

覆膜穴播机三刚一柔成穴机构的设计及仿真

刘小龙, 石林榕, 孙 伟, 赵武云, 张 瑞, 李亚丽, 赵志伟, 吴建民

(甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 针对我国覆膜玉米穴播机采用的平行四杆成穴机构作业时垂直入土扰动大、撕膜严重的问题, 设计了三刚一柔成穴机构, 主要将平行四杆机构从动杆换装为弹簧阻尼杆。基于 Adams 建立三刚一柔成穴机构和平行四杆机构仿真模型, 并在相同条件下进行仿真, 结果表明: 三刚一柔成穴机构的成穴杆在 x 轴水平方向较平行四杆机构位移变化较小且平滑, 在 y 轴垂直方向趋势一致; 三刚一柔成穴机构的成穴杆对前后土型均有扰动, 但扰动力均较小, 而平行四杆机构只对前边的土壤有扰动, 但扰动力是三刚一柔机构的 9.4 倍。因此, 所设计的三刚一柔成穴机构较平行四杆机构对土壤扰动小, 有利于种子发芽, 成穴杆不受力时又可恢复至垂直入土的状态, 对地膜破坏较小。

关键词: 覆膜穴播机; 成穴机构; 仿真

中图分类号: S223 **文献标志码:** A

Design and simulation of three rigid-one flexible forming hole mechanism of film mulch and punch planter

LIU Xiao-long, SHI Lin-rong, SUN Wei, ZHAO Wu-yun, ZHANG Rui,

LI Ya-li, ZHAO Zhi-wei, WU Jian-ming

(College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Pointed at the problem of large disturbance and seriously tearing film when corn film mulch and punch planter perpendicularly inserted the soil by parallel four-bar mechanism in our country, designed out the three rigid-one flexible forming hole mechanism, the parallel four-bar mechanism was replaced by the spring damping pole. Based on the Adams, established the simulation models as three rigid-one flexible mechanism and parallel four-bar mechanism, and which was simulated at the same conditions. The results showed that: The forming hole pole of the three rigid-one flexible mechanism was less change of displacement and smooth in the level direction in x axis than the parallel four-bar mechanism, while in y axis, the vertical direction trend was basically consistent. The pole of the three rigid-one flexible forming hole mechanism had slight disturbance to the front and back soil model, but the parallel four-bar mechanism only disturbed to the front soil, the disturbing force was 9.4 times higher than the three rigid-one flexible mechanism. Therefore, the design of three rigid-one flexible mechanism had less soil disturbance, useful seed germination compared with parallel four-bar mechanism. The forming hole pole can be recovered to the state of perpendicularly inserting soil when the pole don't impose force, which had less damage to the film mulch.

Keywords: film mulch and punch planter; forming hole mechanism; simulation

玉米地膜覆盖栽培技术具有节水保墒、改良盐碱土壤、增产等作用, 对于旱作农业和节水农业具有十分重要的意义^[1-2], 被列为我国“九五”期间十大科技攻关项目之一。然而, 玉米膜上机械化种植还存在诸多问题, 尤其是穴播机构^[3]。穴播机构是地膜播种机的关键工作部件, 其作用是在膜上打孔, 同时把一定数量种子准确地投放到适宜深度, 然后用土覆盖并压实种子, 目前普遍使用的是轮式穴播机和平行四杆机构^[4]。轮式穴播机的鸭嘴常被泥土堵死清除困难、空穴率高、膜孔尺寸较大、撕膜严重, 影响膜的保温性和抗风性, 穴孔易发生错位, 播种深浅不一, 而平行四杆机构成穴装置虽然克服了现有穴

收稿日期: 2015-03-21
基金项目: 甘肃省农业科技创新项目 (GNCX-2012-48); 甘肃省高校基本科研业务“马铃薯膜上种植技术及配套机具研究”
作者简介: 刘小龙, 男, 甘肃榆中县人, 硕士研究生, 研究方向为农业机具研发。E-mail: 1102368434@qq.com。
通信作者: 吴建民, 甘肃定西人, 教授, 博导, 主要从事机械化保护性耕作技术及机具研究。E-mail: wujm@gsau.edu.cn。

播器播种浅、鸭嘴堵土、空穴率高等问题,且能实现较小范围的“零速”投种,但撕膜、土层扰动较严重^[5-11]。为解决平行四杆机构出现的问题,本文设计并仿真了覆膜穴播机三刚—柔成穴机构。

1 成穴机构及工作原理

1.1 结构

三刚—柔成穴机构在整机前进过程中的成穴过程为:(1) 向下垂直运动成穴;(2) 向下运动的同时相对于整机向后运动,成穴点水平位移变化较小,以保证穴孔成型并排种;(3) 向上运动退回;(4) 成穴杆恢复至垂直状态。膜孔大小是衡量作业质量的重要参数,为了有利于保温和提高抗风性,在不影响出苗的前提下,膜孔尺寸应越小越好,为了避免产生残膜,在成穴机构入土和出土的过程中则应实现直插运动,即垂直入土并垂直出土,这要求成穴机构的入土部件有较小的水平位移量。

1.2 工作原理

根据上述要求,本研究根据平行四连杆机构的平动原理研究设计了一种回转式成穴机构(图 1)。主动曲柄 1、入土成穴杆 2 及从动阻力杆 3 铰接形成平行四连杆机构。工作时,主动曲柄 1 作回转运动,同时带动入土成穴杆 2 和从动阻力杆 3 回转。主动曲柄回转 1 周,从动阻力杆 3 也回转 1 周,完成一次成穴、投种过程。整机运动过程中,入土成穴杆 3 始终与地面保持垂直。在入土成穴杆上端设置排种器,排出的种子通过导种管落入成穴杆下端部内腔中,当达到规定的播深时入土成穴杆下端强制开启,使处于内腔里的种子在重力作用下落入穴孔中。

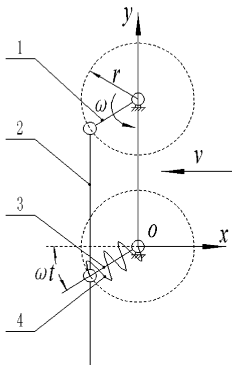


图 1 三刚—柔成穴机构结构示意图

2 运动分析

作业时,三刚—柔成穴机构的入土成穴杆未入

土时,成穴机构的运动为随播种机前进的直线运动和自身回转运动的合成。如图 1 所示,以播种机前进方向为 x 轴,垂直方向为 y 轴,成穴杆入土端的运动轨迹方程为:

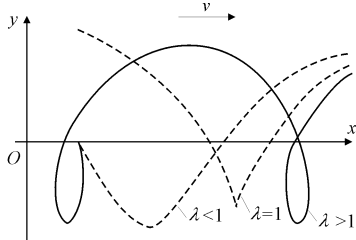
$$\begin{cases} x = vt + r\cos\omega t \\ y = r\sin\omega t \end{cases} \tag{1}$$

其中, v 为机器前进速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); t 为播种机运动时间(s); r 为曲柄半径(m); ω 为曲柄旋转角速度($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)。

令 $\varphi = \omega t, \lambda = \omega r/v$, 称 λ 为速比, 由(1) 式可得:

$$\begin{cases} x = r(\phi/\lambda + \cos\phi) \\ y = r\sin\phi \end{cases} \tag{2}$$

随 λ 取值不同该摆线方程的曲线形状不同, 如图 2 所示。要满足成穴机构的直插要求, $\lambda > 1$ 时曲线较为理想, 此时入土端的运动轨迹是余摆线。



(a) λ 值不同

图 2 随 λ 取值不同该摆线方程的曲线

Fig.2 The curve of cycloid equation with varied λ

作业时,三刚—柔成穴机构的入土成穴杆入土后,其成穴杆入土端的运动不能用式(1)和式(2)表示,由于成穴杆入土端入土后,在土壤和地膜对其作用力下,弹簧阻尼杆发生压缩,入土端水平方向发生的位移量很小。对成穴杆入土端的 A 点的运动分析如图 3 所示。

对 A 点的速度进行分解:

$$\begin{cases} v_x = \omega r \sin[\omega(t + \Delta t)] \\ v_y = \omega r \cos[\omega(t + \Delta t)] \end{cases} \tag{3}$$

$$(v_x - v)'m = \cos[\omega(t + \Delta t)](Dy' + ky) \tag{4}$$

$$y' + \frac{k}{D}y = \frac{\omega^2 rm}{D} \tag{5}$$

$$y = Ce^{\frac{k}{D}t} + \frac{\omega^2 rm}{k} \tag{6}$$

A 点水平方向的速度不为 0 产生的加速度由弹簧阻尼杆来平衡,平衡后的速度为 0,保证了成穴杆“零速”投种。

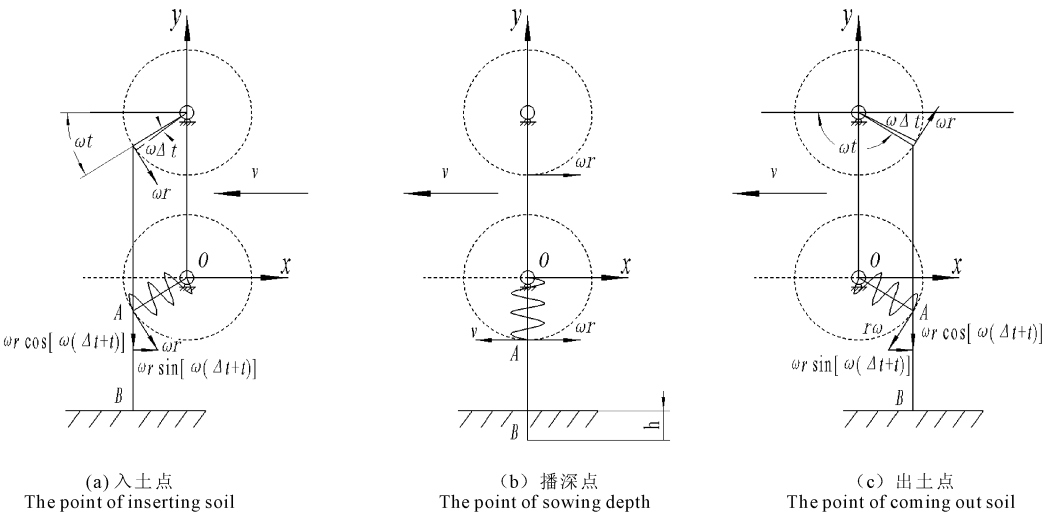


图 3 穴播示意图

Fig.3 The diagram of punch planting

3 仿真分析

3.1 模型建立

玉米全膜双垄沟播栽培技术示意图如图 4 所示。旱地玉米全膜双垄沟播栽培农艺技术要求为：大小垄总宽 1 100 mm,其中大垄宽 700 mm,高 100 ~ 150 mm;小垄宽 400 mm,高 150 ~ 200 mm,实行地膜全覆盖,在垄沟内完成播种。株距根据该技术相关农艺要求所涉及的保苗数、耕地土壤肥力和湿度等情况确定,一般株距为 300、350、400 mm,播种深度控制在 30 ~ 40 mm。

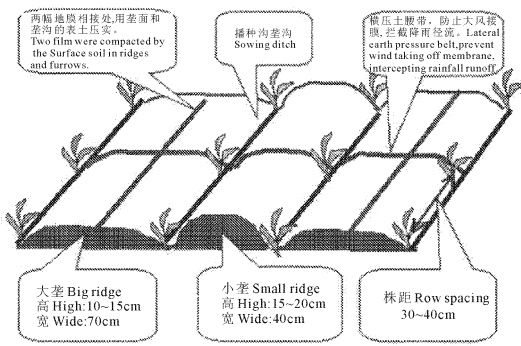


图 4 玉米全膜双垄沟播栽培图

Fig.4 Corn planting with whole plastic film mulch on double ridges

三刚一柔成穴机构回转 1 周,完成 1 次成穴作业。此时机器前进的距离即为所要求的穴距,穴距的大小直接影响玉米植株在田间的分布情况,取穴距为 350 mm。成穴深度直接决定了播种的深浅,根据一般玉米覆膜的农艺要求,成穴深度取为 40 mm。设三刚一柔成穴机构机组牵引速率为 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, λ 为 1.72,曲柄半径为 100 mm,成穴杆长度为 400 mm,由式(7)可求得：

$$\begin{cases} s = vt = \frac{2\pi v}{\omega} = \frac{2\pi r}{\lambda} \\ h = r(1 - \sin\omega t) = r\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right) \end{cases} \quad (7)$$

曲柄角速度 $\omega = 8.97^\circ\cdot\text{s}^{-1}$,曲柄与水平地面的夹角为 $\omega t = 35.38^\circ$ 。

在 ADAMS 环境中建立两种成穴机构 Adams 模型如图 5 所示。图 5(a)为三刚一柔成穴机构 Adams 模型,图中主动曲柄长 100 mm,主动曲柄长与水平地面的初始夹角为 35.38° 。入土成穴杆长 400 mm,机架杆长 200 mm,弹簧阻尼杆弹刚度系数为 2,阻尼系数为 2。整个机构有两个转动副、三个平动副、两个接触副和 1 个马达,在主动曲柄与机架之间

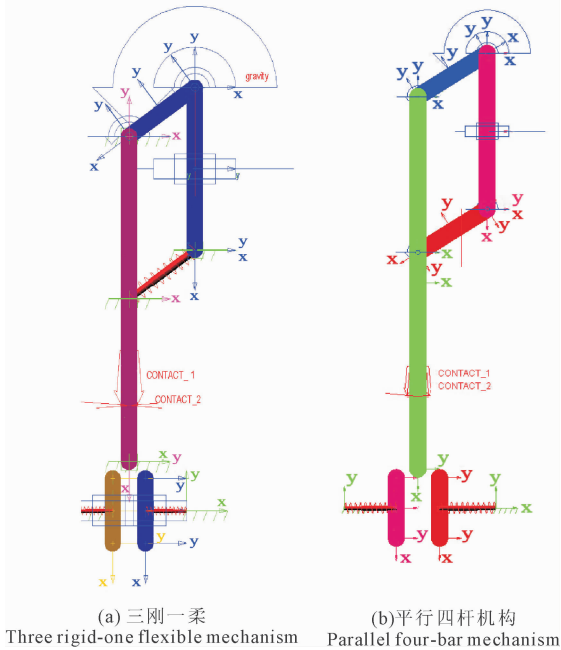


图 5 两种成穴机构 Adams 模型

Fig.5 The adams model of 2 kinds of forming hole mechanisms

建立转动副,在主动曲柄与入土成穴杆之间建立转动副,分别对机架、土壤模拟杆与大地之间建立平动副,在入土成穴杆与土壤模拟杆之间建立两个接触副,在主动曲柄与机架之间的转动副上建立马达^[12]。图 5(b)为平行四杆成穴机构 Adams 模型,其与三刚一柔成穴机构唯一不同之处是将三刚一柔成穴机构的弹簧阻尼杆换为刚性杆件。

3.2 分析结果

3.2.1 成穴器位移 分别测量平行四杆成穴机构与三刚一柔成穴机构成穴器的水平和垂直方向位移

变化曲线如图 6 和图 7。由图 6 和图 7 对比发现:三刚一柔成穴机构的成穴杆在 x 轴水平方向较平行四杆机构位移变化较小且平滑,位移先小幅度上升,再小幅度下降至 8.2 cm 处,并在后续时间内曲线基本趋于水平,而平行四杆机构成穴杆入土端运动曲线先下滑,在 0.19 s 处上升,再下滑,其在入土后水平位移量较大,对土壤和土层的扰动较大,严重影响到玉米种粒的发芽;而在 y 轴垂直方向两种机构的位移量基本趋势一致。

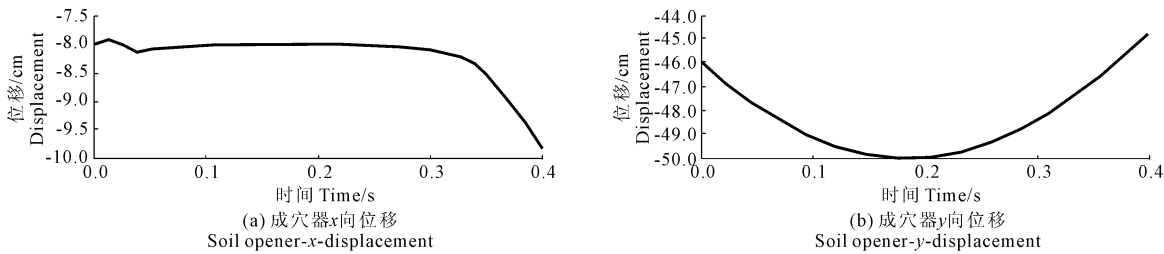


图 6 三刚一柔成穴机构成穴杆入土端位移变化曲线

Fig.6 The displacement change curve of hole forming pole inserting soil point with three rigid-one flexible mechanism

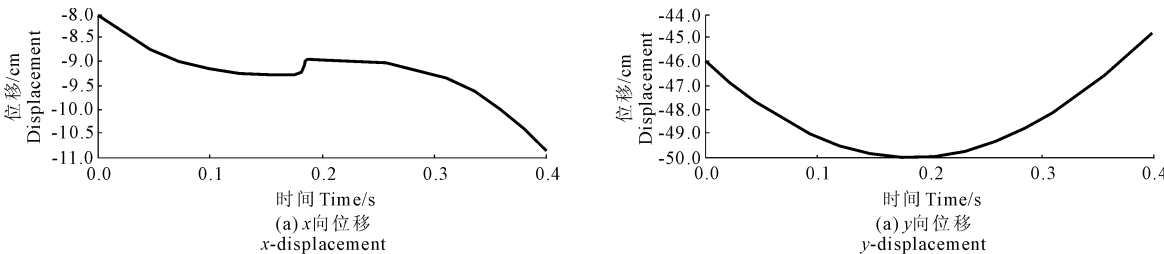


图 7 平行四杆成穴机构成穴杆入土端位移变化曲线

Fig.7 The displacement change curve of hole forming pole insertingsoil point with parallel four-bar mechanism

3.2.2 成穴器对土壤的扰动力 分别测量平行四杆成穴机构与三刚一柔成穴机构成穴器对成穴器前后两边土壤的扰动力变化曲线如图 8 和图 9 所示。三刚一柔成穴机构的成穴杆对前后土壤模型均有扰动,但扰动力均较小,对前面土模型最大扰动力为 2.3 N,对后面土壤模型最大扰动力为 27.1 N,而平行四杆机构只对前边的土壤模型有扰动,扰动力是三刚一柔机构对土壤最大扰动力的大约 9.4 倍。因

此,三刚一柔成穴机构较平行四杆机构对土壤和土层的扰动较小,对地膜破坏较小。

4 结 论

1) 通过对三刚一柔成穴机构和平行四杆机构在相同条件下位移变化的观测结果表明:三刚一柔成穴机构的成穴杆在 x 轴水平方向较平行四杆机构位移变化较小且平滑,在 y 轴垂直方向基本趋势一致。

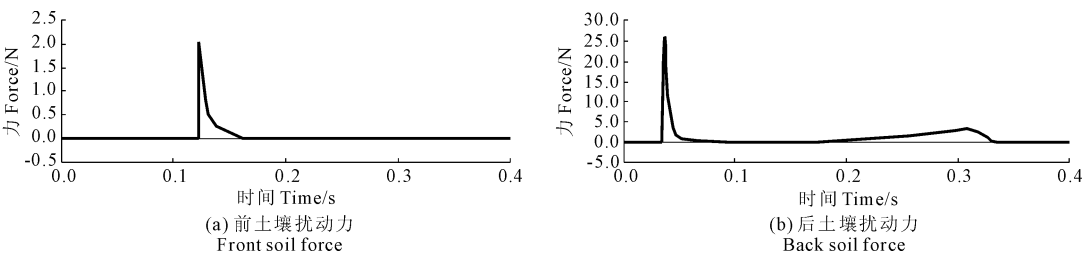


图 8 三刚一柔成穴机构成穴杆入土端对前后土壤的扰动力

Fig.8 Disturbing force of hole forming pole inserting soil point front and back with three rigid-one flexible mechanism

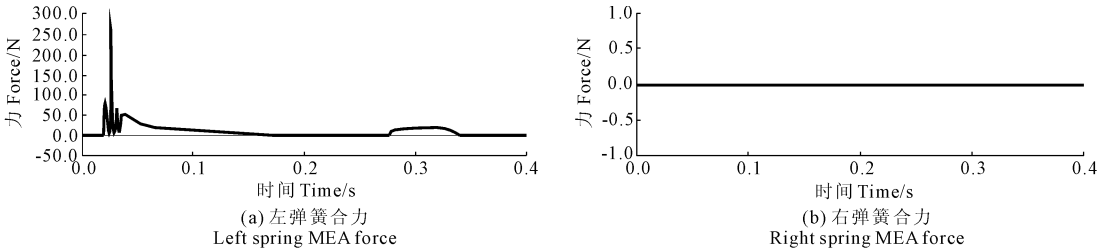


图 9 平行四杆机构成穴杆入土端对前后土壤的扰动力

Fig.9 Disturbing force of hole forming pole inserting soil point front and back with parallel four-bar mechanism

2) 三刚一柔成穴机构的成穴杆对前后土壤模型均有扰动,但扰动力均较小,而平行四杆机构只对前边的土壤模型有扰动,但扰动力是三刚一柔机构的大约 9.4 倍。

3) 在平行四杆机构的基础上设计的三刚一柔成穴机构具有成穴杆对土壤扰动较小,对地膜破坏较小,成穴杆不受力时又可恢复至垂直入土的状态,所设计的三刚一柔成穴机构较平行四杆机构对土壤扰动小。

参考文献:

[1] 张德奇,廖成成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-212.

[2] 李宝筏.农业机械学[M].北京:中国农业出版社,2003.

[3] 廖庆喜,黄海东,吴福通.我国玉米精密播种机械化的现状与发展趋势[J].农业装备技术,2006,(1):4-7.

[4] 刘彩玲,宋建农,王继承.花生覆膜穴播机成穴机构研究[J].中国农业大学学报,2007,12(3):61-64.

[5] 马建永,王少康,何瑞银,等.实现穴播的新型调速机构的研究[J].科学技术与工程,2012,12(17):4108-4110.

[6] 马成林,李成华,于海业.打穴播种机研究的发展与现状[J].农业机械学报,1999,30(1):101-105.

[7] 马旭,马成林,张守勤.地膜覆盖播种机成穴器的研究[J].农业机械学报,1989,12(4):20-27.

[8] 杜瑞成,杨善东,郭志东,等.三种覆膜穴播成穴器方案设计与理论分析[J].山东理工大学学报,2003,17(2):15-18.

[9] 刘军干,王天辰,阎发旭,等.直插式覆膜小麦穴播机的设计[J].农业工程学报,2001,17(5):55-57.

[10] 赵建托,赵武云,任颜华,等.玉米全膜覆盖双垄沟播机直插式播种装置设计与仿真[J].农业机械学报,2010,41(10):40-43.

[11] 赵武云,戴飞,杨杰,等.玉米全膜双垄沟直插式精量穴播机设计与试验[J].农业机械学报,2013,44(11):91-97.

[12] 赵武云.ADAMS 基础与应用实例教程[M].北京:清华大学出版社,2012.

(上接第 269 页)

参考文献:

[1] Elisabeth S, Evan D G. Fraser, et al. The socioeconomics of food crop production and climate change vulnerability: a global scale quantitative analysis of how grain crops are sensitive to drought[J]. Food Sec, 2012,4:163-179.

[2] Peter H, Verburg A, Youqi C. Spatial explorations of land use change and grain production in China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000,82:333-354.

[3] Wang Jing, Wang Enli, Luo Qunying, et al. Modelling the sensitivity of wheat growth and waterbalance to climate change in Southeast Australia[J]. Climatic Change, 2009,96:79-96.

[4] Yang Yujian, Ruan Huaijun, Tang Yan, et al. Computer and Computing Technologies in Agriculture VII: Study on Conditional Autoregressive Model of Per Capita Grain Possession in Yellow River Delta, IFIP Advances in Information and Communication Technology, 2014, 419:109-116.

[5] 周小萍,陈百明,汪鹏.中国未来粮食综合生产能力与粮食安全保障[J].北京师范大学学报:社会科学版,2006,198(6):134-140.

[6] 卢李朋,张杰,张胜武,等.甘肃省粮食生产的多尺度及关联

分析[J].干旱区地理,2014,(2):397-405.

[7] 咎欣,李孟刚.我国欠发达地区粮食安全问题探讨—以西北地区甘肃省为例[J].中国流通经济,2010,(4):65-68.

[8] 姚作芳,刘兴土,杨飞.几种方法在粮食总产量预测中的对比[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):264-268.

[9] 和文超,师学义,邓青云,等.土地利用总体规划修编中粮食产量预测方法比较[J].农业工程学报,2011,27(12):348-352.

[10] 苏博,刘鲁,杨方廷.GM(1,N)灰色系统与 BP 神经网络方法的粮食产量预测比较研究[J].中国农业大学学报,2006,11(4):99-104.

[11] 邓宗兵,封永刚,张俊亮.中国粮食生产空间布局变迁的特征分析[J].经济地理,2013,33(5):117-123.

[12] 程英,刘普幸,白杨,等.甘肃省粮食产量时空变化、驱动因子和趋势预测分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):225-229.

[13] 陈昌毓.甘肃干旱半干旱地区降水特征及其对农业生产的影响[J].干旱区资源与环境,1995,(1):25-33.

[14] 李军,王立祥,邵明安,等.黄土高原地区小麦生产潜力模拟研究[J].自然资源学报,2001,16(2):161-165.

[15] 唐华俊,李哲敏.基于中国居民平衡膳食模式的人均粮食需求量研究[J].中国农业科学,2012,45(11):2315-2327.