规程(GB/T28407-2012)》和耕地质量等别补充完善工作确定的技术方法和参数，对新增耕地进行耕地质量等别评定。③对占补平衡项目新增耕地土壤理化特性进行分析，揭示不同占补平衡项目年限对耕地土壤物理性质和化学性质的影响。④对新增耕地粮食产能影响因素进行分析。基于新增耕地粮食产能角度来看，新增耕地面积、新增耕地等别、新增耕地基础设施(含道路条件、灌排设施等)、新增耕地单位面积投资、新增耕地年限等对新增耕地粮食产能具有较大意义。本文以有序多分类 Logistic 回归模型对新增耕地粮食产能进行回归分析。

2.4.1　*新增耕地产能计算方法*　新增耕地产能的计算公式为：

粮食产能＝新增耕地面积×

(D－新增耕地平均质量等别)×15×100 kg　(1)

式中：D 为指产能计算常数，$D\leqslant 16$(当产能为 0 时，$D=16$)。

2.4.2　*新增耕地粮食产能影响因素分析*　基于新增耕地粮食产能角度来看，新增耕地面积、新增耕地等别、新增耕地基础设施(含道路条件、灌排设施等)、新增耕地单位面积投资、新增耕地年限等对新增耕地粮食产能具有较大意义。有序多分类 Logistic 回归模型通常适用于因变量有序且是多分类的，本文将粮食产能提升情况划分为 3 个等级，则该 Logistic 回归模型为 3 分类 Logistic 回归模型(见表 1)。

$$\ln=\frac{p(y-1)}{1-p(y=1)}+\alpha+\sum_{i=1}^{k}\beta_i X_i \qquad (2)$$

式中：因变量 Y 有 3 个等级，低产能为“1”，中产能为“2”，高产能为“3”。自变量即影响因素有：新增耕地面积 X_1，新增耕地等别 X_2，新增耕地基础设施 X_3，新增耕地单位面积投资 X_4，新增耕地年限 X_5。本研究回归测算通过 SPSS 统计软件完成。

2.5　数据统计分析

采用 Excel 分析软件处理试验数据，同时采用 SPSS 11.5 软件进行统计学分析，并对相关指标进行显著性分析，显著性水平为($p<0.05$)。

3　结果与分析

3.1　景泰县 2015－2017 年新增耕地等别计算结果

本文选取景泰县 2015—2017 年 3 个耕地占补平衡项目，整治总面积 115.56 hm^2，新增耕地 105.98 hm^2，其中水浇地 97.33 hm^2，旱地 8.65 hm^2。本文

采取“因素法”对项目新增耕地等别进行评价，采取的评价方式严格按照《农用地质量分等规程》进行评价因素指标体系和评价系数沿用耕地质量等级补充完善成果工作中采用的参数。表 2 为 2015—2017 年选取的 3 个景泰县占补平衡项目国家级自然等指数、利用等指数、经济等指数计算结果。整体来看，2015—2017 年在景泰县实施占补平衡项目新增耕地平均等别范围在 11—12 等之间。根据景泰县 2015—2017 年度耕地质量等别年度更新评价成果，景泰县项目区周边耕地质量国家级自然等别 11—12 等，国家级利用等别 11—12 等，国家级经济等别 12—13 等，平均等别为 11—12 等，因此可以看出，通过占补平衡项目的实施可以将新增耕地提升 1—2 个等别，此外，根据白银市耕地占补平衡动态监管系统查询可知，本文选取的 3 个补充耕地项目被占用的耕地平均等别为 12 等，因此占补平衡项目的实施得到新增水浇地等别高于被占用耕地 1 个等别，旱地等别与被占用耕地等别相同。这主要是在相关工程措施的投入下，增加了有效耕地面积，且提高了田间水利配套设施和改善了道路条件，通过土壤旋耕施肥的进行，增加了土壤养分和改善了土壤理化特性，有利于作物产量的提高，由于耕地等别受耕地面积、有效土层厚度、土壤养分含量、灌溉保证率以及交通条件等因素影响，因此，通过占补平衡项目的实施耕地等别较未实施前显著提高。此外，可以看到的是，新增耕地地类对耕地等别具有较大的影响，水浇地面积占比与新增耕地等别呈显著的正相关关系。

表 1 模型变量含义及赋值情况

变量名称	含义及赋值	预期影响
新增耕地产能 Y	“1”低产能	−
	“2”中产能	−
	“3”高产能	−
新增耕地面积 X_1	新增耕地面积大小	+
新增耕地等别 X_2	11 级、12 级、13 级、14 级	+
新增耕地基础设施 X_3	不完善为“1”，基本完善为“2”，完善为“3”	+
新增耕地单位面积投资 X_4/(元 · hm^{-2})		+
新增耕地年限 X_5/a		+

表 2 景泰县 2017 年占补平衡项目国家级自然等指数、利用等指数、经济等指数计算结果

样地开垦年限	新增耕地面积/hm^2		国家级自然等		国家级利用等		国家级经济等	
	水浇地	旱地	自然等指数	等级	自然等指数	等级	自然等指数	等级
1 a	35.66	2.85	1 735.413	11	859.788	11	862.219	12
2 a	25.87	1.37	1 720.358	11	798.654	12	856.347	13
3 a	35.80	4.43	1 635.687	12	801.854	12	869.518	12
合 计	97.33	8.65	—	—	—	—	—	—

3.2 景泰县 2015−2017 年新增耕地粮食产能计算结果

表 3 为 2015—2017 年景泰县内 3 个耕地占补平衡项目粮食产能变化情况。由表 3 可以看出，粮食产能受耕地面积和耕地等别影响较大。2015—2017 年耕地占卜平衡项目实现的耕地面积分别为 38.51，27.24 以及 40.23 hm^2，粮食产能分别为 284.55，202.25 以及 295.08 t，粮食产能随新增耕地面积的增大而增大，粮食产能与新增耕地平均等别呈显著的正相关关系。此外，水浇地项目的粮食产能显著高于旱地项目的粮食产能，2015—2017 年 3 个项目，占补平衡项目实现的水浇地面积为 97.33 hm^2，对应实现的产能为 729.98 t，而旱地面积为 8.65 hm^2，对应产能为 51.90 t。可以看出，水浇地以占总新增耕地 91.84%的面积，创造了占比为 93.36%的总粮食产能，旱地以占总新增耕地 8.16%的面积，创造了占比为 6.64%的总粮食产能。

表 3 景泰县 2015−2017 年占补平衡项目粮食产能

项 目	开垦 1 a 样地			开垦 2 a 样地			开垦 3 a 样地			合 计		
	耕地面积/hm^2	平均耕地等别	粮食产能/t	耕地面积/hm^2	平均耕地等别	粮食产能/t	耕地面积/hm^2	平均耕地等别	粮食产能/t	耕地面积/hm^2	平均耕地等别	粮食产能/t
总面积	38.51	11	284.55	27.24	12	202.25	40.23	11	295.08	103.739 4	11	781.88
水浇地	35.66	11	267.45	25.87	11	194.03	35.80	11	268.50	97.33	11	729.98
旱 地	2.85	12	17.1	1.37	12	8.22	4.43	12	26.58	8.65	12	51.90

3.3　占补平衡项目对新增耕地土壤理化性质的影响

土壤物理性质是土壤最基本的性状和指标，也是土壤质量评价的重要参数。表 4 反映了不同年限占补平衡项目新增耕地土壤物理性状统计情况。由表 4 可以看出，新增耕地总孔隙度、大团聚体、水稳性团聚体和土壤团聚度随新增耕地年限的增长而增加，到新增耕地 3 a 时，涨幅分别为 3.15%，1.51%，35.23% 和 23.96%，而<1 μm 微团聚体随新增耕地年限增长表现为显著的降低趋势，经过 3 a 的变化，降幅达 8.65%。旱塬区地形复杂，土壤结构输松，土壤结构破坏率最高，随着新增耕地年限的增加，提高了保水保土的能力，部分物理特性得到有效改善，土壤抗侵蚀能力也得到一定提升。我国目前主要采用土壤结构系数或分散系数评价土壤结构性指标，结构系数是指参与团聚化的黏粒与黏粒总量的比值，结构系数越大，微团聚体的水稳性越强，形成团聚体的潜在能力越大。土壤结构系数在新增耕地年限时间不断增大在 3 a 时达到 18.47%，土壤分散系数随增耕地年限时间逐渐减小，在 3 a 时为 81.53%。从土壤结构破坏率来看，新增耕地年限越长，其破坏率则越低，新增耕地年限 3 a 时的结构破坏率较 1 a 时降低了 2.05%。主要由于新增耕地年限的增加，在经过不断的土壤翻耕和培肥等基础上，土壤水肥逐渐得到积累，促进了土壤颗粒的团聚作用，土壤中水稳性团聚体也越来越稳定，土壤水肥气热条件也得到有效改善，土壤抗侵蚀能力得到显著提高。

表 4　不同年限占补平衡项目新增耕地土壤理化性质情况

样地开垦年限	总孔隙度/%	大团聚体/%	水稳性团聚体/%	微团聚体/%	土壤团聚度/%	土壤分散系数/%	土壤结构系数/%	土壤结构破坏率/%
1 a	47.92±1.23^{bc}	82.38±2.74^{a}	11.58±1.64^{c}	2.89±0.02^{a}	10.31±0.87^{b}	82.77±0.73^{a}	17.23±0.73^{b}	78.94±1.98^{a}
2 a	48.56±1.11^{ab}	82.87±2.54^{a}	13.12±1.43^{b}	2.72±0.02^{b}	10.43±0.91^{b}	82.12±0.64^{a}	17.88±0.73^{b}	77.54±1.92^{a}
3 a	49.43±1.08^{a}	83.62±2.36^{a}	15.66±1.58^{a}	2.64±0.01^{c}	12.78±0.98^{a}	81.53±0.69^{b}	18.47±0.69^{a}	77.32±2.03^{a}

注：同一列中所带字母不同，表示样地之间达到显著水平（$p<0.05$）。下同。

3.4　占补平衡项目对新增耕地土壤养分的影响

土壤化学性质是土壤质量的重要表征，对土壤营养状况和作物生长潜力有重要影响。表 5 反映了不同年限新增耕地土壤化学性状。由表 5 可以看出，随新增耕地年限的增加，全氮、有机质含量、速效磷含量等均表现为在新增耕地年限 3 a 时达到最大，全氮、有机质及速效钾分别较新增耕地年限 1 a 时提高了 10.67%，15.39%以及 13.62%。速效钾含量表现为先增大后减小的趋势，在新增耕地年限 2 a 时达到最大为 199.21 mg/kg。土壤化学性质的改变受自然环境因素和人为因素影响较大，全氮、有效磷和速效钾的变化范围分别在 0.75～0.83 g/kg，13.58～15.67 mg/kg 以及 178.62～199.21 mg/kg 之间。占补平衡项目的实施，降低了水土流失和土壤侵蚀现象，水肥可以在垂直方向入渗及运移，再加上耕作过程中进行的土地翻耕、有机肥和无机肥的施用、合理灌溉和田间管理，促进了土壤中营养元素的积累，氮磷钾元素和有机物含量显著增加，土壤化学性质也得到了有效改善。

表 5　不同年限占补平衡项目新增耕地土壤养分情况

样地开垦年限	全氮/(g·kg^{-1})	有机质/(g·kg^{-1})	有效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})
1 a	0.75±0.02^{c}	13.58±0.23^{c}	14.10±0.28^{c}	194.35±3.01^{b}
2 a	0.79±0.01^{b}	14.38±0.20^{b}	15.31±0.22^{b}	199.21±3.35^{a}
3 a	0.83±0.01^{a}	15.67±0.14^{a}	16.02±0.24^{a}	178.62±2.55^{c}

3.5　实证检验

土地生产能力是自然条件与土地开发利用程度共同作用的结果，粮食产能高低也是新增耕地质量各因素综合作用的结果，本文采用 Logistic 回归模型对新增耕地面积、新增耕地单位面积投资、新增耕地年限、新增耕地等别以及新增耕地基础设施等对新增耕地粮食产能的影响进行模型检验，结果详见表 6。由表 6 可以看出，新增耕地面积越大，创造的粮食产能也越高，二者间显著性水平为 0.021，虽然新增耕地面积是影响粮食产能提高的重要因素，但需要看到的是单位耕地面积上粮食产能的增量是有限的，因此，要依据当地土地质量的自然、经济因素优化作物种植结构，切实做好耕地保护，同时，结合当地气候条件等，适宜的提作物高复种比例，也有利于粮食产能的

提高。另外,由于农业从业人员数量的不断减少,出现了耕地撂荒和弃荒等消极管理等现象,也会造成新增耕地粮食产能的降低。因此要做好项目后期管护工作,落实主体责任并提高农业种植积极性,避免出现耕地撂荒和弃荒现象。新增耕地单位面积投资的高低,一方面体现了项目的实施难度,另一方面也反映了项目技术手段和工程措施投入的多少。一般而言,项目单位面积投资越大,新增耕地粮食产能也越高,从分析结果来看,单位面积投资对新增耕地粮食产能的影响系数为 0.193,低于新增耕地面积,但其显著性达到 0.042,高于新增耕地面积。新增耕地年限对粮食产能的影响程度为 0.038,是 5 项影响因素中数值最低,这是由于经过必要的工程施工,虽然对新增耕地进行了土壤翻耕、土壤培肥等措施以熟化土壤,但由于熟化过程存在一定的滞后性,部分营养物质和有机质含量未能在第一年就进行较好的分布,因此表现为新增耕地年限对粮食产能的影响程度较低。

耕地等别受当地土壤、气候、水分条件以及社会经济条件等综合因素影响程度较大,从分析结果可以看出,新增耕地等别由 14 等到 11 等的回归系数不断增大,而 Wald 值逐渐降低,以耕地等别 11 等为参照,14 级=1 的优势比 OR 值为 0.089,13 级=2 的优势比 OR 值为 0.134,较 14 级高 50.56%,12 级=3 的优势比 OR 值为 0.266,较 13 级高 98.51%,优势比 OR 值与耕地等别呈显著的正相关关系,也就是说,耕地等别越高,对应新增耕地的粮食产能也越大。另外可以看到的是,新增耕地道路和水利配套设施通达、完善与否对新增耕地粮食产能的提高具有十分显著的影响。

新增耕地基础设施与粮食产能产生负向影响,随着基础设施完善程度的提高,道路和排灌设施完善程度对新增耕地粮食产能的影响系数为呈正相关关系,优势比 OR 值也不断增大,说明道路和排灌设施越完善,新增耕地粮食产能越大。这主要是由于道路的通达和配套设施的完善,提供了农业生产的基础保障,有利于机械化耕种,增强了群众耕作的意愿,且极大的节约了生产实践成本,因此对粮食产能的提高具有显著的促进作用。项目实施前种植玉米,耕地单位面积产能为 7.65 t/hm^2,经过 3～5 a 种植后,在土壤熟化和肥料施用以及集约管理的基础上,耕种 5 a,4 a 和 3 a 的项目单位面积产能分别达到 8.85,8.40,7.95 t/hm^2,较未实施时粮食产能分别提高 15.69%,9.80% 和 3.92%。根据分析结果来看,在 5 项对新增耕地粮食产能影响较为突出的因素排序为:新增耕地等别>新增耕地基础设施>新增耕地面积>新增耕地单位面积投资>新增耕地年限。

表 6 新增耕地粮食产能影响因素分析情况

项 目	变量及哑变量	回归系数	Wald 值	OR 值	显著性
新增耕地面积/hm^2		0.357	5.821	—	0.021
新增耕地单位面积投资(元·hm^{-2})		0.193	2.448	—	0.042
新增耕地年限/a		0.042	0.038	—	0.001
新增耕地等别	14 级=1	−4.213	16.236	0.089	0.000
	13 级=2	−3.145	14.480	0.134	0.000
	12 级=3	−2.754	12.910	0.266	0.000
	11 级=4	—	—	—	—
新增耕地基础设施(道路条件、排灌设施等)	不完善=1	−2.007	10.067	0.183	0.007
	基本完善=2	−1.145	8.557	0.311	0.013
	完善=3	—	—	—	—

4 结 论

(1) 占补平衡项目的实施将新增耕地等别提升了 1～2 个等别,且水浇地面积占比与新增耕地等别呈显著的正相关关系。粮食产能随新增耕地面积的增大而增大,粮食产能与新增耕地平均等别呈显著的正相关关系。水浇地以占总新增耕地 91.84% 的面积,创造了占比为 93.36% 的总粮食产能。

(2) 占补平衡项目对新增耕地土壤理化性质和养分积累具有显著的改善作用,新增耕地总孔隙度、大团聚体、水稳性团聚体和土壤团聚度随新增耕地年限的增长而增加,到新增耕地 3 a 时,涨幅分别为 3.15%,1.51%,35.23% 和 23.96%。新增耕地年限越长,其破坏率则越低,新增耕地年限 3 a 时的结构破坏率较 1 a 时降低了 2.05%,土壤抗侵蚀能力得到显著提高。新增耕地年限 3 a 时,土壤全氮、有机质及

速效钾分别较新增耕地年限 1 a 时提高了 10.67%，15.39%以及 13.62%。

（3）经过 3～5 a 种植后，耕种 5 a，4 a 和 3 a 的项目单位面积产能较未实施时粮食产能分别提高 15.69%，9.80%和 3.92%，对新增耕地粮食产能影响较为突出的因素排序为：新增耕地等别＞新增耕地基础设施＞新增耕地面积＞新增耕地单位面积投资＞新增耕地年限，因此要将新增耕地粮食产能提高的着力点放在耕地等别的提高。

[参 考 文 献]

[1] 段亚明，周洪，刘秀华，等. 中国耕地撂荒的研究进展与展望[J]. 江苏农业科学，2018，46(13)：13-17.

[2] 赵晓丽，张增祥，汪潇，等. 中国近 30 年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.

[3] 魏洪斌，吴克宁，赵华甫，等. 中国耕地动态变化与占补平衡分析[J]. 国土资源科技管理，2015(1)：115-124.

[4] 王大鹏，姜欣怡，于淼. 耕地占补平衡中占补耕地质量差异对比研究：以东三省 9 个项目为例[J]. 安徽农业科学，2019，47(6)：69-71.

[5] 董秀茹，姜欣怡，卢巍巍. 基于农用地分等成果的耕地质量提升潜力测算方法研究：以营口市鲅鱼圈区为例[J]. 土壤通报，2018，49(6)：1300-1305.

[6] 李强，余晓敏，张娜. 江汉平原粮食综合生产能力评价分析[J]. 地理空间信息，2020，18(3)：100-103.

[7] 李效顺，曲福田，谭荣，等. 中国耕地资源变化与保护研究：基于土地督察视角的考察[J]. 自然资源学报，2009，24(3)：387-401.

[8] 姚远，李效顺，曲福田，等. 中国经济增长与耕地资源变化计量分析[J]. 农业工程学报，2012，28(14)：209-215.

[9] 陈海燕，彭云，郑宏刚，等. 补充耕地数量质量按等级折算的应用研究：以大理至丽江铁路为例[J]. 中国农业资源与区划，2014，35(1)：109-113.

[10] 张英，张红旗，李秀彬. 近 20 年中国农业主产区耕地资源质量和产能变化研究[J]. 地理与地理信息科学，2011，27(4)：52-56.

[11] 石淑芹，陈佑启，姚艳敏，等. 东北地区耕地自然质量和利用质量评价[J]. 资源科学，2008，30(3)：378-384.

[12] 徐珊，宋戈，李丹，等. 东北粮食主产区耕地资源时空变化及其对粮食生产能力的影响[J]. 农业工程学报，2012，28(21)：1-9.

[13] 石淑芹，陈佑启，姚艳敏，等. 耕地变化对粮食生产能力的影响评价：以吉林中西部地区为例[J]. 资源科学，2007，29(5)：143-149.

[14] 徐国鑫，金晓斌，宋佳楠，等. 耕地集约利用对粮食产量变化影响的定量分析：以江苏省为例[J]. 地理研究，2012，31(9)：1621-1630.

[15] 杨建锋，马军成，王令超. 基于多光谱遥感的耕地等别识别评价因素研究[J]. 农业工程学报，2012，28(17)：230-236.

[16] 吴明发，欧名豪. 雷州半岛耕地流转农户行为影响因素的实证研究[J]. 中国农业资源与区划，2012，33(4)：54-59.

[17] 董莉莉，吴克宁，魏洪斌，等. 我国中部粮食主产区耕地质量等别限制因素及提升对策[J]. 江苏农业科学，2016，44(12)：419-424.

[18] 魏洪斌，吴克宁，赵华甫，等. 中国中部粮食主产区耕地等别空间分布特征[J]. 资源科学，2015，37(8)：1552-1560.

[19] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京：中国标准出版社，1996.

[20] 中科院南京土壤研究所主编. 土壤理化分析[M]. 上海：上海科学技术出版社，1978.

（上接第 236 页）

[27] 李双成，傅小锋，郑度. 中国经济持续发展水平的能值分析[J]. 自然资源学报，2001，16(4)：297-304.

[28] 李加林，许继琴，张正龙. 基于能值分析的江苏生态经济系统发展态势及持续发展对策[J]. 经济地理，2003，23(5)：615-620.

[29] 唐廉，权冠中，胡晓辉，等. 基于能值生态足迹的贵州省生态经济系统的可持续性发展[J]. 贵州农业科学，2017，45(4)：150-156.

[30] 蓝盛芳，钦佩，陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京：化学工业出版社，2002.

[31] Brown M T，Ulgiati S. Emergy analysis and environmental accounting [J]. Encyclopedia of Energy，2004，2：329-354.

[32] Brown M T，Ulgiati S. Emergy-based indices and rations to evaluate sustainability：Monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation [J]. Ecological Engineering，1997，5(9)：51-69.