

振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机作业性能试验

戴 飞,杨 杰,赵武云*,费 强,唐学鹏

(甘肃农业大学工学院,甘肃 兰州 730070)

摘 要:为获得振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机最佳作业参数,依据振动减阻收获机理,通过改变影响振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机收获作业性能指标的 4 个主要作业参数:整机前进速度、挖掘深度、挖掘铲长度、曲柄偏心距,以挖掘机损失率、明薯率及伤薯率为评价指标进行马铃薯挖掘性能试验。结合正交试验研究,应用综合评分法得出了振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机作业时各参数的最优组合,即:整机前进速度为 $0.55\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、挖掘深度为 210 mm、挖掘铲长度 205 mm、曲柄偏心距为 6 mm。按照该最优组合作业参数进行试验验证,结果表明,该马铃薯挖掘机明薯率为 97.6%、伤薯为 3.9%、损失率为 3.5%,符合马铃薯收获机质量评价技术规范要求。

关键词:马铃薯挖掘机;阶梯铲;振动式;参数组合;验证试验

中图分类号: S225.7+1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)03-0263-05

Experiment on working performance of potato digger with vibrating type of ladder shovel

DAI Fei, YANG Jie, ZHAO Wu-yun*, FEI Qiang, TANG Xue-peng

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

Abstract: In order to obtain the optimal job parameter of potato digger with vibrating type of ladder shovel, according to the harvest mechanism of vibration and drag reduction, carried out the performance experiment through changing the 4 major operation parameters as machine speed, digging depth, digging shovel length and crank eccentricity these influenced performance indexes of the potato digger, with the evaluating indicators as, losing rate, obvious rate and damage rate. Combining the orthogonal experiment research, has obtained the optimal combination for each job parameter, such as machine speed was $0.55\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, digging depth was 210 mm, length of the digging shovel was 205 mm, crank eccentricity was 6 mm by applying the overall rating method. According to the optimal combination of the job parameters to carry out the experiment and confirmation, the experimental results showed that: The obvious rate was 97.6%, the damage rate was 3.9% and the losing rate was 3.5%, which could be met the the specification requirements of quality evaluation for the potato harvester.

Keywords: potato digger; ladder shovel; vibrating type; combination of paramters; verification test

近年来,随着马铃薯产量与种植面积的不断增长,实现马铃薯机械化种植、收获及深加工已成为世界各国亟需解决的重要课题之一^[1-4]。甘肃是我国马铃薯的主要产区,每年大约种植 $8.0\times 10^4\text{ hm}^2$,主要分布在坡度小于 10° 的山坡地或水平梯田上^[5-6]。为适应甘肃省不同土壤挖掘条件,解决马铃薯收获面临的减阻、防堵、提高明薯率、减少漏收损失和薯块损伤等技术难题,设计了振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机^[7]。本文研究通过改变振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机的主要作业参数,进行整机收获作业性能

(挖掘机损失率、明薯率及伤薯率)试验研究,以期获得该马铃薯挖掘机关键设计参数的最优组合,为相关机具的研发与作业性能优化提供参考。

1 试验设备与方法

1.1 试验样机结构及工作原理

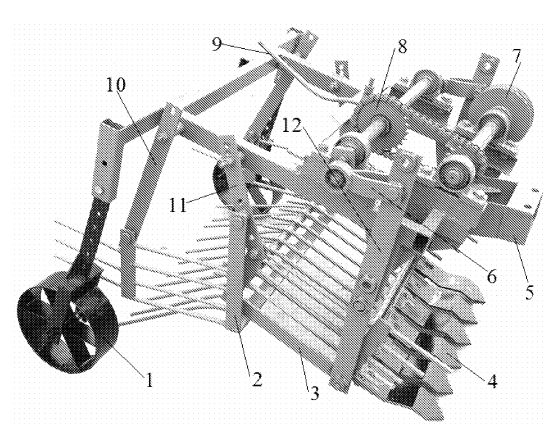
振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机结构如图 1 所示,由机架、传动装置、偏心曲柄-连杆机构、阶梯状挖掘铲、振动筛、分离筛和限深机构组成,能够一次性完成挖掘、分离及集条铺放作业。

收稿日期:2013-11-01

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目“西北绿洲农牧循环技术集成与示范”(2012BAD14B10)

作者简介:戴 飞(1987—),男,甘肃榆中人,助教,从事旱区农业工程技术与装备研究。E-mail: 442670867@qq.com。

* 通信作者:赵武云(1966—),男,甘肃兰州人,教授,博士,从事旱区农业机械装备研究。E-mail: zhaowy@gsau.edu.cn。



注:1.限深轮;2.分离筛;3.振动筛;4.阶梯状挖掘铲;5.机架;6.偏心曲柄;7.皮带轮;8.链轮;9.离合操纵杆;10.分离筛连杆;11.振动筛摆臂;12.连杆

Note: 1. Limit depth wheel; 2. Separation of sieve; 3. Vibrating of sieve; 4. Ladder shovel; 5. Rack; 6. Eccentric crank; 7. Belt pulley; 8. Chain wheel; 9. Clutch lever; 10. Connecting rod of separating sieve; 11. Swing arm of vibrating sieve; 12. Connecting rod

图 1 振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机

Fig.1 Structure diagram of potato digger with vibrating type of ladder shovel

振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机进行田间掘薯作业时,由手扶拖拉机挂接并牵引前进,动力由手扶拖

拉机离合器皮带轮传递至挖掘机皮带轮,样机主动轴随之转动,经链传动带动从动轴转动,从动轴两端装设的偏心曲柄-连杆机构也随之转动,从而带动挖掘铲组件往复振动。分离筛由振动筛摆臂带动,土薯经阶梯状挖掘铲掘起后依次推递到振动筛上,并在后置分离筛的往复运动作用下实现土薯分离,掘出薯块沿着分离筛条流向机具作业带后方,铺放于地表,以便收集。在保证阶梯状挖掘铲入土角 α 为 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 不变时,调整机架中央挂接固定位置及限深轮高度,以实现马铃薯挖掘机掘薯深度的改变。

1.2 机具结构参数

振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机主要结构参数如表 1 所示。

1.3 关键部件结构设计

将挖掘铲视为平面楔进行研究,可以将铲对土壤的作用分为两个阶段,一是土壤压实阶段,二是土壤破坏阶段(如图 2 所示)。当平面楔由 AB 移动到 CD 时,在 A 点的土粒 E 被压紧到 F , EF 与楔面 CD 法线形成一偏外摩擦角 β 。楔的平移距离为 L ,被压缩的土壤体积为 $(\triangle AFC)$,当这一土块压缩后达到失效面上的抗剪强度限时,便开始出现裂纹。

表 1 振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机结构参数

Table 1 Structure parameters of potato digger with vibrating type of ladder shovel

参数名称 Parameter name	单位 Unit	数值 Numerical value
外形尺寸(长×宽×高) Overall dimensions(length×width×height)	mm	960×700×450
配套动力 Fitted power	kW	8.8~12.5(手扶拖拉机 Walking tractor)
工作幅宽 Width of working	mm	600
挖掘深度 Depth of digging	mm	150~220
整机重量 Weight of machine	kg	50
挖掘铲铲面入土角 Angle of digging shovel	($^{\circ}$)	20~25
作业速度 Speed of operating	$m \cdot s^{-1}$	0.56~0.83
分离/振动筛条间距 Space of separation/vibrating screen	mm	45

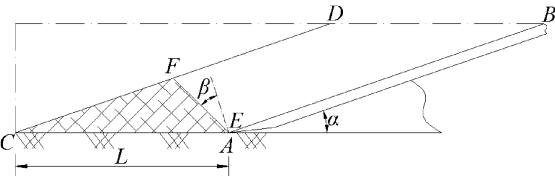


图 2 平面楔对土壤的压紧示意图

Fig.2 Diagram of soil compaction by the plane wedge

由图 2 分析可以得出,要增强挖掘铲的入土性,需加大铲的入土角 α ,然而加大入土角会增大牵引阻力。因此,针对传统挖掘铲工作时碎土能力差,牵

引阻力大,设计了阶梯状挖掘铲,按功能将其分为入土段、破碎输送段两部分(如图 3 所示)。其中,铲体入土段的入土角 α 为 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$,破碎输送段的入土角 β 为 $10^{\circ} \sim 13^{\circ}$,铲尖的铲刃斜角为 55° 。加大入土段的倾角加大可增强入土性,但被压缩的土壤体积 $(\triangle AFC)$ 会增大致使牵引阻力随之增大,此时阶梯状挖掘铲的优点在于可通过破碎输送段降低挖掘铲入土部分的垂向高度,以减小牵引阻力。另外,当铲体的入土段将土堡掘起后,土堡在破碎输送段时,由于铲面形状的变化,使得土堡的变形大,增强了阶梯铲的碎土性。

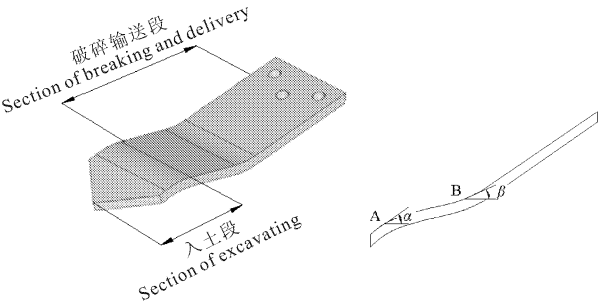


图 3 阶梯状挖掘铲作业区划分示意图

Fig.3 Diagram of partition operating region by ladder shovel

2 试验设计与分析

2.1 试验条件

振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机田间作业性能试验在甘肃省定西市洮河拖拉机厂马铃薯种植试验地进行。马铃薯种植模式为甘肃中部具有代表性的垄作种植,试验地垄高 18 cm、垄宽 60 cm、株距 23 cm、结薯深度在 14 ~ 19 cm 之间,土壤类型为黄绵土,土壤含水率为 11.1% ~ 12.7%。马铃薯种植品种为陇薯 3 号,收获前一周植株经割秧处理,挖掘机配套动力为 8.8 kW 的手扶拖拉机。

2.2 试验方法与试验指标

振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机性能试验方法依据马铃薯收获机质量评价技术规范(NY/T648 - 2002),机具作业后,依试验地长度方向每隔 10 m 计算 9 组面积(长×宽)为 20 m×0.6 m 的长方形子地块的明薯率、伤薯率、损失率的数据,再对 9 组数据取平均值。

试验过程中,明薯是指机具作业后,明放和露出地面的薯块;伤薯是指破皮后,伤及薯肉的薯块;薯块损失为漏薯率与埋薯率之和。明薯率、伤薯率及损失率由式(1)~(3)^[1]计算可得:

$$T_1 = \frac{W_1}{W} \times 100\%$$

(1)

$$T_2 = \frac{W_4}{W} \times 100\%$$

(2)

$$T_3 = \frac{W_2 + W_3}{W} \times 100\%$$

(3)

式中, T_1 为明薯率(%); T_2 为伤薯率(%); T_3 为损失率(%); W 为总薯质量(kg),且 $W = W_1 + W_2 + W_3$; W_1 为明薯质量(kg); W_2 为埋薯质量(kg); W_3 为漏挖薯质量(kg); W_4 为伤薯质量(kg)。

2.3 试验方法与试验指标

振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机性能试验过程中,经分析选取整机前进速度、挖掘深度、挖掘铲长度及曲柄偏心距 4 个参数作为试验因素^[8-10]。通

过改变手扶拖拉机档位及油门大小来实现挖掘机前进速度的改变,在保证阶梯状挖掘铲入土角 α 为 20°~25°不变时,调整机架中央挂接固定位置及限深轮高度,以实现马铃薯挖掘机掘薯深度的改变,为满足试验需要试制并可更换 3 种不同长度的阶梯状挖掘铲,通过改变偏心曲柄与从动轴的连接距离实现偏心距的改变。试验的因素及水平见表 2。

表 2 试验因素及水平

Table 2 Test factors and levels

因素 Factors				
水平 Levels	A. 整机前进速度 Speed of machine / (m·s ⁻¹)	B. 挖掘深度 Digging depth /mm	C. 挖掘铲长度 Length of the digging shovel/mm	D. 曲柄偏心距 Crank eccentricity /mm
1	0.55	150	190	3
2	0.70	180	205	6
3	0.85	210	220	9

采用正交试验设计,应用综合评分法计算、分析,得到振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机各关键设计参数的最优组合^[11]。

2.4 试验结果与分析

采用多因素正交进行试验安排,试验重复 3 次,试验安排及结果如表 3 所示。

由表 3 试验结果可以看出,通过改变影响振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机作业性能指标的 4 个主要参数时,作业机挖掘明薯率在 91.8%~98.1%之间,伤薯率在 3.8%~6.7%之间,损失率在 4.1%~6.8%之间。当曲柄偏心距为 6 mm,其余作业参数变化时,明薯率处在最优范围内为 94.9%~98.1%,伤薯率为 3.8%~5.6%;当整机前进速度为 0.55 m·s⁻¹、挖掘深度为 180 mm、挖掘铲长度为 205 mm、曲柄偏心距为 6 mm 时,伤薯率最低为 3.8%;且挖掘深度的选取与挖掘损失率密切相关,当挖掘深度由 150 mm 增加至 210 mm 时,挖掘损失率呈减小趋势。

对于多指标试验分析应用综合评分法,其中因素 A: 整机前进速度(m·s⁻¹)、因素 B: 挖掘深度(mm)、因素 C: 挖掘铲长度(mm)、因素 D: 曲柄偏心距(mm);试验指标为明薯率(%),伤薯率(%)及损失率(%),分别设为 X 、 Y 、 Z 。对于马铃薯机械化收获而言,提高商品薯总的经济效益是关键。因此,在作业机高效率的收获方式下尽量降低挖掘机作业过程中对薯块的损伤,保证其便于贮藏与销售是极为重要的;其次,必须保证挖掘装置能够有效降低收获过程中薯块的损失率;在此基础上,为方便后续人工捡拾作业机掘出的薯块,在确保降低所收获马铃薯的损伤及损失情况下应尽量提高明薯率。因此,按

照上述讨论要求将试验指标量化,伤薯率(Y)评 10 分,损失率(Z)评 8 分,明薯率(X)评 5 分(由于明薯率较其余两种因素在数量级上均大 10 倍,不具有可比性,且对于伤薯率和损失率而言都是以降低到最低为佳,相反明薯率越高越优,因此用 100 均减去明薯率获得同等数量级并带入公式计算)。每项试验总分应用式(4)进行计算,最优方案参数应结合式(5)计算评分并进行极差比较选取。

表 3 挖掘机作业性能试验方案与结果

试验序号 Test serial number	参数因素 Parameters factors			试验评价指标 Test evaluation index			
	整机前进速度	挖掘深度	挖掘铲长度	曲柄偏心距	明薯率	伤薯率	损失率
	Speed of machine /($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Digging depth /mm	Length of the digging shovel/mm	Crank eccentricity /mm	Obvious rate /%	Damage rate /%	Losing rate /%
1	0.55	150	190	3	93.6	5.5	6.8
2	0.55	180	205	6	97.3	3.8	5.3
3	0.55	210	220	9	93.5	5.8	4.1
4	0.70	150	205	9	91.8	6.7	6.6
5	0.70	180	220	3	94.2	5.9	5.1
6	0.70	210	190	6	98.1	4.3	4.8
7	0.85	150	220	6	94.9	5.6	5.6
8	0.85	180	190	9	92.7	6.4	5.8
9	0.85	210	205	3	95.1	4.1	5.7

表 4 综合评分法试验结果

试验号 Test serial number	因素 Factor				试验评价指标结果 Result of test evaluation index			综合评分 Comprehensive evaluation (P)
	1	2	3	4	明薯率/% Obvious rate (X)	伤薯率/% Damage rate (Y)	损失率/% Losing rate (Z)	
	A	B	C	D				
1	1	1	1	1	93.6	5.5	6.8	141.4
2	1	2	2	2	97.3	3.8	5.3	93.9
3	1	3	3	3	93.5	5.8	4.1	123.3
4	2	1	2	3	91.8	6.7	6.6	160.8
5	2	2	3	1	94.2	5.9	5.1	128.8
6	2	3	1	2	98.1	4.3	4.8	90.9
7	3	1	3	2	94.9	5.6	5.6	126.3
8	3	2	1	3	92.7	6.4	5.8	146.9
9	3	3	2	1	95.1	4.1	5.7	111.1
k_1	358.6	428.5	379.2	381.3				
k_2	380.5	369.6	365.8	311.1				
k_3	384.3	325.3	378.4	431.0				
极差 Range	25.7	103.2	13.4	119.9				
最优方案 Optimal decision	A ₁	B ₃	C ₂	D ₂				

$$P_i = 10Y_i + 8Z_i + 5 \times (100 - X_i) \tag{4}$$

$$P_A = \min\{P_i\} \tag{5}$$

式中: P_A 为试验最优参数得分; P_i 为第*i*次试验总分, $i = 1, 2, \cdots, 9$; X 为第*i*次试验明薯率(%), $i = 1, 2, \cdots, 9$; Y 为第*i*次试验伤薯率(%), $i = 1, 2, \cdots, 9$; Z 为第*i*次试验损失率(%), $i = 1, 2, \cdots, 9$ 。

通过应用综合评分法由表 4 中极差大小可以得出,影响振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机作业性能的

因素主次顺序是:曲柄偏心距、挖掘深度、整机前进速度、挖掘铲长度;挖掘机作业时各参数的最优组合为:A₁B₃C₂D₂,即整机前进速度为 0.55 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,挖掘深度为 210 mm,挖掘铲长度为 205 mm,曲柄偏心距为 6 mm。

由各因素的极差可以看出,对影响振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机作业性能最为关键的作业因素是曲柄偏心距和挖掘深度。当挖掘深度浅时,曲柄偏

心距可适当减小,这样可降低阶梯动铲对薯块的蹭皮、刮伤,但对于结薯深度大的种植模式下,势必会造成挖掘损失率的增大;当挖掘深度较大时,需增大曲柄偏心距以此来加强挖掘机阶梯动铲振动频率,避免在振动筛部件上产生壅土和堵塞,但此时作业机功率增加,且伤薯率随着阶梯铲振幅的加大呈上升趋势。因此,在振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机的后续研究过程中,需进一步探明挖掘深度与曲柄偏心距两因素间的相互作用关系。

2.5 应用试验验证

结合优化试验结果所得的振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机作业性能参数,应用 2.1~2.3 中相关的试验材料及方法,将样机曲柄偏心距调整为 6 mm、挖掘深度为 210 mm、安装挖长度为 205 mm 的挖掘铲、整机作业前进速度为 $0.55\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,进行挖掘机作业性能试验验证。试验结果表明,应用该最优组合作业参数进行试验时,作业机挖掘明薯率可达97.6%,伤薯率为 3.9%,损失率为 3.5%。试验期间牵引拖拉机行走流畅,挖掘机运动机构运行稳定,土薯分离顺畅、浮薯效果明显,伤薯率低,没有发生壅土现象,各项试验评价指标符合马铃薯收获机质量评价技术规范(NY/T648-2002)作业性能要求。

3 结 论

- 1) 为适应甘肃省不同土壤挖掘条件,降低马铃薯收获面临的减阻、防堵与薯块损伤等技术难题,设计了一种振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机。
- 2) 结合正交试验研究,通过改变振动式阶梯铲状马铃薯挖掘机的整机前进速度、挖掘深度、挖掘铲长度、曲柄偏心距,以挖掘机损失率、明薯率及伤薯

率为评价指标进行马铃薯挖掘性能试验。应用综合评分法得出样机作业时各参数的最优组合,即:整机前进速度为 $0.55\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、挖掘深度为 210 mm、挖掘铲长度为 205 mm、曲柄偏心距为 6 mm。

3) 应用该最优组合作业参数进行试验验证时,作业机挖掘明薯率可达 97.6%,伤薯率为 3.9%,损失率为 3.5%。试验期间作业性能良好,各项试验评价指标符合马铃薯收获机质量评价技术规范(NY/T648-2002)作业性能要求。

参 考 文 献:

[1] 石林榕,吴建民,赵武云,等.圆盘栅式马铃薯挖掘机的研制与试验[J].农业工程学报,2012,28(24):15-21.

[2] 吴建民,李 辉,孙 伟,等.拨指轮式马铃薯挖掘机试验[J].农业工程学报,2011,27(7):173-177.

[3] 赵满全,窦卫国,赵士杰,等.新型马铃薯挖掘机的研制与开发[J].内蒙古农业大学学报,2000,21(2):91-96.

[4] 戴 飞,韩正晟,魏宏安,等.中国马铃薯茎叶利用处理现状及相关机械化技术发展[J].湖北农业科学,2012,51(10):1975-1977,1981.

[5] 吴建民,李 辉,孙 伟,等.拨指轮式马铃薯挖掘机设计与试验[J].农业机械学报,2010,41(12):76-79.

[6] 刘 宝,张东兴,李 晶.MZPH-820 型单行马铃薯收获机设计[J].农业机械学报,2009,40(5):81-86.

[7] 赵武云,吴建民,张俊莲,等.马铃薯收获机阶梯状挖掘铲[P].中国专利:201010515049.2,2012-05-09.

[8] 李彦晶,魏宏安,孙广辉,等.4U-1400FD 型马铃薯联合收获机挖掘铲[J].甘肃农业大学学报,2011,46(5):132-136.

[9] 魏宏安,王 蒂,连文香,等.4UFD-1400 型马铃薯联合收获机的研制[J].农业工程学报,2013,29(1):11-17.

[10] 文学洙,廉哲满.振动式挖掘机的设计与试验[J].农业机械学报,2006,37(10):77-82.

[11] 戴 飞,韩正晟,张锋伟,等.小区育种纵轴流脱粒分离装置试验研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):274-278.

(上接第 231 页)

[4] 常跟应,李国敬,颀耀文,等.近 60 年来甘肃省民乐县农业绿洲扩张的人文驱动机制[J].兰州大学学报(自然科学版),2013,49(2):221-225.

[5] 金美玲,李允标,李 芬,等.农村产业结构与农民人均纯收入的灰色关联分析——以秦都区为例[J].新疆农垦经济,2012,(5):20-24.

[6] 马期茂,严立冬.基于灰色关联分析的中国农业结构优化研究[J].统计与决策,2011,(11):92-94.

[7] 叶得明,杨婕妤.石羊河流域农业经济和生态环境协调发展研究[J].干旱区地理,2013,36(1):76-83.

[8] 王宝珍.新疆二元经济结构的变化分析[J].新疆农垦经济,2013,(1):34-37.

[9] 颜 琦,刘新平,张 洁,等.阿勒泰市农业与牧业协调发展综合评价研究[J].湖北农业科学,2013,52(17):4294-4299.

[10] 李林杰,董正信.经济应用统计学[M].北京:中国物资出版社,2001.

[11] 东亚斌,段志善.灰色关联度分辨系数的一种新的确定方法[J].西安建筑科技大学学报,2008,40(4):589-592.

[12] 唐焕文,贺明峰.数学模型引论[M].北京:高等教育出版社,2005.

[13] 张清宝.农业产业结构调整对农业经济产生的影响[J].现代经济信息,2012,(4):241.

[14] 阳武平,王记志.我国农业经济结构变动影响农业增长的主要途径分析[J].中国集体经济,2011,(6):7-8.

[15] 张永丽,柳建平.工业化视角下我国“三农”问题演变及其启示[J].兰州大学学报,2007,35(6):138-143.

[16] 郑华平,刘 刚.河西水资源与农业产业结构调整的战略思考[J].兰州大学学报(社会科学版),2004,32(2):119-124.

[17] 张 晔.农业产业化及其模式选择[J].兰州大学学报(社会科学版),2001,99(6)127-131.