

植物混掺物对甘肃景泰砂壤土入渗过程的影响*

王 燕¹ 郑 健^{1,2} 冀 宏¹ 樊新建¹ 张卫勇¹

(1. 兰州理工大学能源与动力工程学院, 兰州 730050;
2. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西杨凌 712100)

【摘要】 通过室内试验,研究了不同混掺物及不同混掺比例对土壤水分入渗特性及湿润体含水量分布规律的影响。结果表明:指数函数能较好地描述含有混掺物的土壤水扩散率;添加一定比例混掺物的土体能有效延长水分对耕层土壤的湿润,增大水分在耕层的滞留时间;混掺 3% 玉米叶处理和 1% 玉米叶处理能够有效提高耕层土壤含水量。

关键词: 土壤水扩散率 入渗速率 湿润锋 土壤含水量 混掺物

中图分类号: S275.3; S152.7⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)01-0063-05

Impacts of Plant Additive on the Infiltration with Sandy Loam

Wang Yan¹ Zheng Jian^{1,2} Ji Hong¹ Fan Xinjian¹ Zhang Weiyong¹

(1. College of Energy & Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China
2. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract

Through laboratory experiments, the soil moisture infiltration characteristics and the distribution rule of soil moisture in wetting front are studied under the condition of different additives and proportions. Results show that the relationship between soil moisture diffusivity and soil water content can be better described by an exponential function. The soil with a certain additive can prolong the time of high moisture in the arable layer. The treatment with 3% and 1% maize leaf can improve soil water content effectively. The results can provide an engineering method for large scale soil improvement.

Key words Soil water diffusivity, Infiltration rate, Wetting front, Water content of wetted region, Mixing substance

引言

为了寻找一种荒漠化土地的大规模改良方法,在日本日立建机株式会社的资助下成立了大规模土壤改良工法课题组,大规模土壤改良工法旨在通过试验选取合理的植被恢复方法,采用工业模式进行推广,以此来改善局部地区的土壤和气候条件,达到以尽可能少的投资和生态用水量,产生较大的生态经济效益,从而减缓土壤荒漠化的趋势。要使土壤改良工法实施,首先须对现有的土壤条件进行改良,

即采用某种方式降低土壤蒸发量、减少水分的深层渗漏,使有限的水分能够保持在作物耕层,有利于植物的吸收利用,从而通过植被恢复来改变气候条件,减缓荒漠化的趋势。而研究水分在土壤中的运动方式以及特定水量在土壤中形成湿润体的大小是改良工法实施的前提条件之一。

入渗是水分进入土壤、在土壤中运动和储存的过程,它是大气降水、地表水、土壤水相互转化的一个重要环节^[1]。土壤水分入渗一方面决定了产生地表径流的水量,从而对土壤侵蚀产生影响^[2];另

收稿日期: 2009-03-11 修回日期: 2009-04-03
* 日本日立建机株式会社资助项目和兰州理工大学博士基金资助项目(0906ZXC121)
作者简介: 王燕,讲师,主要从事农业水土工程研究,E-mail: wangyan821108@163.com

一方面,它又影响土壤含水量,从而对该地区作物可利用的有效水量产生影响,影响作物产量^[3]。因而土壤入渗是径流计算和水土保持效益评价的重要指标。目前关于这方面的研究大多着眼于在土壤表层覆盖一定的秸秆或者砾石以及土壤中混掺一定比例的砾石条件下土壤水分入渗速率与累计入渗量等方面的研究^[4-6],而对土壤中混掺植物的研究鲜有报道。本文通过在土壤中混掺一定比例的玉米芯及玉米叶,研究混掺物对土壤水分入渗特征的影响,以及特定灌水量下土壤含水量的分布状况及湿润体的大小形状,旨在为土壤保水性能改善和植被恢复提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 供试样品

试验在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点开放实验室内进行。试验土壤采自甘肃景泰地区,土壤风干后采用土壤筛进行土壤粒径分析,如表 1 所示。按照我国土壤分类标准,供试土壤属于砂壤土,俗称黄绵土。试验所用混掺物为在西北地区种植面积最大、易获得、腐烂后可增加土壤肥力的玉米芯和玉米叶,将玉米芯风干后粉碎成 2 cm × 2 cm × 2 cm 颗粒,玉米叶风干后粉碎成 2 cm × 2 cm 颗粒。

表 1 供试土壤粒径分析

Tab.1 Particle size analysis of sandy loam

土壤容重密度 /g·cm ⁻³	粒径/mm				
	<2	<1	<0.05	<0.01	<0.001
1.4	100	99.46	80.26	23.13	10.06

土壤水分特征曲线表征土壤水的能量与数量之间关系,是研究土壤水分保持和运移所用到的反映土壤水分基本特性的曲线^[7]。本文采用 CR-21G 型高速冷冻离心机测定土壤水分特征曲线,将土壤含水量 θ 与土壤水分吸力 S (单位:Pa)进行拟合,得

$$S(\theta) = 11.271\theta^{-2.4117} \quad (R^2 = 0.9807)$$

1.2 试验装置

试验由水平入渗试验和模拟沟灌灌水试验两种,因而试验装置也有两种。

1.2.1 水平入渗试验装置

试验装置水平入渗段用总长 24 cm、内径 5 cm 的有机玻璃管制成,分为 3 个部分:水室段 2 cm、滤层段和试样段 22 cm。滤层段用滤纸代替,试样段由 20 个 1 cm 长的圆环组成,便于拆卸装取土样。测定时用马氏瓶供水,以控制进水端水位不变,如图 1 所示。

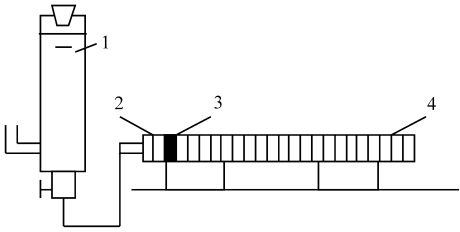


图 1 水平入渗试验装置示意图
Fig.1 Schematic diagram of test equipment
1. 马氏瓶 2. 水室 3. 过滤层 4. 土柱

1.2.2 沟灌试验装置

沟灌试验系统为一矩形有机玻璃土箱,其规格为 35 cm × 40 cm × 12 cm(长 × 高 × 宽),如图 2 所示。对于沟灌试验,取 1/2 沟及其湿润体为研究对象。为了减少气阻对水分入渗的影响,在土箱一侧设置若干排气孔。试验灌水采用量筒量取预定水量灌溉。

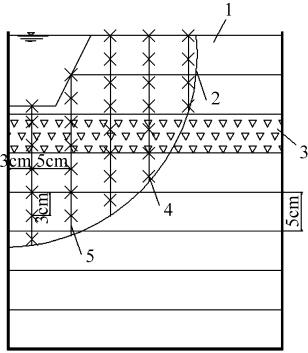


图 2 沟灌试验装置及取样点分布
Fig.2 System for furrow irrigation and distribution of selective points
1. 土壤表层 2. 湿润锋 3. 混掺层 4. 取样点 5. 取样点

1.3 试验设计与方法

1.3.1 水平入渗试验

试验共设 2 种混掺物(玉米芯与玉米叶)、2 个混掺比例(1% 与 3%),并以纯土为对照,每组试验 3 个重复。试验时将土壤与混掺物搅拌均匀,分层装入试验装置;试验过程中,记录湿润锋到达各环的历时及相应马氏瓶中水的刻度;当湿润锋前进至土柱长度的 4/5 时停止供水,并记录结束供水时间及相应水位,并从湿润锋开始,按环取土,测出每环的土壤含水量,得出土柱的含水量分布,并按相应公式计算非饱和土壤水扩散率^[7]。

1.3.2 沟灌试验

为了研究混掺不同比例的玉米叶后土壤湿润体的形状大小及土壤含水量的分布情况。共设混掺 1% 与 3% 玉米叶两个处理,并以纯土为对照,每组试验设 3 个重复。试验土风干过筛,按设计容重密度(1.4 g/cm³)分层均匀装入试验土箱内,每 5 cm

深度分为一层,在第 3 层装入搅拌均匀的土壤混掺物,装好后在土表面挖灌水沟,灌水沟形状统一采用常见的梯形形状,断面尺寸如图 3 所示。试验所有处理均在一定计划灌水定额(满沟 891 mL)下进行。灌水入渗开始后,记时并定时观测土壤湿润过程,并且间隔一定时间在试验土箱一侧外壁上描出不同时刻所对应的湿润锋运移位置,同时记录不同处理下沟内无积水时所用入渗时间。试验结束后,用 2 mm 直径的土钻按图 2 所示取样,用烘干法测定土壤含水量分布,并采用 sufer 8.0 软件绘制土壤含水量等值线分布图。

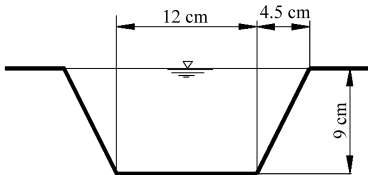


图 3 灌水沟断面尺寸
Fig. 3 Cross-section size of furrow irrigation

2 结果分析

2.1 混掺物对土壤水分扩散率的影响

非饱和土壤水扩散率,又称扩散度或扩散系数,它是运用土壤水动力学基本原理建立土壤水运动的数学模型、模拟不同降雨或灌溉强度下土壤含水量的一维空间分布、入渗、径流过程和产流总量以及溶质运动、污染物迁移等水分运动过程研究中必不可少的重要参数。图 4 为混掺不同比例的玉米芯及玉米叶后土壤水扩散率的变化规律,可以看出土壤水扩散率受到混掺物的影响较大,相同土壤含水量下,扩散率从大到小依次为 1% 玉米芯、纯土、3% 玉米芯、1% 玉米叶、3% 玉米叶,表明除混掺 1% 玉米芯增大了水流扩散速率外,其他混掺物及比例都对土壤水分扩散产生了一定的阻碍作用。其主要原因是由于 1% 玉米芯混掺量较小,水分通过玉米芯边壁的运动效应大于玉米芯的吸水效应,使得土壤有效孔隙增大,导致土壤水扩散率提高;采用 3% 玉米芯混掺物处理在一定的设计容积密度条件下土壤孔隙率远小于 1% 玉米芯混掺物处理和纯土处理,附加玉米芯较好的吸水能力,致使其土壤水分扩散率降低;1% 玉米叶和 3% 玉米叶处理由于混掺物的加入使土壤在一定的设计容积密度条件下孔隙率降低,同时玉米叶的片状结构和一定的吸水能力阻碍了土壤水分扩散运动,使土壤水分扩散率大幅度下降;玉米叶较玉米芯在很大程度上减缓了水分的入渗速度,能使土壤水分保持在作物耕层,有利于作物的吸收利用,这对含沙量较大、深层渗漏比较严重的西北

旱地土壤起到了很好的保水效果。

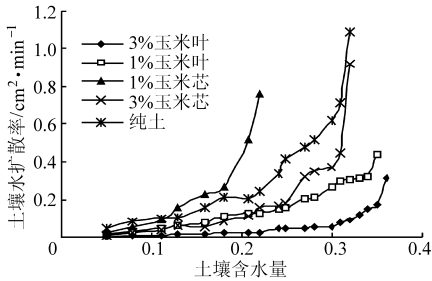


图 4 混掺物对土壤水扩散率的影响曲线
Fig. 4 Impacts of additive on soil moisture diffusivity

为了进一步揭示在加入混掺物条件下土壤水扩散率的变化规律,采用指数函数分别对 1% 玉米芯、3% 玉米芯、1% 玉米叶、3% 玉米叶不同处理土壤水扩散率与土壤含水量的关系进行拟合,其结果如下:

1% 玉米芯 $D(\theta) = 0.0109e^{18.927\theta}$ ($R^2 = 0.9827$)
3% 玉米芯 $D(\theta) = 0.0667e^{14.093\theta}$ ($R^2 = 0.9739$)
1% 玉米叶 $D(\theta) = 0.0154e^{9.4893\theta}$ ($R^2 = 0.9742$)
3% 玉米叶 $D(\theta) = 0.0019e^{12.579\theta}$ ($R^2 = 0.9654$)

结果表明,其相关系数 R^2 值均在 0.96 以上,说明指数函数能较好地描述含有一定混掺物的土壤水扩散率。

2.2 不同混掺物对水平入渗特征的影响

通过研究不同混掺物条件下水平入渗的入渗速率及分段含水量的变化情况,可以进一步诠释混掺物的吸水、保水和阻水的特性。从图 5 中可以看出,玉米叶混掺试验能够有效降低土壤水分的入渗速率,且随混掺比例的增大,入渗速率下降值愈大;玉米芯混掺试验中,1% 玉米芯处理增大了土壤水分的入渗速率,而 3% 玉米芯处理则降低了入渗速率;从土壤含水量与水平入渗距离之间的关系曲线可以看出,相同入渗距离下混掺玉米芯土壤含水量明显高于混掺玉米叶处理,说明玉米芯的吸水保水能力强于玉米叶。综合入渗速率及各处理不同段土壤含水量的变化,表明玉米芯吸水 and 保水特性优于玉米叶,而玉米叶的阻水能力优于玉米芯,建议在进一步实际应用中采用一定比例的玉米芯和玉米叶混合物与土壤进行混掺。

2.3 混掺物对湿润锋运移的影响

沟灌的地表水平扩散半径和垂直入渗深度是湿润体的 2 个特征值,掌握西北旱地粉质壤土条件下不同混掺物入渗过程中该特征值与入渗时间的关系,是大规模土壤改良工法中土壤保水特性的重要依据。从该地区土壤沟灌入渗的试验结果可以看出,各处理的入渗规律相似,灌溉初土壤水分入渗速度较快,随着时间的推移,入渗速率下降;采用 1% 玉米叶(图 6b)和 3% 玉米叶(图 6c)混掺处理的水

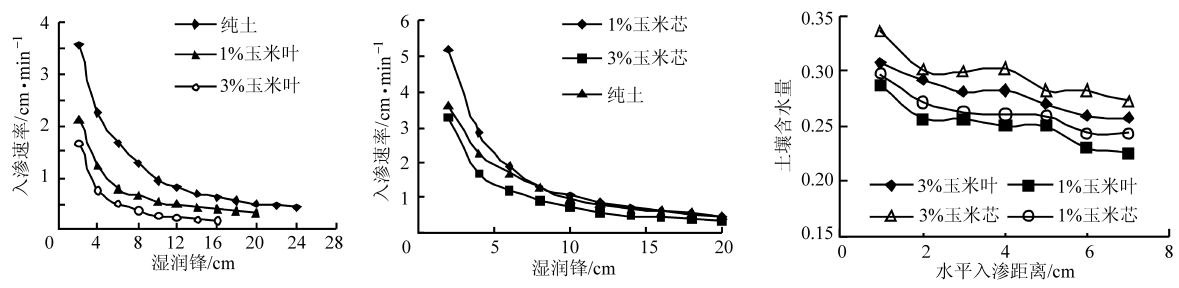


图5 混掺物对水平入渗特征的影响曲线

Fig.5 Impacts of additive on the characteristics of horizontal pillar water infiltration

平扩散半径明显大于纯土(图6a)的水平扩散半径,试验结束时3%玉米叶、1%玉米叶和纯土的地表水平湿润半径分别为10.4、8.6和7.5 cm(沟边自表面铅直向下计算);采用1%玉米叶和3%玉米叶混掺物的处理增加了土壤水分的水平扩散半径,在距地表深度约11 cm深处,3%玉米叶混掺处理的水平扩散半径达到了12.5 cm,说明在土壤中一定深度掺加一定比例的混掺物可以增大水分在土壤中耕层的侧向入渗,提高水分在耕层的滞留时间;采用1%玉米叶、3%玉米叶混掺物与纯土处理的垂直入渗深度分别为10.6、11.6和12.2 cm(自沟底左侧0点算

起),各处理入渗湿润体形状均为低平抛物体形状,同时沟内灌溉水量消失的时间分别为34.5、26.5和20 min,表明采用一定比例的混掺物可以有效地延长水分对耕层土壤的湿润,增大水分在耕层的滞留时间,减少水分深层渗漏。上述结果说明在土壤中添加一定比例的混掺物可以有效增加水分的水平湿润距离,降低垂直入渗深度,延长水分在耕层的滞留时间,在实际生产活动中可以有效地降低粉质壤土的深层渗漏,增加土壤的保水性能,提高灌溉水及自然降水的利用效率^[8]。

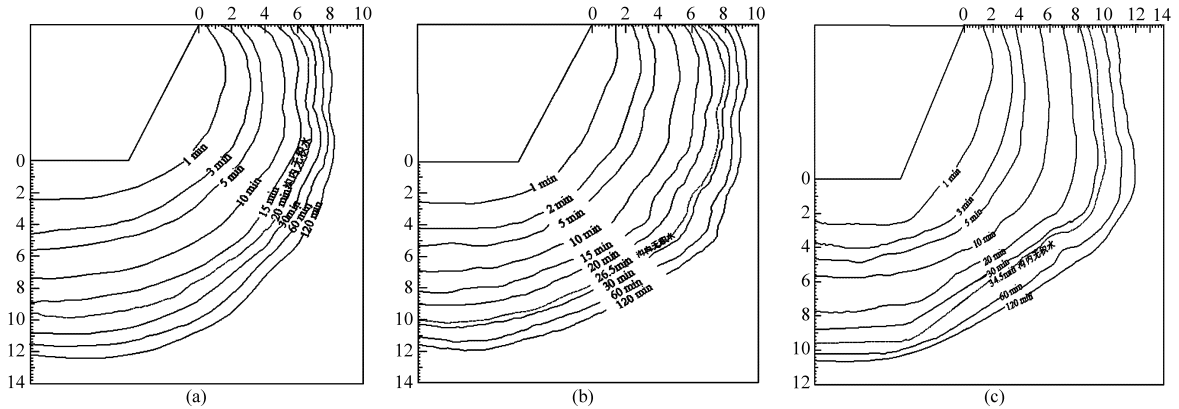


图6 不同处理灌水湿润锋分布图

Fig.6 Wetting front distribution of different treatments

(a) 纯土 (b) 1%玉米叶 (c) 3%玉米叶

2.4 混掺物对土壤含水量分布的影响

水分是植物正常生长发育的重要因子之一,植物的一切生命活动都是在一定的土壤水分前提下进行的。了解不同混掺物比例下土壤含水量的分布状况是植被恢复中确定草种、种植方法和灌水量的重要依据。图7为灌水结束后各处理土壤含水量分布等值线分布图,从图中可以看出,在土壤中添加一定比例的混掺物能够改变耕层土壤含水量的分布状况。从图7中可以看出,混掺物处理提高了耕层土壤含水量,使得较高含水量的分布区域扩大,混掺3%玉米叶处理和1%玉米叶处理其土壤含水量在19%以上的区域较纯土扩大;混掺3%玉米叶处理较混掺1%玉米叶处理的高含水量分布区域广,根

区土壤含水量变化范围较小,有利于作物的吸收利用;图示根际最小土壤含水量从小到大依次为纯土、1%玉米叶、3%玉米叶,可见在一定混掺比例下,随着混掺量的增大耕层土壤含水量增大。其原因是由于玉米叶的片状结构在土壤中形成了一道阻水带,增加了土壤孔隙的弯曲程度,有效地阻止了土壤水分下渗,有利于该阻水层以上土壤有效含水量的形成,对作物的吸收利用起到了积极作用。

3 结论

(1) 土壤水扩散率从大到小依次为1%玉米芯、纯土、3%玉米芯、1%玉米叶、3%玉米叶处理土壤,采用指数函数能较好地描述含有一定混掺物的

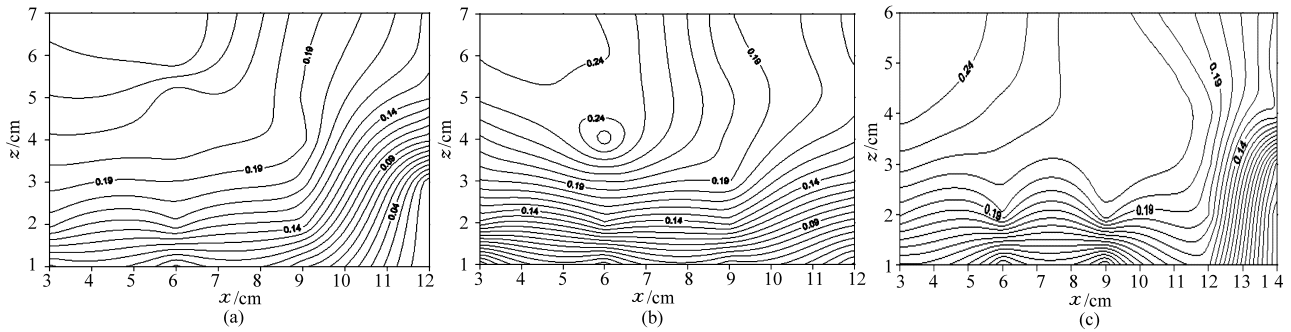


图 7 不同处理灌水土壤含水量等值线分布图
Fig. 7 Soil water contain isopleth of different treatments
(a) 纯土 (b) 1% 玉米叶 (c) 3% 玉米叶

土壤水扩散率。通过试验确定不同混掺物及比例下土壤水分扩散率的变化规律,可为大规模土壤改良工法中解决土壤水分下渗问题提供依据。

(2) 玉米叶混掺试验能够有效降低土壤水分的入渗速率,且随混掺比例的增大,入渗速率下降值愈大;相同入渗距离下混掺玉米芯土壤含水量明显高于混掺玉米叶处理,说明玉米芯的吸水保水能力强于玉米叶。

(3) 水平湿润半径从大到小依次为 3% 玉米叶、1% 玉米叶、纯土,垂直入渗深度从大到小依次为纯土、1% 玉米叶、3% 玉米叶处理土壤,入渗体形状为低平抛物体形状;沟内灌溉水量消失的时间分别

为 34.5、26.5 和 20 min(依次为 3%、1% 玉米叶、纯土),可见在土壤中一定深度添加一定比例的玉米叶可以有效延长水分对耕层土壤的湿润,增大水分在耕层的滞留时间,同时增加水分的侧向入渗,提高水分的利用率。

(4) 玉米芯吸水能力优于玉米叶,而玉米叶的阻水能力优于玉米芯;混掺 3% 玉米叶和 1% 玉米叶处理较纯土处理能够有效提高耕层土壤含水量。结合土壤中混掺玉米芯及玉米叶的入渗特性,可在不同土壤层中同时混掺玉米叶及玉米芯,以此提高耕层的吸水持水能力,提高耕层含水量及延长高水分滞留时间,为植被恢复提供必要条件。

参 考 文 献

1 王慧芳,邵明安. 含碎石土壤水分入渗试验研究[J]. 水科学进展,2006,17(5):604~609.
Wang Huifang, Shao Ming'an. Experimental study on water infiltration of soil containing rock fragments[J]. Advances in Water Science, 2006,17(5):604~609. (in Chinese)

2 Meyer L D, Johnson C B, Foster G R. Stone and woodchip mulches for erosion control on construction sites[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1972,27(1~2):264~269.

3 周蓓蓓,邵明安. 不同碎石含量及直径对土壤水分入渗过程的影响[J]. 土壤学报,2007,44(5):801~807.
Zhou Beibei, Shao Ming'an. Effect of content and size of rock detritus on infiltration[J]. Acta Pedologica Sinica, 2007,44(5):801~807. (in Chinese)

4 Brakensiek D L, Rawls W J. Soil containing rock fragments: effects on infiltration[J]. CATENA,1994,23(1~2):99~110.

5 Grant W J, Struchtemeyer R A. Effect of stones on run off, erosion, and soil moisture[J]. SSSAJ,1966,30(5):638~640.

6 符素华. 土壤中砾石存在对入渗影响研究进展[J]. 水土保持学报,2005,19(1):171~175.
Fu Suhua. Effect of soil containing rock fragment on infiltration[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005,19(1):171~175. (in Chinese)

7 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1988:232~235.

8 张新燕,蔡焕杰,王健. 沟灌二维入渗影响因素实验研究[J]. 农业工程学报,2005,21(9):38~41.
Zhang Xinyan, Cai Huanjie, Wang Jian. Experimental study on influence factors of two-dimensional infiltration in furrow irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2005,21(9):38~41. (in Chinese)