

河北农业大学

硕士学位论文

河流故道区立体多元农业种植技术研究

姓名：赵斌

申请学位级别：硕士

专业：植物营养生态

指导教师：周大迈

20070610

摘要

论文简述了立体多元农业国内外发展近况,以及立体多元农业相关的基本理论与原理。叙述了立体多元农业在提高自然资源利用率、解决农村剩余劳动力、增加经济效益等方面的作用和意义。河流故道作为一个特殊的地貌单元,是历史上河流频繁改道形成,作物种植年限较短,种植结构单一,光、热、水等自然资源利用率较低。

文章以河北省河流故道区多元立体种植农业为研究对象,采用实地采样、室内分析、模型应用、优化分析等方法对河流故道区不同立体种植农业模式,进行了生物量、经济效益和优化分析研究,旨在探索出适合河北省河流故道区具有经济效益、社会效益、生态效益的立体种植模式。

对滹沱河故道区的安国市果树/药材复合系统研究分析,进行了梨树/紫菀肥料试验,采用D-饱和最优311B设计方案。数据表明:梨树/紫菀复合系统可以提高养分的利用率。可以得到紫菀的合理施肥量N:P₂O₅:K₂O为115.8:292.5:303.5(每公顷),紫菀产量为16049.69kg/hm²。紫菀酮含量测定结果表明,不同施肥水平对紫菀酮含量的影响不显著,复合系统紫菀酮含量0.17%显著高于单作系统0.11%。梨树/防风、梨树/半夏密植试验,寻求最佳种植密度。数据表明,与3年生梨树间作,防风最佳种植株行距15cm×40cm,此时,产量、收获指数、商品指数最高,取得最大经济效益。与14年生梨树间作,半夏最佳种植密度3cm×15cm,此时,产量、收获指数、商品指数最高,经济效益最大,且收获指数与商品指数呈极显著线性相关。

林药种植模式中以4年生合欢间作半夏经济效益最高120.6千元/hm²。小麦瓜蒌间作比小麦玉米增加效益10.1~13.2千元/hm²,增效率达55.7%~64.7%。玉米天南星间作最佳种植比例为2:6,即种植两行玉米间作六行天南星,经济效益最高。

对不同河流故道区不同立体种植模式分别进行经济效益分析,得出增效率:滹沱河故道区赵县粮油模式(大豆/夏玉米)比小麦/玉米增加60.77%;永定河故道区固安县粮油棉模式(棉花/地芸豆/红小豆)比小麦玉米增加64.1%;永清县的果粮模式(梨树/花生)比梨树增加效益48.5%;滦河故道区滦县的粮菜模式(大蒜套种玉米复种大白菜)比小麦玉米增加效益127.6%;棉油模式(棉花/花生)比单一棉花增效32.9%,比单一花生增效60.3%;唐河故道区唐县的粮瓜药模式(西瓜套种菊花间作夏玉米)产投比为3.2:1,经济效益显著。

通过对复合系统的光能利用率、能量流和土地利用价值进行分析。数据表明复合系统光能利用率普遍提高了10%~20%;复合系统的产投比(增效率)在65%以上,经济效益较高;土地当量(LER)最高可达2.17,最低1.36。认为LER>1.30时,土地利用率高,土地利用价值增加。

根据立体农业种植模式评价指标及权重评价方法,对河北省河流故道区现有立体多元种植模式进行优化评价,筛选出60种具有较高经济、生态、社会效益的模式加以推广。

关键词:河流故道区;立体种植;模式;经济效益;优化分析

Studies on the Comprehensive Multi-storied and Dimension Planting Agriculture Technology in Ancient River Channel

Author: Zhao Bin
Supervisor: Zhou Damai
Major: Plant Nutrition

Abstract

This paper described the basic principle and recent advances of the comprehensive multi-storied and dimension agriculture. Meanwhile, this paper also discussed the relationship of the stereo agriculture to raising resource utilization rate; enhancing to take rural surplus labor forces into employment partially, and maintaining the sustainable development of agricultural production.

In this thesis, the comprehensive multi-storied and dimension planting agriculture in Ancient River Channel in HeBei province was studied. In order to find patterns of the comprehensive multi-storied and dimension planting agriculture with economics and environment in Ancient River Channel in HeBei province, sampling and analysis were used to study the status of trends of nutrients accumulating, biomass, economics and optimized analysis in Ancient River Channel in HeBei province.

Through the analysis of fruit / herbal medicine complex system in Zhulong Ancient River Channel and the pear / Tatar Rootrian Aste fertilizer experiments used D-311B design plans. The data is indicated: Pear/ aster tataricus compound system can improve the nutrient utilization rate, but the pear output is not significantly affected. The potassic fertilizer can not compose to experiment field limiting a factor, the best economy being able to get aster tataricus applies fertilizer expecting that N: P₂O₅: K₂O is 115.8: 292.5: 303.5, the best economic use of fertilizer can get for 16049.69 kg/hm² of Tatar Rootrian Aste. The result of shionone indicated that the contents of shionone are not significantly affected at different fertilizer level. The complex system is much higher than Shan assumes system. Through the density experiments analysis of pear / sapohshnikovia divaricata, pear / Pinellia Tuber for harvest index and the value of index, it is known that sapohshnikovia divaricata spacing maximum 40cm, 15cm x 3cm Pinellia Tuber highest.

The highest economic efficiency is the pattern of Silk tree (4) / Pinellia ternate in the pattern of frost/medical crops. The increased efficiency rate reached 120.6 qian yuan/hm². Compared with wheat maize, Wheat/ Snakegourd Fruit intercropping is beneficial result more 10.1 ~ 13.2 qian yuan/hm² and the increased efficiency amounts to 55.7% ~ 64.7%. Maize / Arisaema consanguineum Schott intercropping is optimum cultivate proportion being 2: 6, be that the six lines of Arisaema consanguineum Schott and cultivating two row of maize. The economic efficiency is highest.

The economic efficiency is analysis on the different patterns in Ancient River Channel and get the increased efficiency rate : compared with Wheat /maize the pattern of grain and oilbearing crop increases by 60.77% in Zhaoxian County in HuTuo Ancient river Channel; the pattern of grain and oilbearing crop and cotton increases by 64.1% in GuAn County in YongDing Ancient river Channel and the pattern of fruit and grain increases by 48.5% in Yongqing County; the pattern of grain and Vegetables increases by 127.6% and the pattern of cotton and oilbearing crop increases by 32.9% in Luan County in LuanHe Ancient river Channel River; the pattern of grain and herbal medicine and guar increases by 68.75%in Tang County in TangHe river Ancient Channel, Compared with the single-mode for cost-effectiveness.In this paper, an analysis of each mode is supporting three-dimensional multi-planting techniques for reference.

Not only the complex systems can increase the land utilization rate, but also can be improved energy efficiency and nutrient conversion rate. The data indicates compound system efficiency of light energy utilization having improved 10% - 20%, the increase efficiency reaches 65%. LER is the land utilization value, LER calculating the investigation pattern data display most is 2.17 and lowest is 1.36. When $LER > 1.30$ the land utilization rate is improved and land utilization value is increasesde.

In this thesis, it optimized 60 patterns to be extended from investigating hundreds of models of the comprehensive multi-storied and dimension planting agriculture in Ancient River Channel in HeBei province. The pattern has the higher economic efficiency, the ecology benefit and the social efficiency. According to the target and the weightappraisal methods, the conclusion is obtained.

Key words: Ancient River channel; the comprehensive multi-storied and dimension agriculture planting; patterns; effects on economics; Optimized analysis

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得河北农业大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

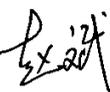
学位论文作者签名：

签字日期：2007年6月15日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解河北农业大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权河北农业大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期：2007年6月15日

签字日期：2007年6月15日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：

电话：13582623120

通讯地址：

邮编：

1 引言

1.1 河流故道区概述

河北平原是华北大平原的重要组成部分,由海河、黄河、滦河携带的泥沙交互沉积而成。晚新生代以来的新构造运动是黄土高原全区处于不断的区域性上升活动中,从而造成侵蚀基准面的下降,因此,使坡面侵蚀加剧,冲沟活跃^[1]。同时,由于土体的重力作用,加之潜水活动等因素的影响,在不稳定状态下土体坍塌,滑动的重力侵蚀也时常发生。进入人类历史以来,人类活动更进一步加剧了黄土高原的侵蚀强度。太行山、燕山是山区和平原的结合部位,生态环境最脆弱,覆盖山体的黄土除在山坳出残存外,其余都侵蚀殆尽。在强烈地质作用下,黄河、海河、滦河都带有大量泥沙。

来自黄河、海河、滦河流域的大量泥沙,不断充填着华北陆缘盆地,并向渤海海域推进,形成新的陆地,缔造了华北大平原。在华北大平原出现堤防之前,河流处于无约束状态。起初河流总是寻找一条低洼的陆路入海,随着这条低洼流路的不断淤积,它又会滚向另外一条相对低洼的流路。如此反复,泥沙就“摊铺”在河流的冲积扇上,形成大面积的河流故道区。

河北平原主要由黄河、海河、滦河交互沉积而成,由于河流的频繁改道,形成了大量的河流故道区,目前主要有流经邢台地区广宗、巨鹿、黄骅等地的古黄河故道,唐山地区滦县、乐亭滦河故道,廊坊地区永定河故道,保定地区唐河故道,石家庄地区滹沱河故道,邢台地区沙河故道,邯郸地区漳河故道等。由于河流故道区历史上曾经有河流经过,废弃的河床地区沉淀颗粒较粗,表层多为砂土、砂壤,下层有小面积的粘层透镜体。据土壤普查资料显示,河北省沙质土壤约 $7.0 \times 10^5 \text{hm}^2$,其中砂质潮土 $5.3 \times 10^4 \text{hm}^2$,草甸风沙土 $1.0 \times 10^4 \text{hm}^2$,新积土 $0.7 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。这些地区一般地形起伏,质地粗,有机质少,有效养分含量低,干旱缺水^[2]。

河北省自 1985 年发展立体农业种植以来,取得了不少成功的经验,同时由于片面的追求经济效益,不考虑立体种植作物的主客观条件的影响,给农民带来了很大的经济损失。立体农业种植的发展需要在系统理论指导下,根据市场经济规律,才能给农民带来实实在在的经济收益。

1.2 立体多元农业概述

立体多元农业是相对于单一种植或养殖的平面农业而言的,它指在一定的单位面积土地或水域上,根据各种植物、动物、微生物的生物学特性,充分利用时间、空间、光、热、水、土等自然资源潜力,运用现代科学技术,把种植业、养殖业,甚至相关的加工业有机的结合,多物种共生、多层次配置、多级质能循环利用高产、高效集约生产形式,达到高度利用自然资源,增进土壤肥力,减少环境污染,保持生态平衡,获得更多的物质能量,促进经济、生态和社会效益的统一,使农业生产处于长期的良

性循环中^[3, 4]。

立体多元农业是以最大的经济效益为目标，达到合理的投入产出比例，因此它强调科学的管理和合理的物质投入，同时注意维护生态平衡，减少环境污染，使农业系统长期处于良性循环之中，达到持久稳定的经济产出。立足于单位面积土地立体空间资源的开发利用，具备空间的广延性和时间的延续性，同时立体多元农业还注重多物种、多层次、多时序、多级质能多种产业的结合。它研究的中心内容：提高能量、自然资源利用率和物质转化率，研究利用生物种类、时空结构、食物链循环、气候条件、配套技术和区域布局。

1.3 立体多元农业的模式与结构

1.3.1 模式与结构的概念和相互关系

立体多元农业是由多物种（动物、植物、微生物）、多层次、多级智能循环转化的农业生产方式，因而物种与物种之间、层次与层次之间、质能级与质能级之间就有一个如何组合才能各得其所，从而获得最大整体效益的问题。这个问题，涉及五个基本要素：一是物种种类；二是各个物种的空间排列；三是每个物种的时序排列；四是每个物种之间形成的食物链环；五是保障最佳整体机能的环境条件和配套技术。也就是说，必须确定在什么时间、什么空间、用什么方法（技术）把哪些生物种类组装起来，这是立体农业研究的核心问题。通常，人们把多物种、多层次、多级质能循环的组合方式称为模式；而把组合模式的基本要素——物种、空间、时间、食物链、技术等称为结构，以便研究它们之间的内在规律。

立体农业结构是构成立体农业模式的基本要素，即物种要素、空间要素、时间要素、食物链要素、技术要素及其量比关系。在一定地区和一定条件下，立体农业模式是相对稳定、可重复的，并且具有一定的数量标准。这种稳定性是建立在各种组合要素的有序结合基础上，所以各种组合要素又称为结构，即物种结构、空间结构、时间结构、食物链结构、技术结构。结构与模式是相辅相成的，结构是构成模式的基本单元，模式是结构的体现。结构改变必然导致旧模式的破坏和新模式的建立。

从系统论的观点看，立体农业模式是在一定范围内的人工生态系统，这个系统包含三个以上物种结构或三个以上生产环节。这既是一个生产系统，也是一个技术系统和经济系统。一方面是模式中各种生物在整个资源环境中以特有的结构形式形成有机网络；另一方面是人类的干预，利用合理的结构设计和技术投入（技术结构），改造和提高这个生态系统，使它具备明显的社会经济特征，因而构成农业生态—技术—经济综合系统。

立体农业模式和结构系统的建立，把立体农业概念具体化了。通过对五种结构——物种、空间、时间、食物链、技术等结构的研究组合，就可以达到优化模式的目的。这对生产实践中生物种类组合的选择、株行距和饲养数量的调整，以及提高模式内部物质转化率等，都有重要的指导意义。

1.3.2 立体多元农业类型的划分

随着立体农业研究的深入,对各种立体农业模式的研究正逐步从定性向定量的方向发展,对立体农业模式的评价也逐步从单因素向多因素的综合评价转化。为了便于立体农业模式的评价、优化和推广应用,根据立体农业多物种、多产业的特征,遵循一业(物)为主、注意整体性和系统性、坚持同一性与关联性相结合的原则,以及当前实际应用情况、立体农业分类主要按照类型、模式、结构三个单元层次划分,从而构成其分类体系。

1. 类型:是立体农业的一级分类单元,它建立在以产业为主的基础上,由相似的模式组成。主要有以下几种:

(1) 按产业部门的主次可分为:农业型、农林型、农牧型、综合型或种植业立体型、养殖业立体型、畜牧业立体型、水产业立体型等;

(2) 在农牧型前面冠以“混”字可分为:混农林型、混农牧型、混林牧型等;

(3) 按生物组合和营养供需关系可分为:多层次利用型、综合利用型、物质循环利用型等;

(4) 按空间位置可分为:空间立体利用型、食物链循环利用型、复合立体利用型等。

2. 模式:是立体农业的二级分类单元。它是各种立体结构构成要素的组合形式,而且是在一定地区和条件下,具有相对稳定的、可以重复的、具有某些定量指标的组合形式。结构共性是模式存在的基础,结构的优化必然导致模式的优化,而模式的优化是立体农业研究的基本内容和目标。我们从类型与农业直接关联的特点出发,根据一业(一物)为主的原则,兼顾生产条件和实际内容,将实践中的各种立体农业模式划分为大田(旱地)立体农业模式、林地立体农业模式、水体立体农业模式等。

3. 结构:结构是立体农业最基础的分类单元,也是立体农业模式的构成要素。通过物种、空间等五种机构的研究组合,就可以促使模式优化选择^[5-7]。

1.3.3 立体农业模式设计原则

如何根据立体农业结构的特性,组装高效益的生产模式,是实践中经常碰到的问题。装配立体农业模式必须遵循以下原则:

1. 整体性原则

组合各种结构要综合考虑模式内部的整体协调,使立体农业模式形成一个整体性的系统。例如考虑五大结构中的任何一个时,要同时考虑其他四个结构;组配一个具有地形梯度的地域性立体布局时,农林牧副渔各业要形成一个有机的整体,同时要兼顾经济、社会、生态三大效益。如果单纯追求眼前的经济效益而盲目扩大种植比例,毁林开荒,从局部看经济效益是大的,但从整体看,由于比例失调,整体功能将下降。

2. 互相联系原则

即在组成各种模式的结构单元之间,要形成互利共存的联系关系。如物种结构内

部的植物、动物、微生物之间，物种结构和空间结构、时间结构、技术结构之间，都要互相依托、互相协调、以便发挥整体的性能。

3. 有序性原则

平面农业生产总是不同程度地简化生态系统中能量与物质转化的环节，导致系统功能下降，而立体农业是理想的人工生态系统，由于加入新的生产链环，使物质在多层次结构内转化、分解、再生，并随着输入物质与能量的增多，旧的平衡被打破，借助各种结构之间的自我调节作用，形成有序度更高、节奏更和谐、功能更复杂的新的动态平衡。所以，无论是结构组合，还是时序安排，都应该遵循客观规律，而不是杂乱无章地随意凑合。

4. 动态性原则

任何一个结构及由此结构组成的系统（模式），都是随着时间的推移而不断变化的，因此结构组合时要预测到整个系统（模式）的动态变化过程。在一般情况下，生产中的情况是很错综复杂的，模式设计需要因地制宜，根据资源条件、种植制度、技术水平等进行科学搭配，要注意地尽其力，物尽其用，尽可能增加层次，提高光能利用率；注意利用生物的互补效益；注意时间差、季节差，长短结合，取长补短，充分利用时间与空间；注意物质转化和增值，增加食物链，形成物质转化的良性循环。

一个理想的立体农业模式，应该具备以下四个特征：

能最大限度地提高光能利用率 要层次结构适中，时空利用充分，光合作用面积大、时间长，能够大幅度提高第一性物质生产量。

能实现生物种群间的最佳结合 要物种搭配合理，能充分发挥生物间的相生相克作用，共处互促，取长补短。

能实现生物产品的多层次利用 即尽可能引入转化链或加工链，实现物流和能量的高效率转换，获得最高的生物产量和经济效益。

能实现农田生态的良性循环 必须在获得最大的经济效益的同时，更好地保护和培育资源，培肥土壤，保持土壤肥力的永续作用^[8-12]。

1.4 立体多元农业国内外研究进展

1.4.1 国外研究现状

当今世界农业面临许多挑战，亚非国家为了解决人地矛盾和粮食长期不足，西方国家为了摆脱石油化学给农业带来的能源、生态危机，纷纷在农业领域里进行“平面单一式”向“立体复合式”的技术改革，力图寻找一条资源节约型的农业发展道路。国外立体种植和立体养殖，旨在有限的土地与空间，获得充分的农业产出和生态平衡，巧妙利用各种动物植物在生长过程中的时间差和空间差，进行错落组合，综合搭配，构成多物种、多层次、多功能的高效生态系统。国外立体开发已取得了不少成功的经验，尤其是在热带、亚热带地区“立体农业”被普遍地接受并行之有效的开发实践。

美国应用很广泛的向日葵、玉米、高粱等高秆作物和大豆、菜豆、甜菜等矮秆

作物间作, 亚洲一些国家的水稻与甘薯、南瓜和谷子套作, 一般仅限于一年生农作物之间的间作套种。在一些国家农林混作的方式非常普遍, 并且经历了漫长的栽培历史。尼日利亚人工幼林与粮食作物间作的面积达 $2 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。泰国农民庭院内经常采用芒果树与作物间作, 北非和地中海地区普遍采用油橄榄、柑橘、葡萄等与水稻、小麦、玉米间作。拉丁美洲大力推广破布木、桃花心木或果树等乔木与香蕉、可可、咖啡、胡椒等间作, 除了收获农产品外, 每亩还可以采伐 14m^3 的杂木。墨西哥在破布木树林间作玉米, 节约造林费的 27%^[13-16]。

日本学者久宗壮认为“对于人多地少、山地占 85% 的日本, 立体农业是维持众多人口食物需求的重要途径。”他着手建立了一家立体农业研究所, 从事水田、旱地、果园、养鸡、蘑菇等相结合的立体种养的实践和研究, 并先后发表过《重建日本和立体农业》等著作。法国专家在理论研究中认为: 立体农业是一种让人们在缺乏耕地情况下去努力方式, 更有空间超前的意识。意大利学者认为农林或农林牧三者的结合才是“立体农业”最佳的集约经营方式。荷兰寸土寸金、填海造田, 还拿出 14% 的土地营造农田防护林, 对农林立体种植独具理解^[17, 18]。

国外立体多元农业的发展经历了混作——多层间作——混农林(牧)业——立体多元农业的过程。虽然在实践过程中各有所指, 但基本内容也是从充分利用单位面积土地的农业资源出发, 进行多层次立体利用。

1.4.2 国内研究进展

中国是一个人多地少多山的国家, 要实现农业上新台阶, 改善人民食物结构, 保证国民经济的快速、持续、健康发展, 在国家目前比较重视农业发展的前提下, 各级政府内和领导十分重视和支持的劳动密集型与技术密集型相结合的立体农业, 把立体多元农业作为“科教兴农”的重要内容和农业发展的战略措施。

我国立体农业大量的科学实验和富有成效的生产实践, 已经把其理论研究提到重要的日程上来, 这种研究不仅能为指导生产提供理论依据, 而且能为各有关农业自然科学和社会科学的有机联系提供一个“立脚点”, 即强调农业技术的综合性, 促进这些学科自身的发展。目前, 从东北林区到珠江三角洲直至海南胶园、稻田, 从黄淮海平原到云贵高原, 从长江中下游流域到西部新疆绿洲, 全国已有 23 个省 1000 多个县(市)都在开展不同规模的试验、示范和普及推广适合各自特色的立体农业组合模式。据不完全统计, 全国各地已创造出几十种类型上千个组合模式, 推广面积达数亿亩, 并进一步完善和制定出一系列的有利于发展立体农业的政策和措施, 保证立体农业沿着正确的轨道发展。如四川、江西、福建、云南等丘陵山区进行农林牧果渔不同海拔的垂直梯度的综合开发; 山东、河北、河南等平原地区实行一年多茬口的立体种植及林粮、桐粮、枣粮间作; 福建、四川、广西、湖南等南方稻区实行稻田养鱼、稻萍渔立体种养; 海南、云南等热带和亚热带地区进行胶、茶、药、菜、果、咖啡、胡椒等多层次的种植; 吉林等寒温带林区推广林参、林药立体种植; 浙江等地柑橘行间和葡萄棚下种植水稻、蔬菜, 饲养牛蛙、鱼类等。总之, 立体农业在充分利用自然资

源和社会资源的潜力，提高单位面积产量，增加经济效益等方面，已成为具有中国特色的现代集约持续可发展农业的一个重要组成部分，在我国国民经济中发挥其独特的作用，展示了强大生命力^[19-21]。

近十多年来，我国农业科研机构在不同程度上对立体农业理论和实践进行研究，并取得了较好的进展。1998年山东省推广立体多元种植面积达 $16.6 \times 10^5 \text{hm}^2$ 以上，每年可增值 125 亿元，复种指数以提高到 160% 左右。到 1998 年四川省科学技术协会已经在四川省 150 多个县，推广了 50 种优化结构立体多元农业模式，有 573 万户农民参加，面积达 $34.873 \times 10^5 \text{hm}^2$ ，增产粮食 $12.91 \times 10^9 \text{kg}$ 、增收现金 17.67 亿元，每 667m^2 增产粮食 25kg，现今 33.8 元。1992 年陕西省农作物立体种植面积已达 $13.333 \times 10^5 \text{hm}^2$ ，新增粮食 6.5 亿千克，新增产值 8.9 亿元，全省 1/3 面积达到立体多元种植的规范化、标准化^[22]。

1989 年河北省在 12 个地、市大力推广粮粮、粮棉、粮菜、粮油、粮药五大类型立体种植模式，据 1996 年统计全省推广以粮为主的立体种植面积达 $80.7 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，年总产粮食 $84.5 \times 10^9 \text{kg}$ ，总产值 221.5 亿元，粮食产量和产值分别占全省粮食总产和种植产值的 30.5% 和 31%。其中，庭院立体农业更显示它特有的优越性，在 1200 万农户中，有 765 万户进行立体种养和加工，占全省总农户的 63.75%，折合开发耕地 $13.27 \times 10^4 \text{hm}^2$ ^[23]。

当前，中国立体农业发展的趋势为：从种植内部向农林牧副渔各业发展；从物质生产的时空利用项物质的多级循环转化；从农田综合利用向整个过土地域，向山坡、水面、荒地、庭院隙地的立体开发延伸。在区域开发上，要坚持立体农业开发与区域农业综合开发相结合，在经营方向上，坚持立体农业开发必须以市场为导向的指导思想，在技术路线上，坚持立体农业开发必须以科技为先导的方针，在普及推广上，坚持因地制宜、分类指导的原则，再增强后劲方面，坚持加强立体农业科学研究，在加强领导方面，坚持投入、强化基础建设和社会化服务。但是，总体来说，我国立体农业技术还处于初级阶段，只是从本地出发，研究和筛选适合本地优化组合模式，而对模式内部结构间相互关系，从定性向定量方向发展，模式综合评价等理论与实践有待于进一步研究。

1.5 河流故道区立体农业的研究目的及意义

主要研究合理配置优势资源，建立林果、药材、粮食蔬菜等多元一体的立体高效农业生产模式，研究节水节能，充分利用时间、空间、光热、能源的林药粮优化组合，使生物种群间相依共存，互为提供生存条件，达到降低资源消耗，减少生产投入，农业增效、农民增收的目的。

同时，充分利用光、热、时空，进行立体农业配置技术研究，获取生态效益和经济效益。既能改善生态环境，又可以合理配置资源，挖掘资源潜力，充分利用光热时空，提高生产效率，促进农业的持续发展。对恢复植被和生态环境，促进河流故道区农业的可持续发展，增加农民收入，振兴农村经济，具有重大意义。

2 材料与方法

2.1 试验区自然概况

试验区设在华北平原腹地--保定安国进行。安国市位于保定市南端,地处京、津、石三角中心地带,处于环京津和环渤海经济圈中,距京、津、石、保,分别为235、250、113、50km,西距京深高速公路、京广铁路37km,东距京九线50km。1991年8月,根据国务院批准,安国县建制改为安国市(县级市)。现设5个乡,5个镇,1个办事处,下辖198个行政村,总人口39.5万。

安国市位于北纬 $38^{\circ}15' \sim 38^{\circ}35'$,东经 $115^{\circ}10' \sim 115^{\circ}29'$ 之间,总面积 486km^2 ,境属太行山东麓山前扇缘平原向冲积平原过渡地带,母质以洪冲积母质为主,地势自西北向东南缓倾,自然坡度 $1/2200$,海拔高程在36.2m左右,属于温带大陆性半干旱季风气候区,大陆性气候特点明显,年均温 12.3°C ,一月份均温 -4°C ,七月均温 26°C ,无霜期187d,年日照2685.3h,年均降水量510mm左右,主要集中在7、8月份,四季分明,湿热同季,日照充足。境内河流较多,主要有横贯北部的孝义河,横贯南部的沙河、小清河、磁河,在市南部汇合成潞龙河。试验地就设在潞龙河故道区下游安国市西固村。

安国古称祁州,是全国最大的中药材集散地,素以“药都”和“天下第一药市”享誉海内外。安国市在中药材种植、加工、制药、贸易方面兴旺发达,独具特色,在中国中医药业占据重要地位。它拥有全国最大的中药材专业市场—东方药城,年贸易额40亿元,中药材种植品种纯正地道,基地化种植,面积10余万亩,年产量3万吨。传统的中药材加工技艺的精湛,安国曾以“祁州四绝”名扬天下,赢得了“草到安国方成药,药到祁州始生香”的美誉。

随着人口增加,土地资源的减少,如何提高土地利用率,增加单位面积产值,安国市开展立体种植、错季种植,将田埂、地堰、沟边、渠旁都地种上了各种药材。遵照“生态优先,生态、社会和经济效益并重,长短结合、以短养长”的原则,依托“药都”优势,推广林药间作,既符合国家退耕还林政策补助范围,又可在短期内取得较好的经济效益,受到广大农村群众的欢迎。立体化、多元化的种植模式,使安国的药材年产量占全省65%而成为全省乃至全国的中药材种植基地。安国市拥有六大药材规模种植区,产量占整个药材种植面积的半数以上。

2.2 供试材料

2.2.1 试验地基础地力

试验地设在潞龙河故道下游安国西固村。全村主要种植药材和果树,农民采用传统种植、施肥习惯。由于以前曾为潞龙河河道,以沙质土壤为主,土壤养分含量偏低,增加施肥量能达到显著增产。

表 1 试验地区土壤物理性状

Tab.1 The physical properties of soil for experiment place

指标	质地	速效 N mg/kg	速效 P mg/kg	速效 K mg/kg	容重 g/cm ³	比重 g/cm ³	孔隙度 %
紫菀地	砂壤质洪冲积潮褐土	41.1	1.70	56.3	1.42	2.69	47.2
平均地	砂壤质洪冲积潮褐土	45.8	2.25	61.1	1.42	2.69	47.2

2.2.2 供试植物

试验所采用的模式为果树与药材间作。果树以梨树为主，梨树为 14 年生的黄金、丰水、水晶。药材为紫菀（Tatar Rootrian Aste）、半夏（Pinellia Tuber）、防风（Sapohshnikovia divaricata）、瓜蒌（Snakegourd Fruit）^[24, 25]等。

2.3 试验方案

2.3.1 研究思路

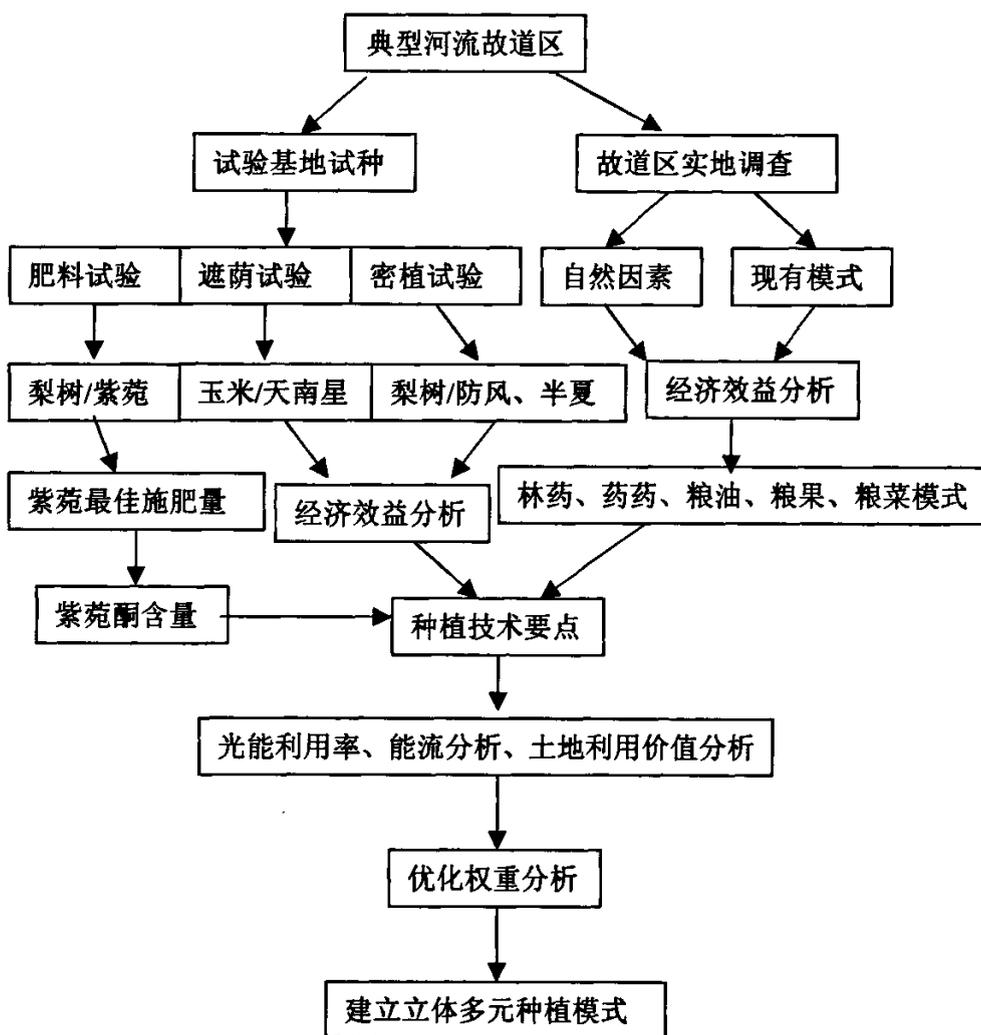
实地调查：试验地安国市滹沱河故道区基础资料及现有种植模式调查。河北省廊坊永定河故道区、石家庄滹沱河故道区、唐山滦河故道区等进行自然条件及现有立体种植模式调查。

布置试验地试种：分设不同养分状况和不同种植密度试验，寻求最佳施肥量与最佳种植密度，遮荫试验寻求玉米天南星的最佳种植比例，以及不同种植模式对药材药用成份的影响。

调查材料整理：计算河北省其他河流故道区立体种植模式经济效益，总结技术要点。对调查模式进行光能利用、能流、土地利用价值分析。

推出结论：对调查的所有模式进行优化权重分析，得出适合河北省河流故道区的立体多元农业种植模式

研究路线：



2.3.2 试验区设置

梨树/紫菀肥料试验：

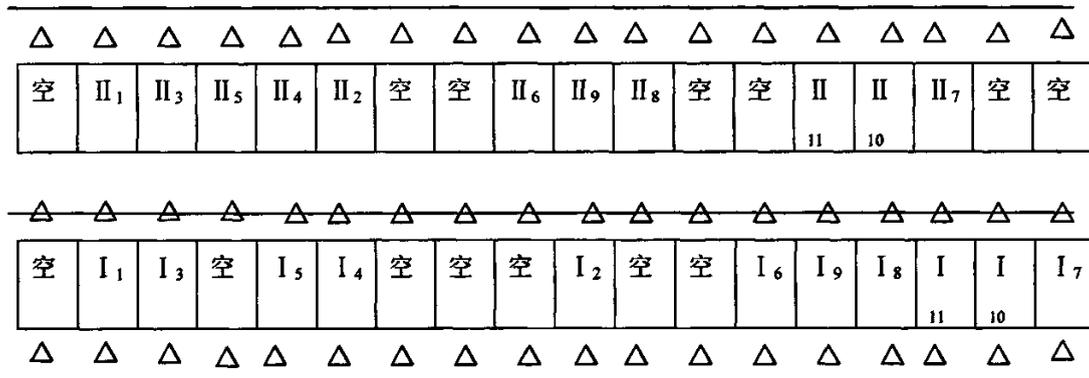
梨树为 14 年生黄金和水晶，梨树胸径 13cm，冠幅 175cm，株距×行距为 5m×5m，6、7、8 月份梨上市之前郁闭度达到 90%以上。在梨树中间种植紫菀，紫菀采用三因素二次 D-饱和最优设计——311B 方案，即 3 因素 11 处理 B 方案。设计的编码值及施肥量见表 2，重复两次，随机排列，每个小区面积 1.6×3=4.8m²。梨树/紫菀田间布置见图 1。

施用肥料为尿素（46%）二铵（N16%，P₂O₅46%）硫酸钾（K₂O48%）。施用肥料的 60%作为底肥在紫菀种植前施入，40%作为追肥在紫菀的开花抽薹以后施入，以便促进根部生长。分别 2006 年 7 月 22 日、9 月 21 日、2007 年 3 月 14 日，对紫菀的生物量、土壤养分含量、紫菀产量进行取样分析。

表 2 紫苑各小区施肥量

Tab.2 The different fertilization quantity at different fertilization treatments

小区号	代码	施氮量 kg/667m ²	代码	施磷量 kg/667m ²	代码	施钾量 kg/667m ²
1	0	45.0	0	20.0	2.45	50.0
2	0	45.0	0	20.0	-2.45	0.0
3	-0.751	28.6	2.106	40.0	1	41.1
4	2.106	90.0	0.751	27.1	1	41.1
5	0.751	61.1	-2.106	0.0	1	41.1
6	-2.106	0.0	-0.751	12.7	1	41.1
7	0.751	61.1	2.106	40.0	-1	17.3
8	2.106	90.0	-0.751	12.7	-1	17.3
9	-0.751	28.6	-2.106	0.0	-1	17.3
10	-2.106	0.0	0.751	27.1	-1	17.3
11	0	45.0	0	20.0	0	25.0



(注：梨树：△，两边各有 18 棵梨树，36 个小区)

图 1 梨树/紫苑田间布置图

Fig1.The field arrangement plan of the pear / Tatar Rootrian Aste

梨树/防风密植试验：

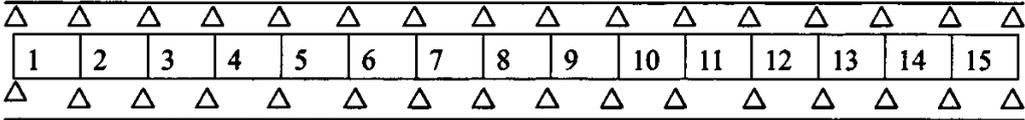
梨树为 2 年生绿宝石，胸径 10cm，冠幅 80cm，株距×行距 5m×5m，在梨树中间作不同行距防风，观察在相同株距不同行距下对防风经济产量影响，寻找最佳种植方案。收获后，对防风产量、防风根级别以及不同级别防风根所占比例进行测定分析比较，得到梨树/防风系统中，防风的最佳种植密度。

小区面积：5m×3m=15m²，防风株距紧密 30cm，行距：20，30，40，50，60cm。5 水平、3 重复、15 个处理，共计 225m²。使用六寸山防风苗，施鸡粪作底肥，梨树 3kg/棵复合肥，对防风共施用 25kg 二铵，1000kg 家畜圈肥。

表3 各小区防风相同株距下不同行距

Tab.3 The different row spacing of the sapohshnikovia divaricata at areas

区号 Areas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
行距 cm	20	20	20	30	30	30	40	40	40	50	50	50	60	60	60



(注：梨树：△，两边各有16棵梨树，15个小区)

图2 梨树/防风田间布置图

Fig2.The field arrangement plan of the pear / sapohshnikovia divaricata

梨树/半夏密植试验：

梨树为13年生丰水，胸径14cm,冠幅180cm，株距×行距为5m×5m，6、7、8月份梨上市之前郁闭度达到90%以上。梨树行距中间作半夏。试验设置6水平、18处理、3重复。小区面积2m×3m=6m²，18个小区，共计126m²。

I：株距：3,8,13cm

II：株距：3,8,13cm

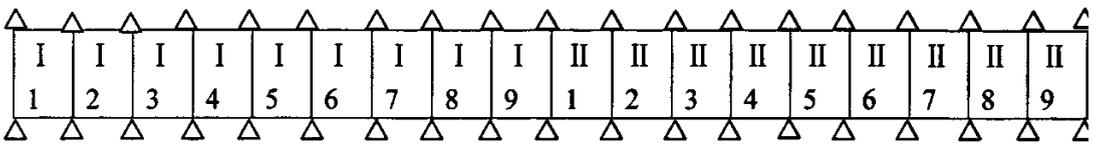
行距：15,15,15cm（13行半夏）

行距：30,30,30cm（6行半夏）

表4 半夏不同小区的株距、行距

Tab.4 The different row spacing and distance plants of Pinellia Tuber at areas

小区 Areas	I 1	I 2	I 3	I 4	I 5	I 6	I 7	I 8	I 9
密度 cm Density	3,15	8,15	13,15	3,15	8,15	13,15	3,15	8,15	13,15
小区 Areas	II 1	II 2	II 3	II 4	II 5	II 6	II 7	II 8	II 9
密度 cm Density	3,30	8,30	13,30	3,30	8,30	13,30	3,30	8,30	13,30



(注：梨树：△，两边各有17棵梨树，共20个小区)

图3 梨树/防风田间布置图

Fig3.The field arrangement plan of the pear / Pinellia Tuber

2.4 测定方法

2.4.1 土壤指标测定

土壤质地：筛选法

土壤养分：速效氮（N）：碱解扩散法；速效磷（P）：碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法；速效钾（K）：碳酸铵浸提火焰光度法。

2.4.2 生物量测定

分别在 2006 年 7 月、9 月底对所有试验区进行生物量测定。药材采用“样方收获法”，全挖称鲜重（入药部分），再取其中的一部分（1/3-1/4）做样品^[26-31]。样品带回实验室，在自然条件下风干，称干重，计算干鲜重量比，并换算出整个小区的生物量干重，最后分析不同施肥量对生物量的影响，寻找最佳施肥量。

2.4.3 药材品质测定

紫菀酮的测定在河北省安国市药都集团采用专业仪器测定。检测方法采用 2005 版《中国药典》规定高效液相色谱方法^[32]。

2.5 数据处理与统计

数据处理采用农业试验统计分析软件、SPSS 和 Excel 分析软件；优化模式采用作物产量分析法、经济效益分析法、土地利用价值分析法等。

3 结果与分析

3.1 河北省河流故道区果药立体种植模式研究与效益分析

3.1.1 不同处理对紫菀生物量的影响

一般果树生长 5 年后，行距内已形成较荫蔽的环境，透光度一般在 30% 以下，郁闭度接近 100%，为喜阴药材提供阴凉环境。本实验选用梨树为 14 年生黄金和水晶，梨树下间作紫菀。紫菀采用三因素二次 D-饱和最优设计-311B 方案。

紫菀 *Tatar Rootrian Aste*，又名小辫、清菀、返魂草等，菊科紫菀属植物，多年生草本。根茎入药，润肺止咳、化痰，主治支气管炎、咳喘、咯血等。主要分布在河北省安国市境内，山西、陕西、内蒙古亦有分布。喜温暖湿润气候，怕干旱，耐寒性较强，根能越冬，对土壤要求不严，除盐碱地和沙土地外均可种植。性温，味苦、辛。

根据 D-饱和最优设计 (311B) 编码值，计算不同处理的施肥量及紫菀产量见表 5。以不同处理的紫菀产量与设计模型相拟合，建立氮、磷、钾肥效方程：

$$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3+b_{12}X_1X_2+b_{13}X_1X_3+b_{23}X_2X_3+b_{11}X_1^2+b_{22}X_2^2+b_{33}X_3^2$$

式中， X_1 ——N kg/hm²， X_2 ——P₂O₅ kg/hm²， X_3 ——K₂O kg/hm²，Y 为紫菀根鲜重。

$$Y=16229.28+118.0663X_1+393.6893X_2+1201.31X_3+766.416X_1X_2-497.794X_1X_3+10.5482X_2X_3-261.847X_1^2-230.319X_2^2-268.743X_3^2 \quad (\text{方程一})$$

经 λ^2 检验， λ^2 值为 $0.80 < \lambda^2 (0.05) = 19.68$ ，表明该方程模拟的理论值与实际值差异不显著，由于梨树根系、试验小区相邻较近等因素的影响，本研究仅对因素效应、误差变异以及剩余变异等项的平方和与自由度进行分解，作方差分析表明，地区间差异及内部多种变异的剩余变异达到了显著水平。

表 5 各处理施肥量与产量

Tab.5 The different yield and quantity at different fertilization treatments

项目 Items	施 N kg/4.8m ²	施 P ₂ O ₅ kg/4.8m ²	施 K ₂ O kg/4.8m ²	产量 Yield kg/4.8m ²	产量 Yield kg/hm ²
1	0.324	0.144	0.360	7.6	15841.25
2	0.324	0.144	0.000	6.1	12714.69
3	0.206	0.288	0.296	6.4	13340.00
4	0.648	0.195	0.296	7.8	16258.13
5	0.440	0.000	0.296	6.3	13131.56
6	0.000	0.091	0.296	6	12506.25
7	0.440	0.288	0.124	7.1	14799.06
8	0.648	0.091	0.124	5.9	12297.81
9	0.206	0.000	0.124	5.5	11464.06
10	0.000	0.195	0.124	5.4	11255.63
11	0.324	0.144	0.180	7.1	14799.06

对上述方程一进行计算机优化处理，提出了氮、磷、钾肥合理配比的施用量 N: P₂O₅: K₂O 为 115.8: 292.5: 303.5, (每公顷),紫菀产量为 16049.69kg/hm²。

对紫菀生长期 (7.22) 和开花抽薹期 (9.21 追肥) 的生物量进行测定, 观察生物量的变化趋势。紫菀株高的变化趋势为 (图 4): 7 月 22 日和 9 月 21 日两个时期, 处理五、九为施用不同的氮肥、钾肥, 不施用磷肥, 在生长期紫菀株高最高, 但在追肥以后, 紫菀的株高与生长期相比变化不明显。说明磷肥对紫菀生长期影响显著, 增施磷肥能够促进紫菀植株的生长。处理六、十为施用不同的磷肥、钾肥, 不施用氮肥, 在生长期株高处于较低的水平, 但追肥以后, 紫菀的株高的较高., 施用氮肥对紫菀生长期株高影响较大, 开花抽薹期影响不明显; 增施氮肥能够促进紫菀生长。

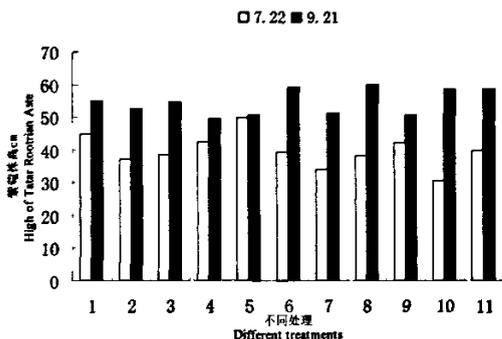


图 4 不同施肥水平下株高的变化

Fig4 .The variational curve of high of Tatar Rootrian Aste

紫菀在生长期 7.22 以前, 主要植株生长, 施用肥料的 60%作为底肥主要供给植株生长, 40%作为追肥在开花抽薹期施入, 主要供给根部生长。从生长期到开花抽薹期植株变化 (图 5) 可知, 生长期植株积累的干物质与钾肥的施入量有关, 当不施钾肥时 (处理二) 干物质积累最少, 当钾肥施入量较高时干物质的积累量也较高; 开花抽薹期紫菀植株的干物质与生长期相比有明显增加, 与空白对照相比, 不施肥干物质的积累最低。

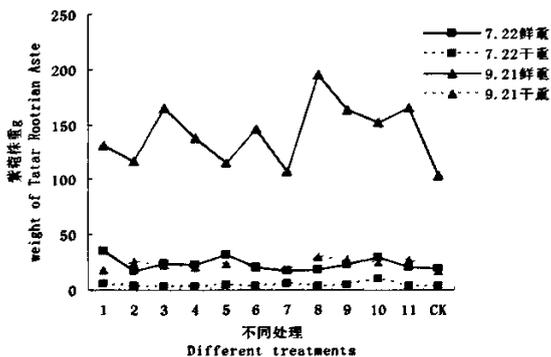


图 5 不同生物期紫菀株鲜重、干重的变化曲线

Fig5 .The variational curve of weight of Tatar Rootrian Aste at different biological time

3.1.3 不同处理对紫菀酮的影响

紫菀 (Tatar Rootrian Aste) 根茎入药, 主要化学成分为紫菀酮 (shionone)、槲皮素、无羁萜、表无羁萜和挥发油, 尚含紫菀皂甙 (astersaponin), 水解得常春藤皂甙元 (hederagenin)。紫菀药效的主要成分为紫菀酮, 它可刺激胃粘膜感受器, 反射性地兴奋迷走神经中枢, 增加气管或支气管分泌, 使气管分泌量增加, 祛痰作用显著, 此外, 紫菀酮还具有抗菌消炎的作用^[33-35]。通过试验对比在不同施肥处理下紫菀酮的含量变化, 以及梨树/紫菀复合系统与大田单作中紫菀酮含量变化。

表 6 不同处理小区紫菀酮含量

Tab.6 The content of the shionone at different fertilization treatments

处理	含量	处理	含量	处理	含量
Treatment	Content %	Treatment	Content %	Treatment	Content %
CK	0.160abc	5	0.135abc	10	0.180abc
1	0.120bc	6	0.185ab	11	0.160abc
2	0.195a	7	0.195a	大田	0.110c
3	0.145abc	8	0.175abc		
4	0.145abc	9	0.150abc		

(注: 各处理的多重比较采用邓肯法, $\alpha=0.05$)

由表 6 可以看出, 处理二与处理七紫菀酮含量最高为 0.195%, 大田紫菀酮含量最低 0.11%。处理二、处理七与处理一、大田相比紫菀酮含量差异显著。CK 与所有处理、大田相比紫菀酮含量差异不显著。由此可见, 在梨树/紫菀间作系统中, 紫菀酮含量与施肥水平差异不显著, 但紫菀酮含量与施肥量之间是否存在必然联系还有待进一步验证。大田单作紫菀与复合系统中紫菀酮含量相比差异显著, 复合系统紫菀酮含量高于单作系统, 但种植方式与紫菀酮含量之间是否存在必然的关系还需要进行大量的实验来验证。

3.1.4 梨树/防风密植试验分析

幼龄果树与药材间套种后, 一般要 2 年至 3 年形成树冠, 才有一定的荫蔽度。在这期间, 合理地套种茎秆低矮、株型较瘦小、较喜阳的中药材品种, 可达到以短养长, 增加收益的目的。本实验采用梨树/防风立体种植。

梨树/防风复合系统, 梨树为新嫁接 2 年生绿宝石品种, 试验小区内梨树总产量为 300kg。由于 2 年生梨树, 枝叶稀疏, 郁闭度较低、梨树行间距较大, 间作作物可充分接受光照, 以弥补幼龄梨树经济效益低的现象^[36-39]。对各个处理间进行多重比较分析 (邓肯法, $\alpha=0.05$), 不同行距防风产量间差异显著, 行距为 20,30,40cm 防风产量达到极显著差异 ($\alpha=0.01$), 行距 50,60cm 防风产量差异不显著。由图 6 可知, 在行距为 40cm 时防风产量最高 21610.8kg/hm², 其次行距 20cm 产量 20010kg/hm²,

当行距为 50cm 时防风的产量最少 15007.5kg/hm²。折干率为 65%。

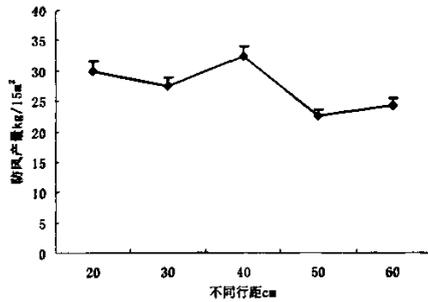


图 6 不同密度下防风产量

Fig6 .The yield of sapohshnikovia divaricata at different density

防风的产量指标包括收获指数（收获量/用种量）、每公顷产量、折干率、商品指数（中直根、大须直根产量/总产量）。对不同行距防风的产量指标分析（表 7），可知行距 40cm、60cm 时收获指数（9.3,9.7）、商品指数最高（100%,100%），行距 20cm 时无论收获指数（4.0）还是商品指数（86.3%）都最低。

表 7 不同行距防风产量指标比较

Tab.7 The target yield of sapohshnikovia divaricata at different row spacing

行距 cm	收获指数	产量 kg/hm ²	商品指数%
Row spacing	Yield index	Yield	Commodity index
20	4.0	20010.0	86.3
30	5.5	18342.5	95.6
40	9.3	21610.8	100.0
50	7.5	15007.5	97.7
60	9.7	16208.1	100.0

防风的收获指数与商品指数呈显著相关（图 7）收获指数与商品指数回归方程 $y=2.1202x+80.655, r=0.9118^*$ 。说明防风商品指数随着收获指数的增加而增加，即收获的防风产量越多，则中直根、大须直根比重也就会越大，经济效益也会随之越高。

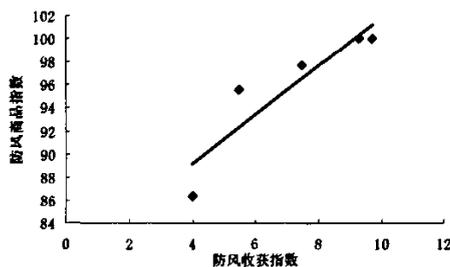


图 7 防风收获指数与商品指数相关性

Fig7 .The relativity of sapohshnikovia divaricata in the yield index and commodity index

防风按级别与价格来说，以中直根级别最高、大须直根次之、小须根级别最低。中直根的比例越大、小须根比例越小级别越高，由图 8、图 9 可知，行距 40cm 时，防风总产量最大，中直根比例 50%左右，生态效益与经济效益最好；行距 20cm 时取得经济效益最差。

从分叉情况来说：30cm > 50cm > 60cm > 20cm > 40cm。30cm 分叉最多，而且根系短小者居多，须根较多。50cm、60cm 根短粗型，有较多须根。40cm 根系，基本没有分叉现象，防风根长、顺、直外观形态最好。

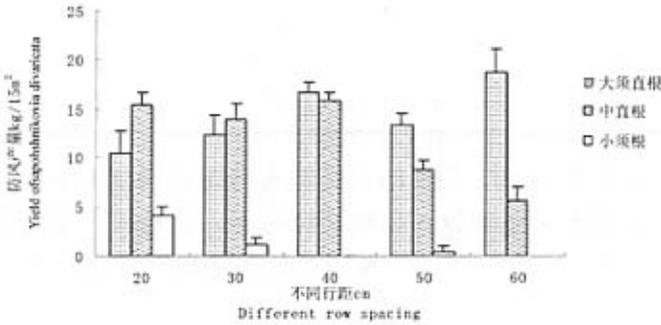


图 8 不同行距下各级别防风产量

Fig8 .The yield of saphoshnikovia divaricata different rank at different density

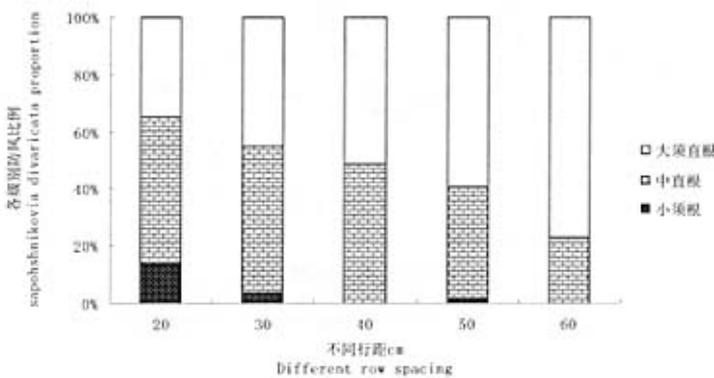


图 9 不同行距下防风不同级别比例

Fig9.The rate of saphoshnikovia divaricata different rank at different row spacing

3.1.5 梨树/半夏密植试验分析

梨树/半夏复合系统中，每个小区内梨树平均产量 170kg/棵，与单作梨树相同面积梨树平均产量 180kg/棵相比差异不显著，各个小区内梨树产量比较差异不显著，可知在梨树中间种植不同密度的半夏对梨树的产量影响不大。

半夏的产量指标包括收获指数（收获量/用种量）、每公顷产量、折干率、商品指数（直径 > 1.5cm 球茎产量/总产量）。由表 8 可知，株行距 3cm×15cm 时，半夏的收获指数、产量、和商品指数最高；株行距 13cm×15cm 时，半夏收获指数、产量和商

品指数最低^[40]。

表 8 不同密度半夏产量指标

Tab.8 The target yield of Pinellia Tuber at different row spacing

处理 Treatments	密度 cm Density	收获指数 Yield index	产量 kg/hm ² Yield	商品指数 Commodity index
1	3,30	3.6	245.7	0.46
2	8,30	3.1	78.9	0.38
3	13,30	1.4	22.2	0.20
4	3,15	4.6	563.2	0.57
5	8,15	4.2	211.2	0.51
6	13,15	3.2	100.1	0.41

由图 10 可以看出，行距 30cm 时，半夏的产量随着株距的增加而减少；行距 15cm 时，半夏的产量随着株距的增加而减少。在相同株距下，半夏的产量随着行距的增加而较少，当半夏株行距 3cm×15cm 时，半夏的产量远远高于其他处理。

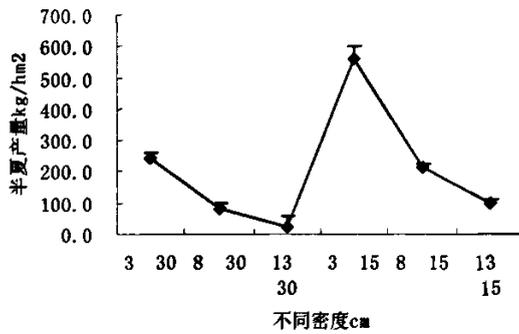


图 10 不同密度下半夏产量

Fig10 .The yield of Pinellia Tuber at different density

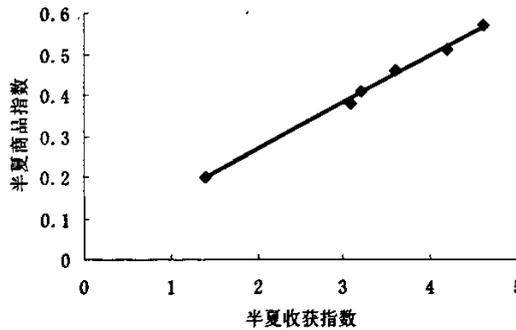


图 11 半夏收获指数与商品指数相关性

Fig11.The relativity of yield index and commodity index of Pinellia Tuber

半夏的收获指数与商品指数呈极显著相关（图 11）收获指数与商品指数回归方

程 $y=0.1146x+0.0378, r=0.9915^{**}$ 。说明半夏的商品指数随着收获指数的增加而增加, 即收获的半夏产量越多, 则直径在 1.5cm 以上的球茎的比重也就会越大。

3.1.6 果药立体种植技术原则

果园中合理间套种药材, 不但可以提高土壤肥力, 改善小区环境, 而且可以抑制杂草生长, 起到“生草覆盖”的作用, 实现果药双丰收。但是, 实践证明^[41, 42], 不是任何一种药材都可以与果树进行立体种植, 一定要严格选择, 合理安排, 趋利避害, 否则会产生不良影响。

果园立体种植要注意以下几个问题: 首先, 要根据不同果树与药材的生物学特征, 组成合理的田间结构。如选用的药材品种要以耐阴性、浅根性为主; 其次, 配置比例要适当, 坚持果树为主, 优势互补的原则; 第三, 要间作套种本地的特优、地道药材; 第四, 要加强田间管理, 互促互利, 控制矛盾, 以确保双丰收。同时, 还要注意不能互相传播病虫害, 所种药材不是果树病虫害的中间寄主等^[43]。

果园间套作药材应遵循以下原则:

根据果园类型间套作。旱地果园只适合套种耐旱药材, 如柴胡、黄芩、黄芪、知母等。水浇地可套种较喜湿润、不耐寒的元胡、附子、北沙参等。山区应套种喜湿、怕热的黄连、党参、麦冬、西洋参等。

根据树种类型间套作。枣树、柿树等发芽较迟的果树, 可套种喜光但有夏眠习性的贝母、元胡等。桃、杏、樱桃、枇杷等果熟期在最热月份到来之前果园, 可套栽喜热的茯苓等菌类药材, 还可利用此阶段树冠的保湿、遮荫作用挂袋生产木耳和银耳。

根据树龄大小、树冠情况进行间作、套作。幼龄果树与药材间套种后, 一般要 2 年至 3 年形成树冠, 才有一定的荫蔽度。在这期间, 合理地套种茎秆低矮、株型较瘦小、较喜阳的中药材品种, 可达到以短养长, 增加收益的目的。如第 1 年至第 3 年, 在 2 米宽的行距中套种桔梗、板蓝根、金银花、蒲公英、西红花、细辛、姜黄等品种; 第 3 年至第 5 年, 随着果树树冠的逐渐增大, 在 2m 至 3m 宽的行距中已形成了较荫蔽的环境, 就要种植喜阴的中药材品种, 如早半夏、紫胡、天南星、黄莲、牛蒡、决明、独活、苍术等^[44-46]。此时树冠较稀疏, 透光率高, 适合如苹果、梨、山楂等则可套栽丹参、百合、天门冬等稍耐阴湿的药材。

成龄果林与药材套种, 果树生长 5 年后, 行距内已形成较荫蔽的环境, 透光度一般在 30% 以下, 为需要生长在此种环境的中药材提供了天然的生长条件。例如, 在果树下秋栽或春栽喜凉爽阴湿、土壤含水量要求较大的天麻, 就是一种较好的果药间套模式。生长前期, 落叶果树叶已掉落, 天麻穴可得到散射光照, 提高了温度, 使天麻种子发芽形成的原生球茎, 能和密环菌提前建立了营养关系, 正常生长、发育, 形成健壮的新生麻。生长中期, 随着气温的逐渐升高已不适合天麻生长时, 果树已形成浓密的枝叶为天麻遮阳降温, 同时通过树叶的光合作用又为天麻生长释放了大量的氧气, 给天麻生长提供了阴凉、潮湿、氧气充足、温度适宜的环境。生长后期, 天麻逐渐进入休眠, 而大量的果树落叶又为天麻安全越冬提供了条件。

3.2 河流故道区林药立体种植模式研究

3.2.1 林药经济效益分析

林药立体种植主要依据“生态优先,生态效益、社会效益和经济效益并重,长短结合、以短养长”的原则。林药间作需要注意以下几个问题:首先,选定的中药材必须适应当地的土壤、气候条件以及与苗木能够生物互补,不能相互传播疾病。其次,根据苗木的树龄和密度选择合适的药材,例如:树冠稀疏、种植密度小的可以选种喜光品种如丹参、留兰香等,树冠浓密、种植密度大的选种喜阴品种,半夏、天南星、紫菀等。最后,苗木与药材间套作还要注意市场价格波动,林药间作模式目的就是以短养长,提高土地利用效率,快速增加农民收入,价格波动太大影响农民收入,可能造成经济损失^[47-49]。

表 9 六种药材基本情况

Tab.9 The basic situation of six medical crops

项目 Items	玫瑰花 Rose	紫菀根 Tatar Rootrian Aste	金银花 Lonicera japonica thunb	半夏根茎 Pinellia Tuber	柴胡根 Red Thorowax Root	白术根 Largehead AtractylodesRhizome
干重 Kg/hm ²	1800	2036	2250	3000	1500	3000
折干率%	70%-75%	20%-35%	25%	25%-30%	25%-35%	30%-35%
单价元/kg	30-40	6-12	20-30	28-30	20-30	20-25
收入千元/hm ²	54-72	12-24	45-67	84-90	30-45	60-75

(注:收入为通常入药部分花、根的毛收入,不包括秧苗、籽粒、果实等;单价波动很大,为当时市场价)

表 10 不同林药组合模式经济收入

Tab.10 The income of the different patterns of forest-medical crops

项目 (千元 /hm ²) Items	玫瑰花 Rose	紫菀根 Tatar Rootrian Aste	金银花 Lonicera japonica thunb	半夏根茎 Pinellia Tuber	柴胡根 Red Thorowax Root	白术根 Largehead AtractylodesRhizome
杨树	84.0	68.3	77.3	108.0	58.5	88.5
核桃	63.0	47.3	56.3	87.0	37.5	67.5
合欢	96.6	80.9	89.9	120.6	71.1	101.1

(注:杨树、核桃树、合欢以4年生取得的效益经济计算,收入为通常入药部分花、根的毛收入,不包括秧苗、籽粒、果实等;单价波动很大,为当时市场价)

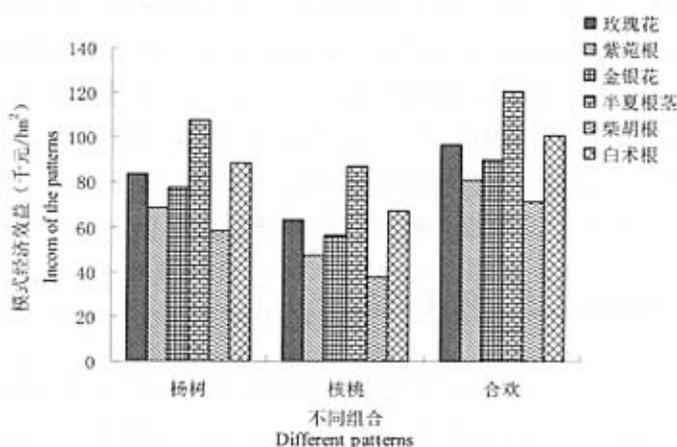


图 12 不同林药模式经济效益

Fig12. The income of the different patterns of forest-medical crops

由图 12 可知，对比 4 年生杨树、核桃、合欢与玫瑰、紫菀、金银花等间作，合欢/半夏取得经济效益最高，杨树/半夏经济效益较好，核桃/柴胡取得经济效益最少。由于核桃 6、7 才为丰产年，第四年一般没有经济收益，6、7 年核桃以为枝繁叶茂的大树，只有喜阴的人参等可以间作，一般在山区间作较多，在河流故道区很少再间作药材。由于半夏的市场价格较高，所以与苗木间作时能取得较大收益，但是半夏田间管理较复杂，赶上天灾虫害可能会颗粒无收。紫菀、柴胡等田间管理简单，对肥、水要求低，易收获。

3.2.2 几种林药间作种植技术要点

1. 杨树/玫瑰混交林：杨树株行距 2m×6m，840 株/hm²，在杨树行间种植玫瑰，玫瑰株行距 1m×1.5m，675 株/hm²。注意田间肥水管理，除虫防病，一般第二年采摘玫瑰花蕾，烘干或晾干成干花，出售。除此以外，玫瑰花籽也可出售。

2. 杨树/紫菀混交林：杨树株行距 2m×6m，840 株/hm²，在杨树间种植紫菀，紫菀株行距 0.3m×0.15m，20 万株/hm²，抽薹时及时剪薹，株高 20cm 时注意掐心，以促进根的生长。一年生，一般第二年 3 月份挖收，主根可作秧苗出售。将紫菀辨成辫状，晾干可售。

3. 杨树/金银花混交林：杨树株行距 2m×6m，840 株/hm²，在杨树行间种植金银花，金银花株行距 1m×1.5m，675 株/hm²。第二年开始采摘花蕾，第三年进入盛花期，鲜花采摘后及时晾干或烘干，上市出售。

4. 核桃/半夏间作林：核桃选择早熟薄皮品种，株行距 3m×5m，660 株/hm²，在核桃行间种植半夏，栽种种茎 1500kg/hm²。注意中耕除草、追肥浇水等，发现花薹除留种外，其余及时剪除，以便集中养分供给块茎生长。当年或第二年夏季可采收，种子繁殖要第三、四年采收。半夏去皮出售。

5. 核桃/柴胡间作林：核桃选择早熟薄皮品种，株行距 3m×5m，660 株/hm²，

在核桃行间种植柴胡,柴胡株行距 $0.1\text{m}\times 0.1\text{m}$,秧苗栽种量 $100\text{万株}/\text{hm}^2$ 。注意田间管理,松土除草、追肥浇水。一般第一年长基生叶,第二年开始抽蔓开花,除留种外及时抽蔓,促进根的生长。播种后第二、三年9、10月份采收。

6. 合欢/白术混交林:合欢株行距 $2\text{m}\times 6\text{m}$, $840\text{株}/\text{hm}^2$ 。在合欢树中间种植白术,白术株行距 $0.25\text{m}\times 0.15\text{m}$,秧苗量控制在 $18\text{--}22.5\text{万株}/\text{hm}^2$ 。及时摘除花蔓,11月中旬采收,及时烘干可出售,籽粒也可出售。

3.3 河流故道区粮药立体间作模式研究

药材与农作物间套作,就是在传统农作物种植的基础上,充分利用农作物的株、行间距,或高秆与矮秆之间的立体空间,以及地下层的深根系与浅根系的颁布规律,相应栽培一些符合生态要求的药材种类,比如在玉米、高粱地里,可于其行间种穿心莲、板蓝根、草决明、菊花、车前、薄荷、紫苏、金钱草、半夏等中草药^[50-52]。近年来由于粮食作物种植密度较高,与粮食作物间作的种植模式已经越来越少见。但在“药都”安国大行距的粮食作物中间间作中药材确实很常见的模式。

3.3.1 粮药间作效益分析

粮食作物与药材间作是安国市普遍采用的种植模式,天南星、半夏为喜阴药材种植在玉米地里,可以防止强光照射,既形成了天南星、半夏喜阴凉的小气候,又可以充分发挥玉米的边行优势,获得好收成。玉米/天南星为例对其经济效益进行分析(表11)。

表12 安国市玉米-天南星经济效益

Tab.12 The income of corn-Arisaema consanguineum schott in Anguo

项目 Items	玉米 Corn			天南星 Arisaema consanguineum schott		
	产量	单价	收入	产量	单价	收入
	kg/hm ²	元/kg	千元/hm ²	kg/hm ²	元/kg	千元/hm ²
	Yield	Univalent	Income	Yield	Univalent	Income
单一玉米	67500-7500	1.5	10.1-11.3	0	20	0
玉米:天南星 (2: 1)	5250	1.5	7.88	1500	20	30
玉米:天南星 (2: 4)	2700	1.5	4.05	3000	20	60
玉米:天南星 (2: 6)	1950	1.5	2.93	3300	20	66
玉米/天南星 (2: 8)	1500	1.5	2.25	3250	20	65

(注: 单价为写论文时市场价, 收入为毛收入, 天南星只计算球茎的收入, 秧苗、种子不计入内)

此种模式经济效益随天南星产量的增加而增加，由于天南星喜阴，又需要玉米创造阴凉环境供其生长，因此，为获取最大经济效益寻求玉米、天南星最佳种植比例。由表12可知，玉米/天南星的间作比例2：4时总收入为64.05千元/hm²，2：6产值为68.93千元/hm²，2：8产值为67.25千元/hm²。种植八行天南星时总产值低于种植六行天南星，2：6为一个转折点，取得最大经济效益。因此，玉米/天南星的最佳种植比例为2：6，即种植两行玉米间作六行天南星。

由表13可知，玉米/半夏间作方式可获得小麦和玉米共计14167kg/hm²，半夏4667kg/hm²，折干率35%折合干品3033kg/hm²，单作小麦玉米共收获14750 kg/hm²。间作方式小麦玉米的产量比单作方式减产583kg/hm²，但增加半夏3033 kg/hm²，产值42千元/hm²，足以弥补小麦玉米减少的损失。

复种指数（指某一地区，全年总播种面积和总耕地面积之比，它是衡量耕地利用程度的重要指标，常用百分数表示）由200%增加到300%，增加了100%，增加效益34.4千元/hm²，具有很高的经济效益。需要注意的是半夏的价格受市场波动影响很大，既可能给农民带来丰厚的收益，也可能带来巨大的损失，因此，农民立体种植时需要综合考虑各方面因素，以切实达到增加收益的目的。

表13 粮药间作与单一粮食产值效益分析

Tab.13 The Output value analysis between grain-medical crops and grain

类型	作物种类	产量 kg/hm ²	单价	产值	总产值	投入	纯收益
Type	Patterns	Yield	元/kg	千元/hm ²	千元/hm ²	千元/hm ²	千元/hm ²
			Univalent	Output value	Income	Input	Net income
间作	小麦	6028	1.5	9.04	63.3	10.3	53.0
	玉米	8039	1.5	12.1			
	半夏	4667	30	42.0			
单作	小麦	6081	1.5	9.1	22.1	3.5	18.6
	玉米	8669	1.5	13.0			

（注：单价为市场价，半夏折干率30%，秸秆产值不计算在内）

3.3.2 玉米/天南星、小麦/玉米半夏种植技术要点

1. 玉米/天南星：天南星*Rhizomaarisaematis*别名，一把伞、南星。为草本植物，属天南星科。药用部分是它的块茎。燥湿化痰，祛风止痉，散结消肿。用于顽痰咳嗽，风痰眩晕，中风痰壅，口眼歪斜，半身不遂，癫痫，惊风，破伤风。生用外治痈肿，蛇虫咬伤。天南星在我国大部分省区都有分布。

“清明”节至“谷雨”节前后，在整好的畦面上，按株行距20cm×15cm栽种天南星，深5cm~7cm，5月份在畦垅上按株距30cm种植玉米，实验证明，6行天南星栽种2行玉米，即可为天南星提供遮荫环境，还可以增加粮食作物生产，提高经济效益。

田间管理要注意：除草追肥，苗高8~12cm时，进行松土除草，宜浅不宜深，只要锄松土面即可。锄后随即施1次人畜粪水，每667m²1200~1500kg，在行间开沟

施入,施后覆土盖肥;第2次于6月下旬,松土可适当加深,并追肥1次量同前次;第3次于7月下旬进行,正值天南星生成旺盛时期,结合除草松土,每667m²施肥1500~2000kg,施后覆土;第4次于8月下旬,结合松土除草,每667m²施尿素15~20kg,对入水中溶化施入,另增施饼肥50kg和适当的磷钾肥,以利增产。排灌水,天南星喜湿,栽后经常保持土壤湿润,要勤浇水,雨季要注意排水,防止田间积水,因为水分过多,易使苗叶发黄,不利生长。摘除花穗:5~6月天南星肉穗状花序从鞘状苞片内抽出时,除留作种外,应及时剪去,以减少养分的消耗,有利增产。

于9月底10月底起挖。过早采挖会造成减产,过迟南星块茎难去表皮。采挖时选择晴天,去掉泥土、残茎及须根。装到筐内,置于流水中,用大竹扫帚反复刷洗去外皮,洗净杂质,放在平坦的地面上暴晒,切不可用硫磺熏制。晒上2天后,中午趁热收起用薄膜罩盖,让天南星发汗,经过3个小时发汗,再继续晾晒,这样中间部分干透了就不会生虫发霉。天南星全株有毒,加工块茎时要戴橡胶手套和口罩,避免接触皮肤,以免中毒。

2. 小麦/玉米/半夏:半夏 *Pinellia Tuber*, 天南星科植物,多年生草本。主产于山东、山西、四川、浙江、河南、甘肃、陕西等地。忌高温、干旱和强光照射,耐阴、耐寒,最适生长温度为20~29℃。适宜在河流故道区栽培。半夏化学成分块茎含挥发油、少量脂肪、粘液质、天门冬氨酸、谷氨酸,又含药理作用与毒芹碱及烟碱相似的生物碱、类似原白头翁素刺激皮肤的物质。

小麦于年前10月份播种,行距30cm,加大小麦行距改善田间通气透光,为半夏的生长创造良好条件。选用丰产早熟,抗倒,单株生产力高的品种,以减少与半夏共生期的不利影响。翌年春分前后,在麦垅内开沟条播,深约10cm,行距15cm,株距5~10cm,用株芽或小块茎在沟内排列成行,播后覆土。

玉米在麦收后及时灭茬,造墒播种,株行距30cm×60cm,亩播种3700株左右。小麦在年前浇一次越冬水,年后及时浇起身水,除草。半夏在田间定植后浇水,保持土表湿润,生育期间,小水勤浇,避免大水漫灌,造成田间积水。7月初在玉米间追施尿素50kg/667m²,并浇水一次。以促进半夏和玉米的生长。

半夏为浅根系植物,每年均经“三生三死”,即出现3次出苗3次倒苗,第1次,4月出苗,5~6月倒苗,第2次,6月出苗,7~8月倒苗,第3次,9月出苗,10~11月倒苗。每次出苗,生长期只有30~40天。在阴凉湿润的条件下,生长可延长一定时间。珠芽萌生初期在4月初,高峰在4月中旬,成熟期为4月下旬至6月下旬,而珠芽增殖数最多的是6月至7月中旬,其中5~8月为珠芽生长期,此时母球茎与第一批球芽茎一起膨大加快,密度增大,对水肥需求量最大。此时注意施肥浇水。

3.4 河流故道区药药立体间作模式研究

药材与药材混种,就是利用生物间的共生关系,并按照各自最佳生态要求,把两种和两种以上的植物种群合理地有机组合在一起,使之产生最大的经济效益。关于这方面的物种组合,主要是考虑喜阳的高层中草药与耐阴低层的中草药相混种;

深根性的中草药与浅根性的中草药相混种；多年生的木本药材与短期生长的草本药材相混种；从而达到充分利用土地和立体空间获取较高生物产量的目的。

药材与药材的立体种植模式，在河北省安国市也很普遍，有些药材生长周期长，短期内达不到经济效益。根据药材的植物学特性，生长习性等，可以采取扩行缩株、合理密植、间套药材、以“药”养“药”的高效套种模式，达到了“当年栽花，当年见效”的目的^[53, 54]。

以金银花为例，根据金银花品种的生长特性，采用适当扩大行距、缩小株距的栽培方法进行穴栽，既有效地利用了土地在一定面积上保证足够的株数，又增强了通风透光条件，从而为提高产量和质量打下了坚实基础。同时，在其行距内套种一些生长周期短、根系较浅、株型矮小的中药材品种，达到以药养花、以短养长的目的。金银花在生长前期，通风透光性好，可以套种紫菀、板蓝根等等，在丰产期郁闭度较高，可以套种喜阴半夏、柴胡、天南星等等。

由表 14 可知，金银花栽种第一年间作药材为主要收益。间作板蓝根、大青叶取得经济效益是 23.25 千元/hm²，金银花效益为 3.0 千元/hm²。第二年间作药材基本不受影响，金银花产量增加，此时取得经济效益最大 31.15 千元/hm²。第三年金银花为丰产年，由于枝繁叶茂郁闭度高不与其他药材间作，金银花产量为主要收入。

表 14 金银花与药材间作效益分析

Tab.14 The Output value analysis between medical crops and *Lonicera japonica* thunb

项目 Items	板蓝根		大青叶		金银花		产值 千元/hm ² Net Income
	单价	产量	单价	产量	单价	产量	
	元/kg	kg/hm ²	元/kg	kg/hm ²	元/kg	kg/hm ²	
	Univalent	Yield	Univalent	Yield	Univalent	Yield	
第一年	4.5	4500	1.0	3000	10	300	26.25
第二年	4.5	4300	1.0	2800	10	900	31.15
第三年	0	0	0	0	10	2500	25

(注：单价为干品市场价，只计算主要入药部分经济效益)

金银花按2m宽作高畦，畦与畦之间，作宽30cm、深10cm的浅沟，在沟内每隔100cm挖一深30cm的方穴，穴内栽花苗两棵，填土踏实，浇水。每667m²栽金银花330穴，共栽660棵，栽后15天保持土壤湿润，即发芽成活。

药材品种不同，其最适宜的采收期也不相同。采收期的确定需根据各品种的生长习性和栽培地的气候条件而定，不得因价格上涨就提前采收，以免导致药效成分含量降低。比如，金银花须待花蕾上部膨大，含苞未放，呈青白色时采收最为适宜；板蓝根在当年6~8月收割大青叶，11~12月份挖取根部；甘草待移栽后的第二年秋或翌年早春发芽前收获，其有效成分含量最高^[55]。

3.5 河流故道区粮油立体种植模式研究

3.5.1 滹沱河故道区粮油组合模式经济效益分析

粮油组合模式包括：小麦、花生、夏玉米、大豆等间作方式，它们是利用高秆作物与矮生豆科作物形态、生理差异配置组合，两者的组合可以分时、分层经济有效的利用光温水等资源，豆科作物根瘤菌还能达到固氮增加肥力作用。以大豆夏玉米间作与夏玉米单作为例，进行经济效益分析。

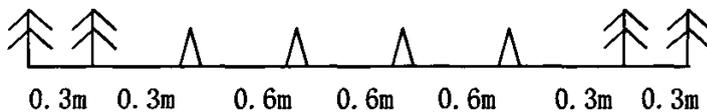
玉米/大豆间作，玉米为大豆创造良好的生长环境，大豆喜阴，气温过高易落叶、落花、落荚，玉米可以给大豆遮阴降温。并且玉米根系发达，喜水喜肥，种在垄沟，可将雨水和浅表层流失的肥料充分吸收，促进大豆的生长。经研究证明，2行玉米间作4行大豆的亩收益最大，经济效益最高^[56]。此外，玉米大豆间作要科学的进行肥水管理，充分利用大豆的根瘤固氮作用培肥地力，协调玉米大豆生长发育特性，分别施肥，使两者互相补充、互相促进和谐生长。由表15可见，间作与单作相比，玉米产量有所减少，但增收的大豆效益远大于玉米减少的效益。夏玉米/大豆间作比玉米单作增效2497~3667元/hm²，增效率达60.77%。

表15 赵县大豆-夏玉米间作与夏玉米单作经济效益

Tab.15 Economic effects of summer corn-soybean and soybean in Zhao County

处理 Treatments	产量kg/hm ²	效益 元/hm ²	增效率 % Efficiency
	Yield		
	玉米	大豆	
夏玉米大豆	6870	2520	60.77
玉米	8190	0	0

种植技术要点：玉米应选择，中秆、叶片收敛、株高2.5m左右，籽粒饱满、光泽好，出芽率不低于85%的适合密植的品种。大豆应选择节间短，不分枝或两分枝抗倒伏的品种。施足底肥，注意追肥，即时间苗、除草除虫，确保玉米、大豆丰收。为促进玉米矮化早熟，并防止大豆倒伏，增加玉米、大豆产量，需喷施矮壮素。喷施时间及方法参照产品说明书。



注：(为玉米，△ 为大豆)

图13 夏玉米/大豆田间布置图

Fig13.The field arrangement plan of the corn / Soybean

3.5.2 永定河故道区粮油棉组合模式经济效益分析

粮棉油组合模式是永定河故道区特有的立体种植模式，棉花/地芸豆/红小豆间套立体种植模式，充分发挥了三种作物的优势，棉花100cm等行距，20cm株距^[57]，通过大行距效应得到高产，同时给地芸豆、红小豆留有足够的生长空间，保证对光热的需求，使有限的土地上光温热的利用达到最佳，以提高土地、水分、光能、养分的利用率。以固安县小麦玉米、棉花、地芸豆红小豆为例，进行经济效益分析。

由表 16 可知，棉花/地芸豆/红小豆间作净效益为 34.17 千元/hm²，比传统的小麦玉米净增收 12.26 千元/hm²，增效率为 64.1%，比单作棉花净增收元 17.37/hm²，增效率高达 103.4%，可见间作系统经济效益较为显著。

表16 固安县棉花-地芸豆-红小豆间套作经济效益

Tab.16 Economic effects of cotton-kidneybean-adzuki bean in Gu An County

处理	作物	产量	单价	效益	投入	净收益
Treatments	Crops	Kg/hm ²	元/kg	元/hm ²	元/hm ²	元/hm ² Net
		Yield	Univalent	Income	Input	income
棉花地芸	棉花	590	12.6	7434	1833	5601.0
豆红小豆	地芸豆	18009	1.8	27014	960	26053.5
间作	红小豆	810	4.8	3888	1370	2518.0
小麦玉米	小麦	7500	1.5	11250	1500	9750.0
	玉米	7500	1.5	11250	1050	10200.0
单作棉花	棉花	1770	12.6	22302	5500	16802.0

(注：棉花按皮棉产量与单价，籽棉不计算在收益内，价格为市场价)

种植技术要点：选用良种、合理密植、加强肥水管理、及时防止虫害。棉花行距 1m 在行距中间种植地芸豆和红小豆，地芸豆和红小豆的行距为 0.4m，棉花与地芸豆、红小豆的行间距为 0.3m。

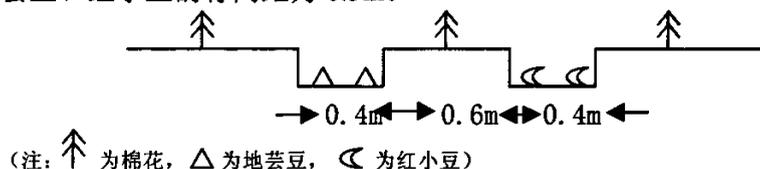


图 14 粮油棉模式田间布置图

Fig14.The field arrangement plan of the pattern of grain and oilbearing crop and cotton

3.6 河流故道区粮果立体种植模式研究

果树种植后，一般要5年后形成树冠，才有一定的荫蔽度。在未形成较大树冠之前，合理地套种茎秆低矮、株型较瘦小的粮食作物，可达到以短养长，增加收益的目的。当果树在5年以上，可以利用时间差，种植早熟品种，再梨树未形成较大荫蔽

度前，收获作物，增加收益。现以永定河故道区的廊坊永清县粮果模式（梨树/花生）为例进行经济效益分析^[58]。

由表17可见，梨树/花生立体种植在不影响梨树（7年生）产量的情况下，花生的净收益4800元/hm²是比单一梨树纯增加的部分，与只种植梨树相比增效率为48.5%。与单一花生相比，梨树/花生模式具有明显的经济效益，能增加8400元/hm²，增效率达133.3%。

种植技术要点：梨树行间距5m，根据树冠的大小决定花生种植密度，以3年生梨树为例，中间2m种植花生，边行花生与梨树的距离为1.5m，花生行距25~30cm。

表17 永清县梨树-花生经济效益

Tab17. Economic effects of pear tree-peanut in Yongqing County

处理 Items	产量 Yield Kg/hm ²	单价 Univalent 元/kg	效益 Economic 元/hm ²	投入 Investment 元/hm ²	净收益 Net income 元/hm ²
梨树/花生	20000+2250	0.9+2.4	18000+5400	8100+600	14700
单一梨树	20000	0.9	18000	8100	9900
单一花生	3750	2.4	9000	2700	6300

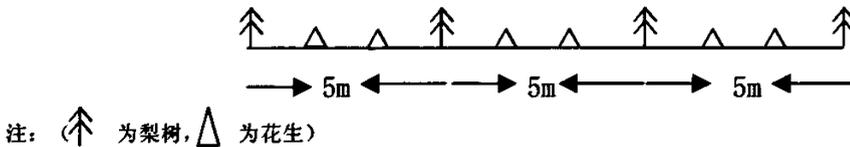


图 15 粮果模式田间布置图

Fig15.The field arrangement plan of the pattern of grain and fruit

3.7 河流故道区粮菜立体种植模式研究

粮食作物与蔬菜间作是利用高秆作物与矮生作物形态、生理差异配置组合，两者的组合可以分时、分层经济有效的利用光温热水等资源^[59]。现以滦河故道区的唐山滦县粮菜模式——大蒜套种玉米复种大白菜模式进行分析。

由表18可见，大蒜套种玉米复种大白菜模式净收益可达45400元/hm²，比单一玉米小麦（净收益19950元/hm²）的传统种植增效25450元/hm²，增效率为127.6%左右。此种模式既能满足粮食生产的需要，还可以获得种植经济作物带来较高的收益。

表18 滦县大蒜套种玉米复种大白菜经济效益

Tab.18 Economic effects of garlic-corn-Chinese cabbage in Luan County

处理 Items	产量 Yield Kg/hm ²	单价 Univalent 元/kg	效益 Economic 元/hm ²	投入 Investment 元/hm ²	净收益 Net income 元/hm ²
大蒜	6000+10500	3.0+1.8	18000+18900	3000	33900
大白菜	12000	0.2	2400	1100	1300
玉米	6750-7500	1.5	10125-11250	1050	9075-10200

种植技术要点：以2.4m做大畦，中间1.2m做小畦种植大蒜行距为0.2m，两侧各0.6m种植玉米，玉米的行距为0.2m，待大蒜收获后，在大蒜田畦内复种大白菜。

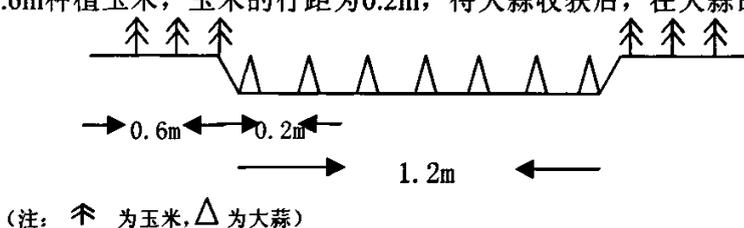


图 16 粮菜模式田间布置图

Fig16.The field arrangement plan of the pattern of grain and vegetable

3.8 河流故道区棉油立体种植模式研究

棉花和花生生长发育特性有明显的互补性，棉花株行距宽，前期生长慢，封行迟，而花生生长较快，生育期较短。棉花与花生间作在棉花进入叶盛生长期前，花生已开始结荚，形成产量，对棉花影响较小，间作增产效果比较显著；棉花与花生的空间互补，有利于增产。棉花通过宽行密株栽培，改善了棉花行间通风透光条件，有利于棉花稳长，增加成桃，减少烂桃，提高品质^[60]。花生有固N作用，可以增加土壤N素营养，花生收获后将花生植株还田可以提高肥力，增加土壤有机质P、K养分。

由表19可知，棉花/花生间作可获得纯收益10.1千元/hm²，与单一棉花相比可增加收益2.5千元/hm²，增效率为32.9%，与单一花生相比可增加收益3.8千元/hm²，增效率为60.3%左右。

表 19 棉花-花生间作与单一种植经济效益分析

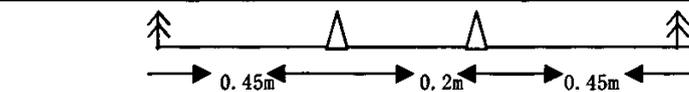
Tab.19 Economic effects of cotton- peanut and sole crops

项目	产量	产值	投入	纯收益
Items	kg/hm ²	千元/hm ²	千元/hm ²	千元/hm ²
	Yield	Output value	Investment	Net Income
间作	3096	13.3	3.2	10.1
单一棉花	1200	15.1	7.5	7.6
单一花生	3750	9.0	12.7	6.3

(注：棉花按皮棉产量与单价，籽棉不计算在收益内，价格为市场价)

花生间作棉花模式是一种集约利用土地、集约利用生长季节的高投入、高产出、高效益的立体种植模式。该模式采用一田多用，一种多收的技术路线，在总体上多样化，在区域上规模化，促进棉花高产优质高效，保证土地用养结合，维持农田与农业生态平衡。

种植技术要点：棉花与花生间距0.45m，花生与花生间距为0.2m,两行棉花的间距为1.1m。注意田间管理，及时除草耕田，防止病虫害。



(注： 个 为棉花 Δ 为花生)

图 17 花生/棉花模式田间布置图

Fig17.The field arrangement plan of the pattern of peanut and cotton

3.9 河流故道区其他立体种植模式研究

根据植物品种的特性和营养，合理地组合成具有多层次地利用土地、光能、空气和热量等资源的群体，达到增产增效目的。如在西瓜地里套种草决明、白术等。西瓜根系浅，不能吸收利用土层较深处的营养，其需水、肥量大，而吸收率低，因此必须人为地增施水肥等营养物质。而套种中药材草决明、白术等，因其吸收利用了表层多余的营养而减少了养分流失，且能吸收土层较深处的养分满足自己生长的需要。适合此模式的农作物品种还有冬瓜、红薯、马铃薯、大豆等，搭配种植的中药材品种有金银花、黄芪、菊花等^[61-63]。

中药材与农作物的间套方法还有：隔畦间套、隔行间套和畦中间套等。无论采用何种间套方式，都应注意株型庞大与瘦小、生长期长与短等合理搭配，注意各种植物之间光、温度、水分和营养条件的关系，保持中药材品种的道地性。

保定唐河故道区唐县西瓜套种菊花间作夏玉米模式，此种模式前期西瓜和菊花共生，后期菊花玉米共生。西瓜单位面积株数少，利用地面光，菊花稍高，前期分枝少不会遮光，等到6月~7月菊花分枝多时，西瓜早已经收获，后期玉米起到对菊花的风障作用，防止菊花遭受早霜冻。由表20可知，西瓜套种菊花间作夏玉米模式可获得纯收益38.63千元/hm²，产投比3.2: 1。

表20 唐县西瓜套种菊花间作夏玉米模式经济效益分析

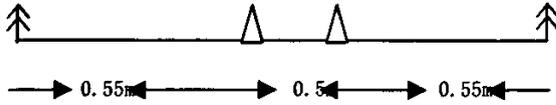
Tab.20 The Output value analysis of watermelon-Chrysanthemum-corn in Tang County

处理 Items	产量 kg/hm ² Yield	单价 Univalent 元/kg	效益 Economic 元/hm ²	投入 Investment 元/hm ²	净收益 Net income 元/hm ²
西瓜	60000	0.5	30000	12000	18000
菊花	1500	13.0	19500	4770	14730
玉米	4500	1.5	6750	850	5900

针对作物的生物学特性、生态条件和模式的内在特点，进行人工调控的目标是协调作物间的关系，尽可能扩大互补、淡化竞争^[64,65]。该模式在生物产量高的基础上，经济产量和产值大幅度上长是模式的主要内涵，用地养地水平同步提高，是该类模式因地制宜推广和持续发展的原因。

主要田间耕作技术：4月初等行距播种西瓜，地膜覆盖，行距1.6m、株距0.6m，10500株/hm²，5月初在西瓜行间栽种2行菊花，行距0.5m，株距0.3m，66000株/hm²，

6月西瓜上市后，在西瓜行播种玉米，每穴2株，250000株/hm²。



(注：↑ 为西瓜、玉米，△ 为菊花)

图 18 西瓜/菊花/玉米模式田间布置图

Fig18.The field arrangement plan of the pattern of corn and Watermelon and Chrysanthemum

3.10 河北省河流故道区各种立体种植模式对比优化

3.10.1 光能利用率分析优化

光能利用率一般是指单位土地面积上,农作物通过光合作用所产生的有机物中所含的能量,与这块土地所接受的太阳能的比。一般是以单位土地面积上作物总干物质所含能量,除以同一时期同一土地面积上所接受的太阳总辐射能。

由表 21 可知,单作作物的光能利用率一般为 0.1%~0.9%之间,间作套种以后作物的光能利用率普遍提高 10%~20%。据资料显示,作物最高光能利用率可高达 5%^[69-71]。单一棉花光能利用率为 0.61,单一花生光能利用率为 0.85,棉花/花生复合系统光能利用率 1.27,由此可知,复合系统的光能利用率均高于单一作物,根据植物学特性和自然地理特性,复合系统的光能利用率不等于单个作物简单的加和。

表 21 光能利用效率调查表

Tab.21 The examination of energy of light use factor

项目 Items	光能利用率 (%) Rate of Sunlight Energy Utilization	项目 Items	光能利用率 (%) Rate of Sunlight Energy Utilization
单一小麦	0.51	梨树/花生	1.02
单一玉米	0.76	果树/小麦/大豆	1.52
单一大豆	0.74	土豆/玉米/芹菜	2.01
单一棉花	0.61	小麦/西瓜/玉米	2.37
单一大蒜	0.65	西瓜/玉米 绿豆	1.98
单一西瓜	0.59	小麦/花生	1.41
单一花生	0.85	杨树/金银花	1.07
单一梨树	0.28	核桃/柴胡	1.10
玉米/大蒜/大白菜	3.49	小麦/瓜蒌	1.50
玉米/地芸豆/红小豆	1.75	玉米/天南星	1.65
玉米/菊花/西瓜	1.92	玉米/辣椒	1.57
棉花/花生	1.27	玉米/大豆	1.78

充分利用生长季节，改革种植制度和耕作方式，间作套种可以提高光能利用率。作物在苗期往往较稀，有大量太阳光漏射到地面而浪费了，而苗期占作物整个生育期 1/3 左右，为充分发挥这一阶段的光能潜力，间作套种可以延长生长季节，充分利用各种小气候条件，从而提高光能利用率。同时，间作套种还把单作的间歇光变为套作的延续交替用光，延长群体的光合时间，例如三茬套种比两茬套种或单作，一般全年累积叶面积系数增加 1/3~1/5^[66-68]。此外，高秆与矮秆作物合理搭配，利用立体复合群体，发挥垂直分布空间，充分利用太阳光，可以提高单位面积内绿叶对光能的截获率。套种作物的生长盛期在春、夏、秋复种指数达 200%以上，田间光合效率的旺盛期延续到整个生长季节，这就大大提高了整体全年光能利用率。

3.10.2 能量流分析对比

按照生态学原理，增加立体模式中生产者、消费者的种类和数量，形成复合式的相互交错的能量流动过程，模式的持续发展就有一个稳定的能流基础。实际上，能量流动与物质循环是密切关联的，为此应当进行人为调控，把生产者、消费者、分解者合理组装在一起或间接的归还土壤，通过分解者分解，重新为生产者利用，同时还必须补充投入大量的物质，才能维持系统的养分平衡，为立体农业的可持续发展提供良好的物质基础。

立体多元农业是人工生态系统，每一个模式都包含着各种生物之间及它们与无机环境之间的关系。尽管这些联系的物质形态非常复杂，但其中最本质的联系是物质循环和能量转换。因此，采用能流分析可以排除非本质因素影响，取得满意结果。

迄今国内还没有统一的能量折算标准，这是由于各国、各地区发展水平、资源环境、品种和材料不同造成的。刘浩等参考国内外有关资料提出一个常用种类投入、产出能量折算标准方案^[72-74]。

根据表22、23将复合系统的投入和产出折算成能量进行比较，得出间作模式的产投比即增效率（表24）。由表24可知，粮菜、粮瓜间作增效率在70%以上，玉米/大蒜/白菜增效率高达89.8%，其次为合欢/白术的产投比88.2%，玉米/大豆增效率只为60.8%。由于药材价格受市场影响较大，在计算产出能时按照当时市场价格转换为相应的能量。在投入能折算时，表22没有给出的部分不计算在内。在产出能折算时，表23没有给出的作物按照同一种类或相近的经济效益产出部分折算。由于药材价格受市场影响较大，在计算产出时按照市场价格转换为相应的能量，因此有关药材的投入、产出能变化间距较大，计算结果存在系统误差。

表22 投入能量折算标准

Tab.22 The conversion standard of investment energy

种类	折算系数	来源	备注
Types	$\times 10^6 \text{J/kg}$	Froms	Note
农业机具	210.0	吴湘金	折旧系数0.1
柴油	45.0	国家标准	主要包括拖拉机和排灌水用油
农用电	12.5	国家标准	主要包括排灌水用电, 以度计
N	91.0	综合	
P ₂ O ₅	13.3	综合	
K ₂ O	9.0	综合	
农药	102.2	综合	
劳动力	3500.0	综合	工作300天, 每天吃食物125500千焦能量
畜力	21000.0	综合	工作250天, 每天吃食物125500千焦能量
种子	16.0	综合	
有机肥	13.5	综合	每畜、每人1年粪便中的有机物千克数

表23 产出能量折算标准

Tab.23 The conversion standard of delivers energy

种类	$\times 10^6 \text{J/kg}$	种类	$\times 10^6 \text{J/kg}$	种类	$\times 10^6 \text{J/kg}$
Types		Types		Types	
谷物籽粒	15.9	棉籽	21.7	油菜秧	14.6
小麦	16.3	蔬菜鲜	2.5	豆干草	15.1
玉米	16.3	蔬菜干	16.3	饼类	18.8
甘薯鲜	4.2	水果鲜	3.3	豆饼	18.8
甘薯干	15.9	水果干	14.2	菜籽饼	18.4
马铃薯鲜	3.8	豆棉薯秸	14.6	米糠	19.2
大豆	20.9	麦秸	14.6	麦麸	16.3
杂豆	16.7	玉米秸	14.6	稻草	13.6
棉花	16.7	大豆秸	15.1	高粱	15.9
麻类	16.3	花生秧	15.1	大米	15.9
油菜籽	26.3	棉花秧	15.1	小米	16.1
花生	23.0	甘薯秧	14.6	木材	16.0

表 24 药材间作模式生态系统能量投入与输出比较

Tab.24 The comparison of medical crops patterns interplanting ecosystem energy investment and output

模式 Pattern	增效(%) Efficiency	模式 Pattern	增效(%) Efficiency
梨树/紫菀	66.1	玉米/大豆	60.8
梨树/半夏	68.3	梨树/花生	66.8
梨树/防风	67.9	棉花/花生	75.9
杨树/玫瑰	80.6	玉米/大蒜/大白菜	89.8
杨树/紫菀	86.4	玉米/地芸豆/红小豆	83.4
杨树/金银花	83.7	小麦/玉米/辣椒	81.7
核桃/半夏	73.5	果树/小麦/大豆	78.2
核桃/柴胡	75.8	土豆/玉米/芹菜	75.8
合欢/白术	88.2	小麦/西瓜/玉米	70.7
小麦/瓜蒌	64.7	西瓜/玉米 绿豆	83.4
玉米/天南星	85.1	小麦/花生	76.3
金银花/板蓝根	56.0	玉米 菊花/西瓜	68.7

(注: 杨树、合欢投入、产出按零计算)

3.10.3 土地复合利用价值分析对比

土地利用价值常用土地当量值(LER)表示, 一般认为当 $LER > 1.0$ 时则土地利用价值较好, 土地利用率高。 $LER = APYAAS/APYCK + ADYAAS/ADYCK$, APYAAS、ADYAAS为套种种类单位面积产量, APYCK、ADYCK为单种种类单位面积产量。

本研究对梨树/紫菀、防风、半夏等模式 LER 进行计算(表 25)。结果表明, 小麦/瓜蒌的 LER 最大为 2.0, 土地利用价值最高, 其次为合欢/白术的 $LER = 1.812$, 玉米/天南星的 LER 最低为 1.36, 土地利用价值较低。在立体多元农业种植模式结构优化中, 当 $LER > 1.30$ 时, 土地利用得到提高, 土地利用价值得到增加。

表 25 土地利用价值表

Tab.25 Value table of land-utilization

项目 Items	APYAAS/kg	APYCK/kg	ADYAAS/kg	ADYCK/kg	LER
梨树/紫菀	4000	4000	181.0	267.0	1.442
梨树/半夏	4000	4000	285.7	357.0	1.800
梨树/防风	4000	4000	334.8	500.0	1.670
杨树/玫瑰	1	1	200.0	480.0	1.417
杨树/紫菀	1	1	181.0	267.0	1.442
杨树/金银花	1	1	200.0	529.0	1.378
核桃/半夏	1	1	285.7	357.0	1.800
核桃/柴胡	1	1	105.0	153.8	1.682
合欢/白术	1	1	250.0	307.7	1.812
小麦/瓜蒌	500	500	1200.0	1200.0	2.000
玉米/天南星	310	500	200.0	270.0	1.36
金银花/板蓝根	200	529	250.0	428.5	1.583

表26 土地利用价值表

Tab.26 Value table of land-utilization

项目 Items	APYAAS /kg	APYCK /kg	ADYAAS /kg	ADYCK /kg	ADYAAS /kg	ADYCK /kg	LER
玉米\大豆	500	600	150	180	0	0	1.667
梨树\花生	4000	4000	200	214	0	0	1.936
棉花\花生	94.3	90.1	112.1	214	0	0	1.571
玉米\大蒜\大白菜	500	600	1100	4500	800	2500	1.412
玉米\地芸豆\红小豆	300	600	1200	2300	55	120	1.482
果树\小麦\大豆	1000	4000	300	500	120	140	1.707
土豆 玉米\芹菜	1500	1650	500	600	3000	7000	2.170
小麦\西瓜 玉米	300	500	2500	5000	500	600	1.933
西瓜\玉米 绿豆	3500	5000	600	600	50	140	2.057
小麦\花生	346	362	209	213	0	0	1.934
玉米 菊花/西瓜	300	600	80	100	4000	5000	2.100

对大田间作套种的作物进行土地利用当量分析（见表26）。由表26可以知，玉米||马铃薯/芹菜土地当量值最大为2.170，说明此种模式的土地利用价值最高。其次为玉米||菊花/西瓜 LER=2.100，土地利用率较高。玉米\大蒜\大白菜模式 LER=1.412，在调查的数据中土地当量值最低。但所有间作模式的土地当量值均大于1.40，在立体多元农业种植模式结构优化中，当土地利用价值当量大于1.30时，可视为提高了土地利用率，增加土地利用价值。

3.10.4 立体种植模式组成因素

1. 气候资源

确定立体种植模式，必须明确当地的气候资源，它是影响作物立体种植的主要因素，热量多少、光照长短、积温大小都影响作物的正常生长。根据不同种作物需求的指标，在依据余缺情况来确定适宜的种植模式和播种期进行调节。

许多作物高产的最适宜温度多为22℃~26℃，指日均温（附表1）。一般在15℃以下或30℃以上，会造成减产。在配制立体种植的物种结构时，应充分注意到依据不同作物以及不同生育期对环境温度的要求，作到趋利避害，增产增效^[75]。

2. 土壤肥料

立体种植的单位面积生物产量比常规种植高1-2倍，因而要求肥料的投入也要相应增加，以促进地力不断改善。当前农田常规种植的肥料利用率只有30%-70%，因此每年单位面积总投入量应达到作物总吸收量的143%-333%，才能保证肥力的良性循环。如每年每667m²产700kg的小麦、玉米两作，总共需吸收纯氮20kg、纯磷7.4kg、纯钾16.3kg，则应投入氮40kg、磷15kg、钾32kg以上。实验证明，立体种植四作作物对氮、磷、钾的吸收率可达80%（附表2）^[76]。

3. 水利条件

立体种植单位面积总蓄水量增加,同时套做时还要浇灌播种期前底墒水,全年一般都要浇灌4~6次。实验证明,立体种植比常规种植水分利用率增加30%左右。

4. 作物品种特性

在选择立体种植模式组合时,首先要明确作物品种特性,即熟期早晚、光周期长短、植株高度等。

熟期:作物不同品种的熟期早晚可相差10~30d,活动积温可相差200-800℃*日。一般选用早熟而减产不显著的品种,以便缩短前后茬作物的共生期。

光周期:不同作物和不同作物的不同品种光周期长短差别很大。短日照作物在日长缩短时生育期加快;而长日照作物正相反,当日长缩短时生育期延长。各种作物对日长的反应一般是开花前后反应比较灵敏,全生育期都在逐渐积累光周期反应。因此,短日照作物春、夏播越晚,生育期越短,晚播10天可缩短1~5d;长日照作物秋、冬播越晚,生育期也相应缩短。

植株高度:随着作物植株高度的增加,对下茬作物的遮荫面积相应增加,因此就要相应加宽行宽。根据调查,套作行的宽度为本茬作物最大株高的80%以上,对下面的作物生育期不产生影响^[77]。

5. 栽培措施

种植结构的变化:研究证明,粮、果、瓜、菜立体种植面积占自然村总根底面积的10%-20%为宜。种植面积过大,不宜于轮作倒茬,种植面积过小,不利于管理,而且经济产品的商品率相对降低。

粮食与经济作物的面积比:以粮食为主的立体种植模式,粮食作物面积应该占该地段面积的60%~80%,经济作物面积占20%~40%。按照这个比例,粮食产量可接近纯作粮田,可以实现每667m²产500kg,粮食、经济作物产值可达1000元。

合理确定共生期:当保证原茬作物产量时,共生期应该缩短,套作行宜窄;反之,欲提高第二茬作物的产量时,就要留足够宽作行,相应延长共生期。

3.10.5 优化评价指标

立体种植模式评价指标共有4项一级指标、16项二级指标及其各级的权重^[78-82](表27)。立体种植优化模式指标及权重评价方法:

- 1-1 每667m²产值(元)=(总产值-成本)/模式面积,每667m²产值≥1000元加0.20,每减100元扣0.02;
- 1-2 每工净产值=每667m²/每667m²投工数,净工值>20元/工加0.15,每减收1元扣0.01;
- 1-3 产投比=每667m²总产值(元)/每667m²投入(元),产投比>3:1加0.15,每减少10%扣0.01;
- 2-1 有机质动态 $V = (\sqrt{M_{t+n}/M_t} - 1) \times 100\%$ 。M_t、M_{t+n}分别表示t、t+n时间的土壤有机质,如果是上长或持平加0.04,下降1%则扣0.01;
- 2-2 供水满足率=水资源总量/模式需水量,供水率>1加0.04,每减少10%则扣0.01直至为0;
- 2-3 病虫消长,病虫减少或持平加0.04,如病虫害增长趋势则不得分;

- 2-4 产品污染超标不得分，否则加0.04；
- 2-5 抗灾互利模式，作物间作有互利者加0.04，否则不得分；
- 3-1 粮、棉、油总产增长率 $R = (\sqrt[n]{R_n - R_0} - 1) \times 100\%$ 。式中 R_n 为立体种植 n 年后的总产； R 为0开始时总产。如 R 为正2%加0.05， R 为负2%则不得分；
- 3-2 产出商品率=（模式商品总值/模式总产值） $\times 100\%$ ，商品率 $> 30\%$ 加0.05，减少5%则扣0.01直至为0；
- 3-3 每667m²产粮 $> 500\text{kg}$ 或皮棉84kg加0.05，减产100kg扣0.01；
- 3-4 人均收入（立体种植户或村为单位） $> 800\text{元/人}$ ·年者加0.05，减少100元扣0.01；
- 4-1 土地当量比大于1.3加0.03，小于1得0；
- 4-2 光能利用率 $E = h \cdot M / Q \times 100\%$ ，式中 M 为每667m²生物量， h 为每克干重含热量17.7千焦耳， Q 为太阳总辐射量。 $E > 1.1$ 加0.03，每减少0.1则扣0.01；
- 4-3 积温效益=模式净产值/当地总积温，积温效益 $> 0.15\text{元}/\text{℃}$ ·日加0.02，每减0.05元/℃·日则扣0.01直至0；
- 4-4 水资源效益=模式净产值/模式总用水量，水效益 $> 1.2\text{元}/\text{方}$ 加0.02，每减产0.3元/方则扣0.01。

表27 立体种植优化模式指标及权重

Tab.27 The weight and target of the planting pattern of the comprehensive multi-storied and dimension

一级指标	权重	二级指标	权重
First target	Weight	Second target	Weight
经济效益	0.5	1-1 667m ² 产值 $> 1000\text{元}$	0.20
		1-2 每工净产值 $> 20\text{元}$	0.15
		1-3 产投比 $> 3: 1$	0.15
		2-1 有机质动态+	0.04
		2-2 供水满足率 $>$	0.04
生态效益	0.2	2-3 病虫消长-	0.04
		2-4 产品污染指标 $<$	0.04
		2-5 抗灾互利	0.04
社会效益	0.2	3-1 粮油棉总产增长	0.05
		3-2 产出商品率 > 0.3	0.05
		3-3 667m ² 产粮 $> 500\text{kg}$	0.05
		3-4 人均收入 $> 800\text{元}$	0.05
资源效益	0.10	4-1 土地当量比 > 1.3	0.03
		4-2 光能利用率 > 1.1	0.03
		4-3 积温效益 $> 0.15\text{元}$	0.02
		4-4 水生产效率 $> 1\text{元}/\text{方}$	0.02

3.10.6 河北省河流故道区立体多元种植模式调查优化结果

根据立体种植模式和结构的按照粮粮、粮油、粮棉、粮菜、粮瓜、粮药、粮果、林药等八种组合类型，将调查的400多模式进行优化分析组合，得出以下结果(表28)。

表28 河北省主要立体多元农业种植模式

Tab.28 The pattern of the comprehensive multi-storied and dimension agriculture of Hebei province

序号 Serial number	模式类型 Pattern type	作物组合 Crop pattern	序号 Serial number	模式类型 Pattern type	作物组合 Crop pattern
1	粮粮组合	小麦\玉米\豆类	31	粮瓜组合	小麦\西瓜\玉米
2		小麦\玉米\甘薯	32		西瓜\玉米\绿豆
3		地膜马铃薯\地膜玉米	33		玉米\菊花/西瓜
4		小麦\玉米\谷子	34		小麦\西瓜
5		春小麦\春玉米一大豆	35		玉米\甜瓜
6	粮棉组合	小麦\夏播棉	36	粮药组合	小麦\玉米\半夏
7	粮油组合	小麦\花生	37		小麦\玉米\天南星
8		玉米\地芸豆\红小豆	38		小麦\瓜蒌
9		夏玉米\大豆	39		小麦\菊花
10		油菜籽\玉米	40	粮果组合	果树\小麦\谷子
11		玉米\花生	41		果树\小麦\大豆
12		小麦\花生\大豆	42		果树\小麦\甘薯
13	粮菜组合	小麦\玉米\大白菜	43	林药组合	梨树\紫菀
14		小麦\玉米\辣椒	44		梨树\半夏
15		玉米\大蒜\大白菜	45		梨树\防风
16		菜花\玉米\芹菜	46		梨树\天南星
17		番茄\玉米\胡萝卜	47		梨树\丹参
18		地芸豆\玉米\菜花	48		杨树\玫瑰
19		小麦\玉米\萝卜	49		杨树\紫菀
20		小麦\玉米\番茄	50		杨树\金银花
21		小麦\佛手瓜\大白菜	51		核桃\半夏
22		小麦\洋葱	52		核桃\柴胡
23		玉米\架豆角	53		合欢\白术
24		小麦\玉米\豆角	54		梨树\蒲公英
25		小麦\玉米\芹菜	55	其他组合	金银花\板蓝根
26		小麦\菠菜\玉米\香菜	56		西瓜\花生\大豆
27		小麦\大蒜\玉米\白菜	57		葡萄\蔬菜
28		小麦\油菜\棉花	58		果树\花生
29		小麦\玉米\香菜	59		果树\油葵
30		小麦\菠菜\甘薯\白菜	60		鸡冠花\紫菀

4 讨论

4.1 不同施肥量对梨树/紫菀复合系统的影响

一般经济效益产出于根部的作物，对钾肥的需求量较大。在试验小区内设置不同梯度的施氮量、施钾量可以反映紫菀生物量的变化趋势。理论上，复合系统可以提高养分利用率，种植的作物种类越多养分利用率越高，但研究发现，在考虑梨树的养分需求下，试验的施肥量对梨树产量的影响不大。

目前关于紫菀酮含量与施肥量的关系报道很少，试验发现不同施肥量对紫菀酮含量影响较小，经检验各处理之间差异性不显著。复合系统中紫菀酮含量平均为0.17%，单作系统平均0.11%，复合系统紫菀酮含量显著高于单作系统。由于复合系统的紫菀来源于试验小区，单作系统紫菀来源于试验小区附近，取样之间存在差异，因此，间作系统是否影响紫菀酮含量，还有需要深入试验研究。复合系统与单作系统对紫菀酮含量的影响，两者之间是否存在某种关系，还有待进一步验证。

梨树/紫菀复合系统中，施肥量的多少不只是将两者的需肥量进行简单的加合，还要考虑到两者的相互作用以及肥料的利用率。梨树与紫菀各个生理期对养分的需求不同，什么时间、对谁、如何施肥，成为获取最佳经济施肥量、最大经济效益的关键。这一问题的准确解决还需要进一步的研究。

4.2 光能利用与立体种植关系

光合作用是立体农业的第一物质生产，它为第二次、第三次物质生产提供了物质源，对立体模式增产有着重要的意义，它的大小取决于绿色叶面积、光强、光合作用时间和能力。在平面种植情况下，光能利用率通常只有0~1%，立体农业借助选择高光效植物、高矮搭配、层次嵌合、时序交叉等措施，可以在单位面积土地上扩大光合面积，延长光合时间，截取更多的有效光能，提高光能利用效率，使光能利用率成倍增加。理论依据：叶-日积理论，提高叶面积指数是提高光能利用率的重要途径。间作套种能够合理配置作物群体，使作物高矮成层，相间成行，有利于改善作物的通风透光条件，提高光能利用率，充分发挥边行优势的增产作用。一般间作比单作增大了全田的密度和叶面积，变平面用光为立体用光，增加了光合面积，当太阳高度角超过45度时，侧边受光面积增大，将强光度变为中等光，作物层透过总辐射较多，提高单位面积的光能利用率，发挥田间群体的最大光能利用率。

例如麦田间作套种充分利用了生长季的气候资源，提高了复种指数。在前茬作物生长期间，间作套种下一茬作物，其生长季就相对拉长了，特别是降低了两茬作物之间的农耗，后茬作物苗期与前茬共生，裸露地面积减少，显著提高了对光资源的利用，前茬收获以后，后茬就进入生长旺期了，由“一旺”变“多旺”，有几茬间作套种，就会形成几个“旺期”交替，使生长季丰富的光热水资源的到充分应用，

农田的各个生态因素也能得到更有效的发挥。麦田套种的玉米,能有效地避开苗期“芽涝”和后期低温的危害;玉米地里套种的大白菜,可以得到遮阴,减轻苗期的高温曝晒,降低田间温度,有利于保苗和防病;玉米地里套种黄瓜、西瓜、大豆等,同样有利于降温越夏,减轻病害;麦田套种花生,相互轮作,可以防治小麦全蚀病;林粮、果粮间作,能防风固沙,调节田间小气候,减轻干热风对小麦的危害。

对河北省河流故道区现有立体多元种植模式进行光能利用率调查分析计算,通过分析可知在通常情况下间作套种的光能利用率都大于单作某一作物的光能利用率。对于间作套种来说,可以通过合理密植、延长日照时间(每年多种几轮)、选用高光合作物品种、增加二氧化碳浓度等方法来提高光能利用率。

4.3 能流分析法与立体种植关系

近年来,人们开始以能量的投入与产出,作为衡量不同系统、不同技术措施效果的方法,并逐步得到国际上农业科学界的承认和重视。但由于近几年能流分析才运用在立体多元农业方面,目前还没有统一折算能量的标准。本文在能量折算中按照表22、23给出的标准折算。投入能折算时,表22没有给出的部分不计算在内,产出能折算时,表23没有给出的作物按照同一种类或相近的经济效益产出部分折算。由于经济产量和生物量分析均受到价格、市场等因素的影响,存在一定的局限性,难以准确衡量资源环境的利用率和生产中投入与产出的效率。

生产中投入的能量有自然能(光能、热能、自然肥力)和人工辅助能(肥料、种子、电、机械、农药);产出能有第一性产品能量和第二性产品能量。生物物质的生产力是本系统最基本的数量特征,它标志着立体系统能量物质转化效率的高低,是立体农业的功能体现。就物质生产而言,现有的立体模式,不外是进行物质的初级生产(立体种植)和次级生产(立体养殖或二者兼之立体种养)。

立体农业核心问题是要实现合理的能量转化和物质循环,由于植物的光能利用和物质利用的差异,形成了能量和物质利用层次,立体农业最基本的理论和任务就在于利用这些特性,组成对光强充分利用和碳素循环最佳组合形式。单一生物群体资源非有效利用是立体农业能量和物质的来源,在物质生产的初级生产和次级生产中,由于对光能的漏射、透射、光耗以及物质转化过程中能量变化,为立体农业组合充分利用能量提供可能条件。但是,要实现立体组合物流、能流合理运转,还必须有人工辅助能的投入,使之具有最大的互补效应和最小竞争力。

5 结论

1.不同施肥量对梨树/紫菀复合系统的影响：肥料实验采用 D-饱和最优（311B）设计，以不同紫菀产量与模型相拟合，得出增施氮、磷、钾肥能够提高紫菀产量，抽薹期以后增施钾肥能更好的促进紫菀根系生长，三元二次回归方程为：

$$Y=16229.28+118.0663X_1+393.6893X_2+1201.31X_3+766.416X_1X_2-497.794X_1X_3+10.5482X_2X_3-261.847X_1^2-230.319X_2^2-268.743X_3^2$$

对上述方程计算机进行优化处理，提出了氮、磷、钾肥合理配比的施用量 N: P₂O₅: K₂O 为 115.8: 292.5: 303.5, (每公顷),紫菀产量为 16049.69kg/hm²。不同施肥水平对紫菀酮的影响不显著。复合系统紫菀酮平均含量 0.17%，单作系统紫菀酮平均含量 0.11%。结果表明，单作紫菀酮含量显著低于间作复合系统。

2.密度试验结果表明，在不影响梨树产量下，间作药材可以增加收益，间作药材的密度有些为常规密度，如半夏高密度种植可以带来较高的经济收入，半夏的株行距为 3cm×15cm。常规大田种植防风行距为 30cm 但试验结果表明，梨树/防风系统中，防风种植行距 40cm 时产量最高，高级别所占比例较大，经济效益最好。

3.分别对河北省不同河流故道区现有立体种植模式调查，对各种模式产值、净收益列表分析比较。利用光能利用原理，分析比较得出套种、间作可以显著提高作物的光能利用率（表 21）。单作作物的光能利用率一般为 0.1%~0.9%之间，间作套种以后作物的光能利用率普遍提高，一般在 1%以上，有的高达 2%以上，比单作光能利用率提高 10%~20%，有的模式甚至能提高 90%。复合系统光能利用率不等于系统中单个作物光能利用率的加和。

通过能量流分析，得出立体多元种植农业可以显著提高物质的转化率，一般复合系统能量的产投比效率在 65%以上（表 24）。粮菜、粮瓜间作增效率在 70%以上，玉米/大蒜/白菜增效率高达 89.8%，玉米/大豆增效率只为 60.8%。林果药、粮药复合系统增效率一般在 65%以上，在调查的复合系统中，只有板蓝根/金银花的增效率较低为 56.0%。

通过对间作套种复合系统土地利用价值分析，结果表明（表 25），复合系统的土地利用价值高于单作系统，土地价值当量 LER 最低为 1.36，一般套种复种作物种类越多，土地利用效率较高。在立体多元农业种植模式结构优化中，当土地利用价值当量大于 1.30 时，可视为提高了土地利用效率，增加土地利用价值。在计算数据种玉米 II 马铃薯/芹菜土地当量值最大为 2.170，玉米/天南星的 LER 最低为 1.36。

4.根据立体农业种植模式评价指标及权重评价方法，对河北省河流故道区现有立体多元种植模式进行优化评价，得出 60 种具有较高经济、生态、社会效益的模式加以推广（表 28）。

参考文献

- [1] 熊毅, 席承藩等. 华北平原土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1965: 20~23
- [2] 周大迈. 河流故道区节水增效配套技术研究与示范[R]. 保定: 河北农业大学, 2003.
- [3] 卢良恕. 中国立体农业概论[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999.10: 60~62
- [4] 卢良恕. 中国立体农业模式[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1993.10: 2~7
- [5] 裴保华, 袁玉欣, 贾玉彬等. 杨农间作光能利用的研究[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 13~18
- [6] 王继永, 王文全, 刘勇. 林药间作系统中药用植物光合生理适应性规律研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(2): 129~134
- [7] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布[J]. 自然资源学报, 2007(22): 9~19
- [8] 姜勇, 庄秋丽, 梁文举. 农田生态系统土壤有机碳库及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2007, 26(2): 278~285
- [9] 牛海鹏. 基于生态位理论的耕地数量[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(6): 112~117
- [10] 关晓刚. 耗散结构理论的科学与哲学意义[J]. 系统辩证学学报, 2000, 8(4): 30~34
- [11] 杨志焕. 耗散理论[EQ/OL].
http://www.cls.zju.edu.cn/eae/Article_Show.asp?ArticleID=26,2004-01-04/2005-05-01
- [12] 夏明忠. 试论立体农业的能量利用和物质循环[J]. 西昌学院学报·自然科学版, 2006, 20(4): 1~6
- [13] 中国农学会等. 兴起中的中国立体农业——全国立体农业开发与普及研讨会论文集[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990
- [14] 卢良恕. 我国农业发展新形势与加入 WTO 的机遇与挑战[J]. 北京工业大学学报, 2001, 1(4): 1~7
- [15] 刘克辉. 立体农业工程技术[M]. 河南: 河南科学技术出版社, 2000.10: 140~164
- [16] 卢良恕. 中国农业现代化之路——现代集约持续农业[J]. 生态经济, 2000(8): 8~10
- [17] 周玉振, 刘国宣. 四川立体农业的理论与实践[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998.11
- [18] 刘中柱, 刘克辉. 立体农业原理与技术[M]. 福建: 福建科学技术出版社, 1989
- [19] 崔捷. 农业也能实现高效益[N]. 辽宁日报, 1996-11-15
- [20] 卢良恕. 中国立体农业概论[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999.10: 60~72
- [21] 卢良恕. 中国立体农业模式[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1993.10: 7~9
- [22] 卢良恕. 中国立体农业概论[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999.10: 24~36
- [23] 韩克铭. 我省“北方农村能源生态模式”全国领先[N]. 辽宁日报, 1997-04-21
- [24] 孔令武, 孙海峰. 现代实用中药材栽培养殖技术[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2000, 12
- [25] 郭巧生. 最新常用中药材栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000, 12
- [26] 廖涵宗, 张春能, 刘春华等. 薰莨栲人工林生物量及生产力的研究[J]. 林业科技通讯, 1994, 5: 15~17.
- [27] 宿以明, 慕长龙, 潘攀等. 岷江上游辽东栎天然次生林生物量研究[J]. 南京林业大学学报, 2003, 27(6): 107~109.
- [28] 李琪, 张金屯, 高洪文. 山西高原三种白羊草群落的生物量研究[J]. 草业科学, 2003, 12(1): 53~58.

- [29] 王光玉.不同杉木混交林幼林生物量与生产力研究[J].福建林学院学报,1996,16(2): 156~159.
- [30] 陈立红,闫伟.草原黑蘑(*Agaricus arvensis*)圈对牧草生产的影响[J].植物学通报, 2003, 20(1): 94~97
- [31] 王桂花,张峰,上官铁梁等.淳沱河河漫滩草地苔草群落生物量研究[J].中国草地, 2003, 25(5): 23~26.
- [32] 国家药典委员会.中华人民共和国药典二部[M].北京: 化学工业出版社, 2000, 1
- [33] 朱培林, 李志强, 胡国强. 果园套种百喜草应用技术研究[J]. 林业科技开发, 1998, 3: 30~32
- [34] 刘素贞, 侯殿明. 间作套种增产的客观依据探讨[J]. 中国农村小康科技, 2006, 2: 20~21
- [35] 赵延魁.立体农业在我省的实践与效益分析[J].农业经济. 1990
- [36] 黄毅斌,应朝阳,郑仲登等. 红壤丘陵区生态果园建设的模式、技术与效应[J].福建农业学报,2000.15(增刊): 182~184
- [37] 孟平,张劲松.太行山低山丘陵区果-草复合系统生态经济效应研究[J].中国生态农业学报,2003,11, (2): 111~113
- [38] 张壬午等.实现“三高”农业目标的有效途径[J].生态农业研究, 1996 (14)
- [39] 侯海燕, 陈立, 董俊兴. 紫菀化学成分及药理活性研究进展[J]. 中国药学杂志, 2006, 41 (3): 161~163
- [40] 张昌文, 易生富, 李淳. 薄层扫描法测定桑菊饮中紫菀酮的含量[J]. 中药材, 2006, 29 (9): 981~982
- [41] 修彦凤, 程雪梅, 刘蕾等.不同紫菀饮片中紫菀酮含量的比较[J].上海中医药大学学报, 2006, 20 (2): 59~61
- [42] 卢艳花, 戴月, 王峥涛等.紫菀祛痰镇咳作用及有效部位和有效成分[J].中草药, 1999, 30 (5): 360~362
- [43] 李方敏, 廖宗文, 艾天成. 平衡施肥理论与肥料高效利用[J]. 磷肥与复肥, 2004, 19 (5): 66~70
- [44] 刘目兴, 刘连友, 王静爱等.农田休闲期不同保护性耕作措施的防范效应研究[J].中国沙漠, 2007, 27 (1): 46~52
- [45] 徐霞,李治平,屈庆玲. 半夏立体种植技术研究[J]. 基层中药杂志, 1999, 13 (3): 35~36
- [46] 广东省林业厅经营处.农林间种好处多. 广东农业, 1959 (1)
- [47] 中国农业科学院.中国农业气象学[M].北京: 中国农业出版社, 1999.10
- [48] 广东省林业厅经营处.林地间种农作物. 广东农业, 1959 (1)
- [49] 胡信强.立体多熟高效种植[M].北京: 学术期刊出版社, 1989
- [50] 张真, 程天云.药粮经多熟间套与生态效应[J].耕作与栽培, 2004 (6): 62~63
- [51] 贺洪军.高产高效立体种植技术[M].北京: 气象出版社,1994.2
- [52] 浙江省农学会.立体农业——农业实用新技术丛书[M].杭州: 浙江科学技术出版社, 1992
- [53] 马世骏.中国的农业生态工程[M].北京: 科学出版社, 1987
- [54] 梁全宝, 路宗志, 郭生虎.宁南山区退耕林间作金银花初探[J].宁夏农林科技, 2006 (5): 33~34
- [55] 樊庆银, 刘旭.金银花及同属植物的研究近况[J].黑龙江中医药, 2000 (6): 57

- [56] 于桂霞. 玉米高矮秆间作试验研究初报[J]. 耕作与栽培, 1999, 2: 8~27
- [57] 楚爱香, 张富厚, 王林生, 等. 玉米单株产量与主要农艺性状的相关分析[J]. 河南农业科学, 2000, 1: 12~13
- [58] 薛玉中. 浙江省立体农业的模式及其效益[J]. 中国农学通报, 1996 (12)
- [59] 赵景寅等. 青海省果粮间作技术调查[J]. 青海农林科技, 1993 (9)
- [60] 邹超亚主编. 中国高功能高效益耕作制度研究进展[M]. 贵阳: 贵州科学技术出版社, 1990
- [61] 李春和, 安宏伟, 范友信. 玉米小麦茬畦套作高产栽培实用技术[J]. 辽宁气象, 1995, 5: 17~19
- [62] 贾新旺, 郭建民. 小麦、花生、玉米复合群体高产节水栽培技术[J]. 农村实用工程技术, 2002, 10: 14~15
- [63] 王慧军, 崔和瑞. 河北省“两高一优”农业发展道路的战略谋划. 双高一优农业理论与实践[M]. 保定: 河北农业大学学报编辑部出版, 1994.3: 43~49
- [64] 田秀凤, 郑荣森, 杨光波. 棉豆间作栽培技术[J]. 河北农业科技, 2002(1): 8~10
- [65] 王怀林. 夏玉米大豆间作效应及栽培技术. 双高一优农业理论与实践[M]. 保定: 河北农业大学学报编辑部出版, 1994: 439~441
- [66] 吴善堂, 邹超亚. 旱地不同种植制度下农田生态系统的结构与功能分析[J]. 生态学报, 1983 (1)
- [67] 陈友订, 黄秋妹, 黄农荣, 等. 几个两系法高产杂交组合的光能利用率初探[J]. 杂交水稻, 2000, 15 (5): 37~40
- [68] 王继永, 王文全, 武惠肖. 林药间作系统光照效应及其对药用植物高生长的影响[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20 (1): 17~22
- [69] 易家苓, 邹超亚. 贵州省农业气候分析与种植制度气候分区[J]. 耕作制度, 1982 (2)
- [70] 马占元, 王英君. 论旱作农业在建设农业强省中的地位与作用[J]. 河北农业科技, 1996, (1): 4-6
- [71] 赵延魁. 玉米小麦间作对光热资源利用率的研究[J]. 辽宁农业科学, 1994
- [73] 卢良恕主编. 21世纪中国农业科技展望[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1983
- [74] 河南省科学技术协会. 立体农业使用技术模式. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991
- [75] Hardin G. Cultural capacity: a biological approach to human problems [J]. Bioscience, 1986, 36(9): 599-604.
- [76] William Alan. The African Husbandman, Edinburg: Oliver and Boyd, 1965.
- [77] Seidl I, Tisdell C A. Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity [J]. Ecological Economics, 1999, 31: 348-395.
- [78] 卢良恕. 中国立体农业概论[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999.10: 130~133
- [79] 丁海萍, 李首成, 韩敬, 等. 人为活动对四川中部丘陵区村级景观的能流研究[J]. 四川农业大学学报, 2006, 24 (4): 413-431
- [80] 河南省科学技术协会. 发展中的河南省立体农业[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991
- [81] 胡恒觉, 黄高宝. 持续高产优质高效种植模式的理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995
- [82] 黄高宝. 建设高产高效农田是甘肃发展集约持续农业的基本途径[M]. 甘肃科学学报, 1996 (3)

附表

附表1 几种作物的全生育期天数及总积温（农业气象：1996）

作物	天数			总积温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$			最适日均温 $^{\circ}\text{C}$
	早熟	中熟	晚熟	早熟 $\times 10^3$	中熟 $\times 10^3$	晚熟 $\times 10^3$	
冬小麦	235	250	265	1.8-2.0	2.0-2.2	2.2-2.4	10-25
夏玉米	85	95	110	2.0-2.2	2.2-2.5	2.5-2.8	22-26
甘薯	80-90	110-130	160-170	1.6-1.8	2.1-3.0	2.5-4.0	20-30
棉花	160-170	170-180	180-200	3.0-3.3	3.3-3.6	3.6-4.0	22-28
花生	130-140	145-155	160-170	3.0-3.1	3.2-3.4	3.5-3.6	22-28
大豆	85	95	105	2.0-2.2	2.2-2.3	2.4-2.6	20-25
马铃薯	70	80	90	1.1-1.3	1.4-1.6	1.6-1.8	15-20
西瓜	80-90	90-100	100-110	2.0-2.2	2.2-2.4	2.4-2.6	22-30

附表2 几种作物形成100kg经济产量所吸收的氮、磷、钾量（农业气象：1986）

主要作物	收获物	氮 (N) kg	磷 (P_2O_5) kg	钾 (K_2O) kg
小麦	籽粒	3.00	1.25	2.50
玉米	籽粒	2.75	0.86	2.14
甘薯	鲜块根	0.35	0.18	0.55
大豆	豆粒	7.20	1.80	4.00
花生	荚果	6.80	1.30	3.80
棉花	籽棉	5.00	1.80	4.00
马铃薯	鲜块茎	0.50	0.20	1.06
番茄	果实	0.45	0.50	0.50
芸豆	果实	0.81	0.23	0.86
大蒜	全株	0.30	0.12	0.40
芹菜	全株	0.16	0.08	0.42
菠菜	全株	0.36	0.18	0.50
苹果	果实	0.30	0.08	0.32
葡萄	果实	0.60	0.30	0.72
梨	果实	0.47	0.23	0.48
桃	果实	0.48	0.20	0.76

在读期间发表的学术论文

1. 赵斌, 周大迈等, 河北省旱地立体农业模式与技术研究. 中国农学通报[J], 2006 (22): 172-174
2. 赵斌, 周大迈等, 山地果园—牧草立体种植模式技术研究. 河北农业科学[J], 2006 (10): 71-74
3. 赵斌, 周大迈等, 河流故道区立体农业种植模式研究及分析. 安徽农业科学[J], 2007 (4): 2246-2247

中国科技核心期刊
 《中国科学引文数据库 (CSCD)》来源期刊
 第四届全国优秀农业期刊一等奖
 安徽省优秀科技期刊一等奖
 第五届全国农业期刊金犁奖学术类一等奖

ISSN 0517-6611
 CODEN ANKEE

安徽农业科学

2007 
 旬刊

JOURNAL OF ANHUI AGRICULTURAL SCIENCE

丰乐农化 优质产品



旱地阔叶作物苗后除草剂



间苗杀
 大豆、花生田阔叶杂草



苗高效水稻田除草剂



高效灭生性除草剂



玉米田苗后
 一次性除草剂



杀虫用金碗
 省力省钱又丰产

安徽丰乐农化有限责任公司

地址: 合肥市肥西县三河镇 邮编: 231221 电话: 0551-5572534 传真: 0551-5566
 服务热线: 16831566 Http://www.fengle-pesticide.com E-mail:fengle@hi2000

SN 0517-6611



08>



70517 661001

主办: 安徽省农业科学院 协办: 宿州市农业科学研究所
 安徽丰乐农化有限责任公司

◆ 贮藏加工

黑色食品的研究现状与发展前景..... 王红育 李颖(2397)
 热处理在果蔬保鲜贮藏方面的研究与应用..... 凌蔚 郑淑芳 孙程旭等(2399)
 富含猕猴桃果水溶多糖营养型保健果冻的研制..... 田龙 杜敏华(2401)
 溶剂法提取无异味辣椒红色素的最佳条件研究..... 梁鹏 陈羊阳(2403)
 益生菌与益生菌乳制品的研究现状及发展趋势..... 刘大波 李文献 王少武等(2404)
 苹果茶饮料的研制..... 王宪伟 杜琨(2443)

◆ 管理科学

小城镇的生态设计探讨——以江西崇仁县马鞍镇总体规划为例..... 周志仪 江婉平(2234)
 基于社会主义新农村建设的统筹城乡经济社会发展研究..... 官力平(2406)
 人口流动性较大地区的人口预测模型选择——以湖北省保康县为例..... 李丹妮 王亚男 毛显后(2408)
 流域管理模式下的湿地立法研究..... 陆维研 张硕新 李健芸等(2410)
 河南省农村居民点整理研究..... 詹莉 周慧 李保莲(2412)
 农民工子女教育问题及解决办法..... 金丽霞 夏中洁(2414)
 和谐农村视野下农村青年的思想政治工作..... 杨志清(2416)
 对加强新农村文化建设的进一步思考..... 马艳 王海(2418)
 农村劳动力迁移的条件期望工资理论..... 郑安 谌贻庆 宁佐俊(2420)
 胶东半岛产业集群的SWOT分析..... 张桂梅 董涛(2423)
 权变理论在乡镇企业企业文化导入时机中的运用..... 霍伟伟(2426)
 我国私营部门农业技术创新环境的优化..... 陈秀芝 李嘉晓(2428)
 梁漱溟乡村建设试验及对社会主义新农村建设的启示..... 吴树罡 仝丙昌(2430)
 社会主义新农村建设的若干问题探讨..... 沙占华 张泽良(2433)
 湘西州人口增长与经济发展问题研究..... 张明星(2435)
 植物生理学实验教学中创造性思维能力的培养..... 徐芬芬(2438)
 关于农学研究生教育中几个问题的探讨..... 魏东 黄智鸿(2439)
 甘肃省农村居民恩格尔系数与消费结构评价..... 陈强强 孙小花(2441)
 从市场经济主体信用选择的影响因素看和谐社会的诚信建设..... 王忠福 郭萍倩(2444)
 创新现代农业产业协作:知识联盟及其运行模式..... 安蓉 王梅(2445)
 试论高等农业院校会计人才培养模式的改进..... 陈祥云 朱磊 胡源(2448)
 成都市青白江区生态农业建设规划研究..... 许文来 张建强(2449)
 新农村建设中村干部的角色处境及对策..... 张坤 王征兵(2450)
 论转移农村剩余劳动力与建设社会主义新农村..... 张杨 高斐(2451)

◆ 农业经济

论西部生态投资补偿方式..... 牛荣(2453)
 农民对农业合作组织中几个问题的关注——基于陕西杨凌农业合作组织的调查..... 湛立平(2455)
 税费改革对农村公共产品供给影响的效率分析——以辽宁省为例..... 彭艳斌 王春平 李阳等(2457)
 商洛市无公害农产品生产技术服务体系建设..... 张向东 李彬(2459)
 托达罗人口流动模型对农村劳动力向小城镇转移的启示..... 王晓云(2461)
 从保护农民权益的角度论农民专业合作社的三大功能..... 胡光明(2463)
 论农技推广教育特点·教学原则和农民学习特性..... 黄华彩(2464)
 河流故道区立体农业种植模式研究..... 赵斌 王红 张爱军等(2466)
 从传统农业的衰落谈农业遗产的继承与发展..... 王献涛 于顺利 陈宏伟(2468)
 河北省盆花市场流通体系研究..... 王兰明 高会东 朱启臻(2470)
 我国饲料行业上市公司财务分析..... 魏晖 陈秉谱(2471)
 新时期农村村委会与党组织的关系..... 文丰安(2473)
 农业节水技术研究..... 崔桂官 朱芝键(2475)
 玉林市野生蔬菜产业化发展研究..... 邓旭(2477)
 公共服务市场化存在的问题与对策..... 孙璐 吴瑞明(2479)
 城乡居民收入差距扩大的人力资本因素分析..... 邵彬涛(2482)
 对出租型休闲农场接受度的调查与分析..... 薛若晗(2484)
 湖北省恩施州种子产业发展现状及对策..... 黄光显 谢瑞礼 许敏等(2488)

◆ 农业信息

湖南省烟草平衡施肥地理信息系统的开发研究..... 张一扬 肖汉乾 周冀衡等(2237)
 MATLAB在排种器性能检测中的应用..... 袁永芳 安爱琴 刘振华(2240)
 创新档案管理工作思路的理性思考..... 吴桂敏(2490)
 浅论电子政务在社会主义新农村建设进程中的作用..... 黄朝阳 张明毫(2492)
 IPv6和IPv4的共存与过渡及其应用..... 张楠 张振国(2495)

◆ 农史

交易的缘起与鲜活农产品交易..... 张治荣 王征兵(2497)
 古代农业文献整理与归类分析..... 马海松(2499)
 宋代荒政的历史考察和经济分析..... 朱琳(2501)

◆ 农业工程

防洪系统与社会经济系统和谐预警模型研究..... 宋巧娜 唐德善(2504)
 中国牧草收获机械发展现状及趋势..... 徐秀英(2506)
 农村水利投入产出的灰关联测算..... 孔庆云 郑垂勇 陈洪转(2509)
 论现代设计理念在农机产品造型设计中的应用..... 冯玉雪(2511)

河流故道区立体农业种植模式研究

赵斌¹, 王红¹, 张爱军¹, 冯宝泉², 周大迈^{1*}

(1. 河北农业大学山区研究所, 河北保定 071001; 2. 河北省易县农业综合开发办公室, 河北易县 071000)

摘要 介绍了河北省安国市粮药组合、滦县粮菜组合、永清县果粮组合模式, 具体分析了各种作物的投入、产量及净收益。结果表明: 小麦瓜蒌比小麦玉米增效 55.7%~64.7%; 大蒜套种玉米复种大白菜模式比单一玉米小麦的传统种植模式增效 122% 左右; 梨树-花生种植模式比单一梨树增效 13.3%, 比单一花生增效 82.6%。在此基础上, 按照不同地区、不同作物类型, 将河北省河流故道区现有的立体种植模式, 分为粮粮、粮果、粮油等八大类型, 并分析比较得出具有较高经济效益的 32 种立体农业种植模式。

关键词 河流故道区; 立体种植; 经济效益

中图分类号 S344.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2007)08-02466-02

Study on Three-dimensional Agricultural Planting Patterns in River Ancient Channel

ZHAO Bin et al (Research Institute of Mountainous Areas, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001)

Abstract Planting patterns of grain corps and medical plants in Anguo City, grain and vegetable in Luan County, grain corps and fruit tree in Yongqing County were introduced. Investment, output value and net income of each pattern were analyzed. It was concluded that the efficiency of wheat-Trichosanthes kirilowii increased by 55.7%~64.7%, compared with that of wheat-corn. Economic benefit of garlic-corn-Chinese cabbage increased by 122% compared with that of traditional pattern. Economic efficiency of pear tree-peanut pattern increased by 13.3% compared with that of single pear tree, increased by 82.6% compared with that of single peanut. Based on the investigation of three-dimensional agricultural planting patterns in river ancient channel in Hebei Province, planting patterns were divided into 8 groups such as grain-grain, grain-fruit and grain-oil bearing crop. 32 sets of three-dimensional agricultural planting patterns with high economic efficiency were selected according different areas and crop types.

Key words River ancient channel; Three-dimensional agricultural planting; Economic efficiency

河流故道区是由于河流的变迁、频繁改道而形成的。其土壤特点是沉淀颗粒较粗, 表层多为砂土、砂壤, 下层有小面积的粘层透镜体^[1], 质地粗, 有机质少, 有效养分含量低。经过多年对河流故道区的治理, 其生态环境已有很大改善, 并给农民带来丰厚的经济效益。已有的研究表明, 果树-药材种植模式可以提高土壤肥力, 改善土壤物理结构, 促进果树生长, 而且为喜阴药材提供遮阴环境, 实现两者互生互利, 共同协调发展。

河北省河流故道区有唐山滦县、乐亭的滦河故道区, 廊坊的永定河故道区, 保定的唐河故道区, 石家庄的滹沱河故道区, 邢台的沙河故道区, 邯郸的张河故道区等。

1 河流故道区立体农业种植模式与效益分析

经过对保定、石家庄、廊坊地区的河流故道进行调查, 笔者总结得出了粮粮、粮菜、粮油、粮瓜、粮果、粮药、粮棉及其他八大类型组合 100 多种栽培模式, 并对以上 3 个地区具有代表性的种植模式进行了经济效益分析^[2]。

1.1 粮药、粮菜、粮果模式经济效益分析

1.1.1 保定安国粮药模式。粮食作物与药材间作是安国市普遍采用的种植模式, 天南星、半夏为喜阴药材, 种植在玉米地里, 可以防止强光照射; 小麦茬可以给瓜蒌攀蔓生长提供条件, 而且瓜蒌 1 年种植可以连续 5~8 年收获, 具有较高的经济效益。粮药立体种植是利用各自不同的生理特点互相补充、协调生长。现以小麦瓜蒌为例, 对其经济效益进行分析(表 1)。

由表 1 可见, 小麦瓜蒌比小麦玉米增效 10 135~13 222 元/hm², 增效率达 55.7%~64.7%。瓜蒌的价格随市场的波动而变化, 瓜蒌第 1 年投入较高, 为 1 800 元/hm², 以后投入减

表 1 安国市小麦瓜蒌与小麦玉米种植模式经济效益分析

模式	产量 kg/hm ²	单价 元/kg	效益 元/hm ²	投入 元/hm ²	净收益 元/hm ²
小麦	6 750~7 500	1.5	10 125~11 250	2 000	9 125~10 250
瓜蒌	15 000~18 000	1.4	21 010~25 222	1 800	19 210~23 422
玉米	6 750~7 500	1.5	10 125~11 250	1 050	9 075~10 200

注: 投入包括种子、水、肥料、农药的总投入。下表同。

少为 1 350 元/hm², 肥水管理简单, 经济效益较高。

1.1.2 唐山滦县粮菜模式。粮食作物与蔬菜间作是利用高秆作物与矮生作物形态、生理差异配置组合, 两者的组合可以分时、分层, 经济有效地利用光、温、水等资源^[3]。现以滦县的大蒜套种玉米复种大白菜模式进行分析。

表 2 滦县大蒜套种玉米复种大白菜模式经济效益分析

模式	产量 kg/hm ²	单价 元/kg	效益 元/hm ²	投入 元/hm ²	净收益 元/hm ²
大蒜	6 000+10 500	3.0+1.8	18 000+18 900	3 000	33 900
大白菜	12 000	0.2	2 400	1 100	1 300
玉米	6 750~7 500	1.5	10 125~11 250	1 050	9 075~10 200

由表 2 可见, 大蒜套种玉米复种大白菜模式净收益最高可达 45 400 元/hm², 比单一种植玉米小麦的传统模式增效 24 950 元/hm², 增效率为 122% 左右。

1.1.3 廊坊永清县粮果模式。果树种植后, 一般要 2~3 年形成树冠, 才有一定的荫蔽度。在这期间, 合理地套种茎秆低矮、株型较瘦小的粮食作物, 可达到以短养长, 增加收益的目的。现以梨树-花生为例进行经济效益分析。

表 3 永清县梨树-花生模式经济效益分析

模式	产量 kg/hm ²	单价 元/kg	效益 元/hm ²	投入 元/hm ²	净收益 元/hm ²
梨树-花生	60 000+2 250	0.9+2.4	54 000+5 400	22 695+600	36 105
梨树	60 000	0.9	54 000	22 695	31 305
花生	3 750	2.4	9 000	2 700	6 300

由表 3 可见, 梨树-花生立体种植在不影响梨树产量的情况下, 花生的净收益为 4 800 元/hm², 比单一一种梨树增效 13.3%。与单一一种花生相比, 梨树-花生模式具有明显的经

基金项目 河北省科技厅攻关项目(052401143D)。

作者简介 赵斌(1980-), 女, 河北固安人, 硕士研究生, 研究方向: 植物营养生态 * 通讯作者, 博士生导师, 研究员。

收稿日期 2006-12-14

济效益,能增加 29 805 元/hm²,增效率达 82.6 %。

1.2 河流故道区立体农业种植模式 通过对河北省不同河流故道地区现有模式的调查,对不同模式进行净收益分析,从已调查的 100 多种栽培模式中筛选优化出 32 种模式加以推广(表 4)。

2 结论

粮药组合模式中,由于药材的价格随市场的波动而变化,因此该模式的经济效益很不稳定,农民种药材需要承担较大的风险。大蒜套种玉米复种大白菜模式,虽人工投入较大,但净收益可达 45 400 元/hm²,增效率高达 122 %,具有很高的经济效益。梨树-花生立体种植模式,能够充分利用土地资源,增加光能利用率,花生的净收益达 4 800 元/hm²,增效率为 13.3 %。

参考文献

[1] 熊毅,席莱藩.华北平原土壤[M].北京:科学出版社,1965:20-23.
 [2] 卢良恕.中国立体农业概论[M].成都:四川科学技术出版社,1999:545-556.
 [3] 王慧军,崔和瑞.河北省“两高一优”农业发展道路的战略谋划[C]//

表 4 河北省立体农业种植模式

序号	模式类型	作物组合	序号	模式类型	作物组合
1	粮粮组合	小麦\玉米\豆类	17	粮瓜组合	小麦\西瓜\玉米
2		小麦\玉米\甘薯	18		西瓜\玉米\绿豆
3		小麦\玉米\谷子	19		小麦\西瓜
4		春小麦\春玉米-大豆	20		玉米\甜瓜
5	粮棉组合	小麦\夏播棉	21	粮药组合	小麦\玉米\半夏
6	粮油组合	小麦\花生	22		小麦\玉米\天南星
7		玉米\花生	23		小麦\瓜蒌
8		小麦\花生\大豆	24		小麦\菊花
9	粮菜组合	小麦\玉米\大白菜	25	粮果组合	果树\小麦\谷子
10		小麦\玉米\辣椒	26		果树\小麦\大豆
11		小麦\玉米\豆角	27		果树\小麦\甘薯
12		小麦\玉米\芹菜	28	其他组合	果树\紫菀
13		小麦\菠菜\玉米\香菜	29		西瓜\花生\大豆
14		小麦\大蒜\玉米\白菜	30		葡萄\蔬菜
15		土豆\玉米\芹菜	31		果树\蒲公英
16		小麦\菠菜\甘薯\白菜	32		鸡冠花\紫菀

注:“\”为间作,“/”为套种,“-”为复种。

何得耀,编.“双高一优”农业理论与实践.保定:《河北农业大学学报》编辑部,1994:43-49.
 [4] 刘克辉.立体农业工程技术[M].郑州:河南科学技术出版社,2000:140-164.

(上接第 2448 页)

士学位,或派遣教师到财经院校进修,以系统地掌握会计专业知识,提高专业素养和专业技能。同时,应该向社会招聘一些会计或财务管理硕士或博士,通过补充新鲜的血液来提高师资。对于实训指导教师则应从企业招聘具有丰富实践经验的会计师,以便更好地指导学生理论与实务操作相结合。同时学校应该鼓励会计教师,结合学校特点,围绕会计、财务问题开展科研工作,从而提升科研能力。只有教师队伍整体素质提高,教学质量才能不断提高,从而培养出既具备很好的知识结构又具有良好的专业技能的优秀人才。

2.3 加大实验室建设力度,培养学生的动手能力 会计学是技术性、应用性很强的一门学科,会计教学不仅要向学生全面、系统地传授会计理论知识和基本方法,而且更要注意培养学生应用会计理论和方法去解决会计实践问题的能力,即实际操作能力。所以会计教学客观要求加强实践教学,培养学生对理论知识的感性认识,提高学生动手能力。目前,传统的会计模拟实验,已经不能满足在新形势下的会计实践教学的要求。因此,在传统的实验室建设的基础上,农业院校应该拿出专项资金或者与企业联合建立 ERP 实验室。通过 ERP 沙盘模拟系统,可以让学生全盘掌握企业各个环节的工作流程,全面了解企业各部门的运营形式及内容。这样学生不仅掌握了财务处理的基本技能,能够在毕业后迅速适应工作需要,同时还培养了学生综合判断问题、处理问题的能力,有利于培养学生的综合素质。

2.4 采用高质量的教材,运用科学的教育方法和先进的教育手段 农业院校会计教育应该尽量采用教育部推荐教材或者名牌院校的教材进行教学,这些教材一般内容丰富,教材更新较快,融入了本学科的最新知识和最新学术观点。在教育方法和教学手段上也应该进行改进。教师最重要的是给学生“授之以渔”。因此,在教学上,教师应该注重培养学生分析问题的能力,激发学生的创造能力。采用启发式教学、案例教学、课堂讨论等教学方法。在教学手段上要多采

用多媒体教学,利用其声、光、电的优势把知识展现出来,同时还能刺激学生掌握现代科学技术的积极性。这样,培养的学生不仅掌握了会计知识,更提高了他们的知识结构和综合素质。

2.5 畅通就业渠道,引导学生积极就业 就业首先要重视实习基地建设,通过实习基地的建设一方面锻炼学生的动手能力,另一方面使企业增加对农业院校会计学生的了解的同时,还提供给学生就业机会。其次,学校要主动走出去,去邀请企业到学校来招聘人才。再次,要加强对已毕业生的跟踪,通过收集就业单位对学生的评价和毕业生的意见,不仅可以改进培养模式,而且可以通过发挥校友的力量来促进学生就业工作。最后,要加强对学生就业观念的教育,引导学生到基层,到经济发展最需要人才的地方就业。

3 结语

在高等教育市场化的条件下,毕业生的学习能力、知识应用能力、实践能力是参与市场交换的核心产品。所以,加强学生技能的培养应成为 21 世纪会计教育改革中的重点。为培养出更多高质量的会计人才,更好地为社会主义经济建设服务,现有农业院校会计人才培养模式仍需要进一步改进。这要求我国农业院校会计教育工作者转变观念,紧跟时代步伐,积极主动投身到会计教育改革的行列中去。农业院校会计教育改革应该以社会需求为导向,以学校特色为基准,在实践中不断深化,创造出有鲜明特色的会计教育品牌。

参考文献

[1] 游文华.我国会计职业道德教育与会计人才培养目标探讨[J].湖南财经高等专科学校学报,2005(4):48-50.
 [2] 李笑雪,张银华,李海蓉,等.对应用型会计人才培养目标与模式的研究[J].会计之友,2004(6):9-11.
 [3] 胡频.21 世纪会计本科人才的培养模式[J].高等农业教育,2000(10):48-51.
 [4] 杨丽霞,石道金,冯迎春,等.浅论高等农林院校本科会计人才培养模式的变革[J].中国林业教育,2004(6):12-14.
 [5] 郭强化.全国十四所重点大学会计教学现状评估及改革方向的调查报告[J].财务与会计导刊,2001(7):65-67.

ISSN 1008-1631

CN 13-1197/S

河北农业科学

JOURNAL OF HEBEI AGRICULTURAL SCIENCES

第10卷

增刊

VOLUME

SUPPL

2006

河北省农业科学院

目 次

赤眼蜂滞育研究与应用进展 宋 凯 郑 礼 耿金虎(1)
河北省冬小麦品种演变及育种方向研究 李志勇 范凤翠 李志宏(6)
长期定位秸秆与化肥配施对冬小麦生长发育进程的影响 郑春莲 李科江 马俊永,等(9)
夏玉米新品种选育目标和育种思路 刘兰锁(13)
长效碳酸氢铵在北方春玉米区的施用效果研究 梁爱民(16)
夏玉米石玉8号高产栽培技术 许 洛(18)
中国芝麻育种目标的演变及发展方向 徐桂真 李玉荣 程增书,等(20)
超早熟谷子品种应用价值研究 夏雪岩 刘正理 程汝宏,等(23)
河北省稻田养分管理现状、问题及对策 刘书起 甄英肖(27)
灰色关联度分析在水稻引种试验中的应用 张国新 王秀萍 鲁雪林(31)
河北省优质稻米研究探讨 孙 宇 高俊全(35)
一次性施肥技术对棉花生长发育及产量的影响 杨云马 贾树龙 孟香春(39)
化肥和秸秆长期定位配施对作物产量和潮土理化性状的影响 马俊永 李科江 曹彩云,等(42)
衡水市耕层土壤养分状况与土壤培肥措施 刘全喜 马连运 王有增(46)
唐海县冲积平原区农田土壤湿度变化及合理利用 刘淑君(49)
马齿苋在食品中的应用及开发前景 刁春英 刘 晶 高秀瑞(51)
食用菌菌糠的综合开发利用 张翠绵 王占武 刘贵巧(54)
设施蔬菜连作障碍的防治技术研究 于凤玲 董秀清 龚贺友(57)
应对冬季灾害性天气的温室蔬菜生产措施 蔡淑红 龚贺友 孟洋法(60)
春季大棚番茄虫害非化学防治效果初报 何晓庆 崔海英(63)
张家口市蔬菜生产现状、存在问题及发展对策 苏浴源 籍立杰 曹守山,等(66)
转管次数对食用菌产量的影响 尹立红 张联合(69)
山地果园—牧草立体种植模式技术研究 赵 斌 王 红 张爱军,等(71)
苹果叶分析营养诊断研究进展 张新生 陈 湖 傅 友(75)
中冠形苹果的生长表现及示范效果 陈 湖 傅 友 张新生(78)
燕山苹果产业带现有品种考察与分析 陈 湖 傅 友 张新生(82)
我国梨产业现状、发展方向及建议 张立树 李志欣 刘进余,等(84)
我国桃杏精品果产业现状及研究方向 李志欣 刘进余 张立树,等(88)
枣树分布与环境相关性指标的分析 王继贵 翟玉柱(92)
金丝小枣主产区土壤类型及对树体发育的影响 李学敏 黄素芳 李雅静,等(95)
清苑县草莓产业生产现状与发展对策 樊建民 黄志东 王淑珍(99)
冬枣贮藏保鲜技术 冯云霄 李丽梅 及 华(102)
郁金香种球复壮繁殖技术 及 华 张海新(104)
不同配方营养液对花烛生长发育的影响 冯 伟 陈段芬 杨军芳,等(107)
园林绿化发展现状和沧州园林绿化构想 孙文元 芮松青 翟玉柱,等(110)
不同移栽期对绒毛白蜡成活率的影响 李可晔(114)
河北省农产品加工机械化对农村居民纯收入的贡献分析 贾素梅 王进朝(116)
农业科技进步对河北省新农村建设的分析 牛细婷(117)

文章编号: 1008-1631(2006)S0-0071-04

山地果园—牧草立体种植模式技术研究

赵斌¹, 王红¹, 张爱军¹, 张海涛², 周大迈^{1*}

(1. 河北农业大学山区研究所, 河北保定 071001; 2. 河北农业大学研究生部, 河北保定 071001)

摘要: 对山地果园牧草立体种植模式研究表明, 与清耕果园相比, 光能利用率明显提高、土壤含水量有显著增加、土壤冲刷量明显降低, 水土流失得到控制。试验采用“山边沟”模式、“等高水平梯台”模式和单一果树模式3种模式进行能量流分析, 得出“山边沟”模式能量转化效率最高为64.66%。经济效益分析得出, 果园牧草立体种植增效率20.2%, 增值为11250元/hm²。

关键词: 果园; 牧草; 立体种植

中图分类号: S543.1⁺9 **文献标识码:** A

Studies on the Mountainous Orchard-forage Stereo-planting Patterns

ZHAO Bin¹, WANG Hong¹, ZHANG Ai-jun¹, ZHANG Hai-tao², ZHOU Da-mai^{1*}

(1. Mountainous Areas Research Institute, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

2. Department of Postgraduate, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

Abstract: The mountainous orchard-forage stereo-planting patterns were studied, the results showed that: contrasted to the clean tillage, the utilization efficiency of solar energy and the soil moisture content increased obviously, the soil loss decreased obviously, and soil erosion had been controlled. The energy flow was analyzed by using the patterns, such as the mountain side ditch, the contour terrace and pure orchard, the results showed that the energy conversion efficiency of the mountain side ditch pattern was 64.66%, was the highest. According to the economic benefit analysis, the mountainous orchard-forage stereo-planting patterns could reach 20.2%, the increment was 11250 Yuan/hm².

Key words: Orchard; Forage; Stereo-planting pattern

我国是一个以丘陵和山区为主的国家, 山地丘陵面积占全国土地面积的69%^[1]。因此, 因地制宜发展山地丘陵区立体农业, 能够更加有效地提高土地利用效率, 增加农民收入。研究^[2]表明, 果园—牧草立体种植可提高土壤肥力和改善土壤物理结构, 增加牧草产量, 实现两者的互惠互利、共同发展。

1 材料与方法

1.1 材料

选用1~3a生的幼龄果园, 牧草选用百喜草和圆叶决明。

收稿日期: 2006-11-10

基金项目: 河北省科技厅攻关项目(052401143D)。

作者简介: 赵斌(1980-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事植物营养生态研究。

E-mail: zhaobinbaozhu@126.com, Tel: 0312-7526342。

通讯作者: 周大迈研究员, 博士生导师。

材料表明^[3], 果树株行距较大, 适合喜光性的百喜草生长; 而且百喜草能为果园提供绿肥和覆盖材料, 起到保持水土、抑制杂草的作用。圆叶决明是一种优良豆科牧草, 根据果树根系的分布规律, 两者不会出现争肥争水现象。

1.2 方法

山地果园牧草立体种植技术效益分析项目包括土壤养分状况分析、光能利用率分析、能量流分析、土壤含水量分析、土壤流冲刷量分析和经济效益分析。其中, 能量流分析研究采用山边沟模式、等高水平梯台模式和单一果树模式, 将其投入能(包括有机物、种苗、人力物力、以及化肥农药、工具灌溉等)、输出能(包括初级产品能、可是产品能和不可食产品能)进行分析比较。

2 结果与分析

2.1 土壤养分状况

对燕果—沙打旺复合系统第 3 年土壤养分进行测定, 与清耕果园比较^[2]发现(表 1, 表 2), 复合系统土壤养分速效氮和速效磷较单一果树分别增加 32% 和 1.3%, 速效钾较单一果树减少 2.1%。

表 1 苹果—沙打旺模式土壤养分状况
Table 1 Effects of apple-A. absurgens system on soil nutrient (mg/kg)

处理	速效氮	速效磷	速效钾
复合系统	62.73	11.47	67.68
单一果树 (CK)	47.52	10.88	68.12

2.2 光能利用率

从表 3 可以看出, 光能利用率大小顺序为^[4]果草套种 (0.58%) > 单一草 (0.24%) > 单一果 (0.10%)。结果表明, 丘陵山地幼龄果园套种牧草立体种植技术能够有效利用散落的光能, 大大提高光能利用效率。

表 2 苹果—沙打旺模式与对照土壤养分比较
Table 2 Effects of apple-A. absurgens system on soil nutrient

土壤养分	较对照增减率 (%)
速效氮	32.0
速效磷	1.3
速效钾	-2.1

表 3 光能利用效率调查表
Table 3 The investigation table of utilization efficiency of solar energy

项目	观察期 (月)	H (J/g)	ΔW (g/cm ²)	ΣS (J/cm ²)	光能利用率 (%)
单一草	04~10	13 662.9	0.018	102 471.8	0.24
单一果	04~10	15 616.7	0.010	156 167.0	0.10
果草套种	04~10	19 961.6	0.196	136 289.5	0.58

* 光能利用率 = $H \times \Delta W / \Sigma S \times 100\%$, 其中, H 为物质燃烧值, ΔW 为干物质增重, ΣS 为生物期内辐射总量。

2.2 能量流

比较 3 种模式的投入能和输出能(表 4)可以发现, “山边沟”模式的能量转化具有明显优势, 转化效率达 64.66%。

表 4 3 种果草间作模式生态系统能量投入与输出比较
Table 4 The energy input and output comparison of three orchard forage intercropping ecosystem

模式	投入能 (GJ/bm ²)	输出能 (GJ/bm ²)	效率 (%)
山边沟	764.40	494.29	64.66
等高水平梯台	733.80	434.85	59.26
单一果树	784.48	393.81	50.20

按照生态学原理, 增加立体模式中生产者—消费者的种类和数量, 形成复合式的相互交错的能量

流动过程，模式的持续发展就有一个稳定的能流基础。

实际上，能量流动与物质循环是密切关联的，为此应当进行人为调控，把生产者、消费者、分解者合理组装在一起或间接的归还土壤，通过分解者分解，重新为生产者利用，同时还必须补充投入大量的物质，才能维持系统的养分平衡，为立体农业的可持续发展提供良好的物质基础^[5]。

2.3 土壤含水量

从表 5 可以看出，种植园叶决明和白喜草的土壤水分与无草对照区比较，植草当年土壤含水量差别不明显，但 2 a 以后差异趋大。表明山地果园立体种植，能够提高土壤含水量，有效改善果园水分供求状况。

2.4 土壤流冲刷量

多年实践表明，以山边沟模式开垦山地果园，加上全园套种牧草，能够有效减少土壤流失量，控制水土流失^[6]（表 6）。

表 5 套种不同种草处理对山地果园土壤含水量的影响
Table 5 Effects of different forage intercropping on soil moisture content of mountainous orchard (%)

年份 (年)	对照(不种草)	圆叶决明	白喜草
1993	15.0	15.6	16.0
1994	15.1	17.1	17.5
1995	17.3	21.3	20.3
1996	12.3	20.5	20.4
1997	16.1	18.1	18.1

表 6 套种不同种草处理对山地果园土壤流失量的比较
Table 6 Effects of different forage intercropping on soil erosion of mountainous orchard (mm)

年份 (年)	对照	圆叶决明	白喜草
1993	3.5	2.4	2.6
1994	1.9	1.3	1.2
1995	1.9	0.8	0.7
1996	1.8	0	0

2.5 经济效益

果园套种牧草，除了生态效益较好外，更能取得较高的经济效益。果园套种牧草较单一果园效益增加 11250 元/hm²。

表 7 果园套种牧草与单一果园效益比较
Table 7 The economic benefit comparison of the orchard-forage pattern and the pure orchard (元/hm²)

处理	投入				产出			总效益
	种苗	化肥农药	人工及其他	合计	产果收入	综合效益	合计	
果园套种牧草	750	3 750	5 475	9 975	27 600	5 100	32 700	22 725
单一果园	750	4 350	8 175	13 275	24 000	0	24 000	11 475

3 结论

幼龄果园套种牧草单位面积生物量比单独种植果或草有明显的增加，果草套种光能利用率为 0.58%，比单一草和单一果的总和还要高。能量流效率分析中，“山边沟”模式能量效率为 64.66% > 等高水平梯田 59.62% > 单一果树 50.20%。土壤含水量根据 4 a 的观测表明，无论圆叶决明还是白喜草的土壤含水量与对照相比都有显著增加，差异极显著。由表 4 可见，果园套种牧草土壤的冲刷量从开始就逐年减少，到第 4 年基本可以控制土壤流失，有效防止水土流失。从经济效益分析，果园套

种牧草比单一果园增值 11 250 元/hm²，增效率为 20.2%。

参考文献：

- [1] 卢良恕. 中国立体农业概论 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999. 480 - 490.
- [2] 孟平, 张劲松. 太行山低山丘陵区果 - 草复合系统生态经济效益研究 [J]. 中国生态农业学报, 2003, 11 (2): 111 - 113.
- [3] 朱培林, 李志强, 胡国强. 果园套种百喜草应用技术研究 [J]. 林业科技开发, 1998, (3): 30 - 32.
- [4] 罗涛, 翁伯奇, 郑仲登, 等. 红壤山地果园牧草套种技术研究及效益分析 [J]. 福建水土保持, 1999, 11 (1): 51 - 52.
- [5] 黄毅斌, 应朝阳, 郑仲登, 等. 红壤丘陵区生态果园建设的模式、技术与效应 [J]. 福建农业学报, 2000, 15 (增刊): 182 - 184.
- [6] 刘克辉. 立体农业工程技术 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000. 140 - 164.

中国科技核心期刊
中国科协优秀学术期刊
第一二三四届全国优秀农业期刊

ISSN 1000-6850

CN 11-1984/S

中国农学通报

中国农学通报



第22卷 第12期 No.12 Vol.22

12
2006

中国农学会 主办

协办:

- | | | |
|----------|--------|--------|
| 西北农林科技大学 | 中国农业大学 | 西南农业大学 |
| 华南农业大学 | 南京农业大学 | 沈阳农业大学 |
| 华中农业大学 | 河北农业大学 | 河南农业大学 |



9 771000 685009

光调控下的叶绿体变化	邓丽娜,周晓阳(111)
大豆和玉米光合速率、光能利用率对光强响应特征的差异性分析	樊荣峰(117)
水杨酸对节节麦根在水分亏缺下氧化与抗氧化反应的影响 ...	崔香环,郝福顺,赵瑞光(123)
农艺科学	
稻田玉米复种方式的生态经济效益及其综合评价	黄国勤,黄祿星(127)
灌溉与供磷对复合群体作物根系的调控及其产量效应	张礼军,张思和(133)
广西主要杂交大豆育成品种系谱分析	梁江,冯兰舒,陈渊,等(139)
不同耕作方式和栽培密度下强化栽培水稻的生长发育与产量形成	夏瑜,杨为芳,唐茂艳,等(144)
辐射对冬小麦主要农艺性状遗传力的影响	张学品,吴少辉,段国辉,等(148)
棉花核雄性不育系的培育与利用研究进展	蓝家祥,詹先进,张兴中,等(152)
两个新籼稻光温敏核不育系的育性转换特性研究	魏荷,郭建夫,王丰青,等(157)
宁夏水稻主要农艺性状的主成分及聚类分析	李培富,杨淑琴,马宏伟(162)
扬油 6 号油菜适合机械化作业的性状研究	张永泰,李爱民,惠飞虎,等(167)
河北省旱地立体农业种植模式研究	赵斌,高广瑞,王红,等(172)
早稻氨基酸含量分析	张海峰,叶新福(175)
⁶⁰ Co γ 辐射对烟草 M1 代种子萌发及幼苗的影响	胡重怡,任学良,郑少清(178)
天然绿色棉与海岛棉远缘杂交研究初报	冯克云(181)
百棉 2 号产量构成因素分析及高产探讨	张金宝,王清连(184)
首创直接利用野生稻杂交选育恢复系与应用	莫永生,韦政,黎志方,等(187)
黑龙江省小麦育种状况分析及研发对策	刘景松(190)
园艺园林科学	
晚秋叶面喷肥对设施杏发育前期的影响	张安宁,王金政,秦栋,等(194)
AM 真菌种间差异对枳壳苗营养生长及矿质含量的影响 ...	王春华,杨晓红,李东彦,等(199)
中国绿芦笋栽培研究进展	乜兰春,李保会,黄瑞虹(204)
南方温室中番茄光合特性影响因素分析	景元书,朱承璞,李永秀,等(209)
匍匐剪股颖新品系酯酶和过氧化物酶同工酶研究	朱钧,陈平,潘翠荫,等(213)
5 个小菊新品种耐热性综合评价与鉴定	姚士才,秦贺兰,古润泽(217)
部分柚类品种主要果实性状变异及相关性研究	卢华琼,苏智先(220)
基质用量对黄瓜生长发育的影响	寿伟松,梁晓东,董文其,等(223)
苯扎溴铵预处理对切花菊保鲜的影响初探	杨际双,张琴,邱葆,等(226)
13 种常用室内观赏植物对甲醛净化效果	周晓晶,梁双燕,金幼菊,等(229)
辣椒 DH 群体果实性状的分离及与 F ₂ 群体的比较	张树根,沈火林,蒋钟仁,等(232)
菜用枸杞的引种试验与日光温室栽培技术研究	朱立新,景蒙,李和平(236)
农业资源与环境科学	
松嫩平原过去 40 年农业气候变化特征分析	王宗明,宋开山,张柏,等(241)
土地生态环境评价指标体系研究及区划应用	涂军平,黄贤金,刘杨(247)

河北省旱地立体农业种植模式研究

赵斌¹, 高广瑞², 王红¹, 张爱军¹, 张瑞芳¹, 周大迈¹

(¹河北农业大学山区研究, 河北保定 071001; ²河北省科技厅, 河北石家庄 050000)

摘要: 研究在调查河北省现有的立体种植模式下, 按照不同地区、不同作物类型, 将其分为粮粮、粮果、粮油等八大类型, 并分析比较得出具有较高经济效益的 32 种立体农业种植模式。该研究详细介绍了安国市粮药组合、赵县粮油组合、固安县棉粮油组合模式, 并具体分析了各种作物的投入、产值及净收益, 得出小麦瓜蒌比小麦玉米增效 55.7%~64.7%, 玉米大豆间作比玉米单作增效 46.28%, 棉花地芸豆红小豆间作比小麦玉米增效 61.4%。对不同种植模式进行产值分析得出, 粮果>粮瓜>粮药>粮菜>粮棉>粮油>粮粮。

关键词: 旱地; 立体农业; 种植模式

中图分类号: S 344.3 **文献标识码:** A

Studies on Planting Patterns of The Comprehensive Multi-storied and Dimension Agriculture in Dry Land of Hebei Province

Zhao Bin¹, Gao Guangrui², Wang Hong¹, Zhang Aijun¹, Zhang Ruifang¹, Zhou Damai¹

(¹Mountainous Areas Research Institute, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001;

²Science Technology department of Hebei province Shijiazhuang, 050000)

Abstract: Under the investigation of the existing comprehensive multi-storied and dimension agriculture planting pattern of the Hebei Province, this research summarizes 32 sets of the comprehensive multi-storied and dimension agriculture planting patterns, which have the higher economic efficiency at present. According to different areas, different crop types, people divided it into eight patterns, such as grain, grain and fruit, grain and oil-bearing crop. This research introduced in detail the pattern of grain and medical crop in Anguo, grain and oil-bearing crop in Zhao county, grain and oil-bearing crop and cotton in Gu, an county, and analyzed the investment, the output value and the net income. It summarized that the pattern of wheat trichosanthes kirilowii Max-im increased the benefit to 55.7%~64.7% compared with wheat corn, the pattern of corn soybean increased the benefit to 46.28%, the pattern of cotton soybean increased the benefit to 61.4%. Analyzing the output value, it obtained: grain and fruit>grain and melon>grain and medical crop>grain and vegetable>grain and cotton>grain and oil-bearing crop>grain.

Key words: Dryland, The comprehensive multi-storied and dimension agriculture, Planting patterns

1 引言

河北省耕地面积为 $6.59 \times 10^6 \text{hm}^2$, 其中旱地面积达 $2.71 \times 10^6 \text{hm}^2$, 加上不保浇的半旱地, 河北省适宜旱作的耕地为 $4.35 \times 10^6 \text{hm}^2$, 占河北省耕地总面积的 70%^[1]。随着水资源日趋匮乏, 河北省旱地面积正逐年

增加。据统计, 2003 年底河北省的实有耕地面积为 $6.59 \times 10^6 \text{hm}^2$, 比 2002 年净减少耕地 $2.13 \times 10^5 \text{hm}^2$, 人均耕地为 0.08hm^2 ^[2]。河北省要以占全国 1.96% 的国土面积, 要养活占全国 5.2% 的省内人口, 从解决温饱到实现小康, 农业生产所担负的任务更加艰巨。因此提

基金项目: 河北省科技厅攻关项目“河流故道区立体多元农业配置技术研究”(052401143D)。

第一作者简介: 赵斌, 女, 1980 年 7 月出生, 硕士, 主要从事植物营养生态研究。Tel: 0312-7526342。通信地址: 071001 河北保定河北农业大学山区研究所。E-mail: zhaobinbaozhu@126.com。

通讯作者: 周大迈, 男, 1957 年出生, 河北安平人, 研究员, 博士生导师, 从事旱作农业和土壤农化方面的研究。

收稿日期: 2006-10-13, 修回日期: 2006-10-23。

农艺科学

高河北省旱地农田的利用率,缓解粮食作物、经济作物争地的矛盾,分流农村剩余社会劳动力,发展立体多元农业便成为一条崭新的途径。

2 河北省旱地立体农业模式与效益分析

立体种植根据不同土质类型区、不同的自然环境条件、不同的耕作习惯等,形成不同的种植模式,规模发展,实现规模效益,建立具有各地特色的高效立体种植。经过对河北省保定地区、石家庄地区、廊坊地区的调查,总结得出了粮粮、粮菜、粮油、粮瓜、粮果、粮药、

粮棉等八大类型组合 100 多种栽培模式,并对以上三个地区具有代表性的种植模式进行经济效益分析^[1]。

2.1 不同模式经济效益分析

2.1.1 安国市粮药组合模式经济效益分析 安国市自古以“药都”著称,药材是当地主要的经济产业,粮食作物与药材间作便成为安国市普遍的种植模式,如玉米可以为喜阴药材天南星、半夏等遮荫,防止因光线太强导致秧苗枯死;小麦茬可以给瓜蒌攀蔓生长提供条件,而且瓜蒌一年种植可以连续 5~8 年收获,具有较高的经

表 1 安国市小麦瓜蒌与小麦玉米经济效益

处理	Kg/hm ²	单价 (元/kg)	效益 (元/hm ²)	投入 (元/hm ²)	净收益 (元/hm ²)
小麦	6750-7500	1.5	10125-11250	2000	9125-10250
瓜蒌	15000-18000	1.4	21010-25222	1800	19210-23422
玉米	6750-7500	1.5	10125-11250	1050	9075-10200

注:投入包括每公顷种子、水、肥料、农药的总投入,表 2 表 3 同

表 2 赵县大豆夏玉米间作与夏玉米单作经济效益

处理	面积(hm ²)	产量(kg/hm ²)玉米	效益(元/hm ²)大豆	增效率(%)
夏玉米大豆	0.4	6870	2520	0.4628
玉米	0.2	8190	0	0

济效益。现以小麦瓜蒌为例对其经济效益进行分析。

2.1.2 赵县粮油组合模式经济效益分析 粮油组合模式包括:小麦、花生、夏玉米、大豆等间作方式,它们是利用高秆作物与矮生豆科作物形态、生理差异配置组合,两者的组合可以分时、分层经济有效的利用光温热水等资源。以大豆夏玉米间作与夏玉米单作为例,进行经

济效益分析。分别对粮粮、粮菜、粮油、粮瓜、粮果等七大类种植模式,对其产值进行比较分析^[2]。

2.1.3 固安县粮油棉组合模式经济效益分析 粮棉油组合模式是固安县特有的立体种植模式,棉花、地芸豆、红小豆间套立体种植模式,充分发挥了三种作物的优势,棉花 100cm 等行距,20cm 株距^[3],通过大行距效应

表 3 固安县棉花地芸豆红小豆间套作经济效益

处理	作物	产量(kg/hm ²)	单价(元/kg)	效益(元/hm ²)	投入(元/hm ²)	净收益(元/hm ²)
棉花地芸 豆红小豆间作	棉花	1201.5	5.6	6728.4	4068	2661.75
	地芸豆	18009	1.5	27013.5	960	26053.5
	红小豆	810	6	4860	1370	3490
小麦玉米	小麦	7500	1.5	11250	1500	9750
	玉米	7500	1.5	11250	1050	10200
单作棉花	棉花	1329.75	5.6	7446.6	4502.25	2944.35

表 4 河北省立体农业种植模式

序号	模式类型	作物组合	序号	模式类型	作物组合
1	粮粮组合	小麦/玉米 豆类	17	粮瓜组合	小麦/西瓜/玉米
2		小麦/玉米 甘薯	18		西瓜/玉米 绿豆
3		小麦/玉米 谷子	19		小麦/西瓜
4	粮棉组合	春小麦/春玉米—大豆	20	粮药组合	玉米/甜瓜
5		小麦 夏播棉	21		小麦/玉米/半夏
6		小麦/花生	22		小麦/玉米/天南星
7	粮菜组合	玉米/花生	23	粮果组合	小麦/瓜蒌
8		小麦/花生 大豆	24		小麦/菊花
9		小麦/玉米/大白菜	25		果树/小麦/谷子
10	粮菜组合	小麦/玉米/辣椒	26	其他组合	果树/小麦/大豆
11		小麦/玉米/豆角	27		果树/小麦/甘薯
12		小麦/玉米/芹菜	28		果树/紫菀
13	粮菜组合	小麦 菠菜/玉米/香菜	29	其他组合	西瓜/花生/大豆
14		小麦 大蒜/玉米/白菜	30		葡萄/蔬菜
15		土豆/玉米/芹菜	31		果树/蒲公英
16	粮菜组合	小麦 菠菜/甘薯 白菜	32	鸡冠花/紫菀	

注:“||”为间作,“/”为套种,“-”为复种

等到高产,同时给地芸豆、红小豆留有足够的生长空间,保证对光热的需求,使有限的土地上光温热的利用达到最佳。以小麦玉米、棉花、地芸豆红小豆为例,进行经济效益分析。

2.2 河北省旱地立体农业种植模式

通过对河北省不同地区现有模式的调查,对不同模式进行净收益分析,从已调查的100多栽培模式中筛选优化出32个模式加以推广^[4]。

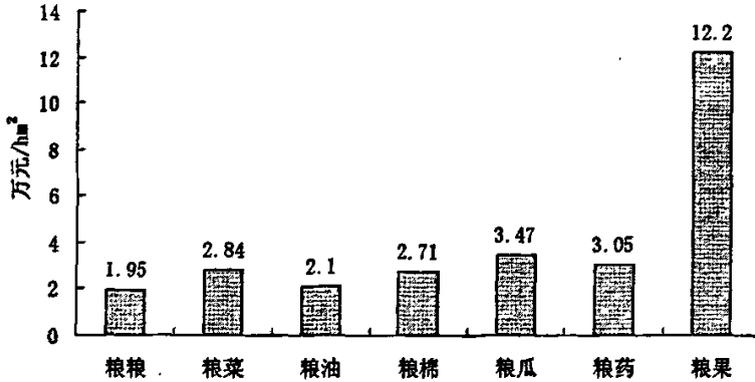


图1 七大种植模式的分析

3 结论分析

3.1 粮药组合是安国地区较普遍的种植方式,瓜蒌、天南星、半夏等药材都可以与粮食作物间作,利用各自不同的生理特点互相补充、协调生长。由表1可见,小麦瓜蒌比小麦玉米增效10135~13222元/hm²,增效率达55.7%~64.7%。瓜蒌的价格随市场的波动而变化,瓜蒌第一年投入较高1800元/hm²,以后投入减少为1350元/hm²,肥水管理简单,经济效益较高。

3.2 经研究证明,2行玉米间作4行大豆的公顷收益最大,经济效益最高^[4]。此外,玉米大豆间作要科学的进行肥水管理,充分利用大豆的根瘤固氮作用培肥地力,协调玉米大豆生长发育特性,分别施肥,使两者互相补充、互相促进和谐生长。由表2可见,间作与单作相比,玉米产量有所减少,但增收的大豆效益远大于玉米减少的效益:夏玉米大豆间作比玉米单作增效2497~3667元/hm²,增效率达46.28%。

3.3 由表3可见,棉花地芸豆红小豆间作净效益为32205.3元/hm²,比传统的小麦玉米净增收12255.3元/hm²,比单作棉花净增收29261元/hm²,经济效益较为显著。

3.4 优化筛选出的32种栽培模式,是河北省目前具有

较高经济效益、较大规模的立体农业种植方式。从图1可以看出,对不同种植模式进行产值分析得出,粮果>粮瓜>粮药>粮菜>粮棉>粮油>粮粮,粮果的产值最高,最低的为粮粮。

参考文献

- [1] 马占元,王英君.论旱作农业在建设农业强省中的地位与作用.河北农业科技,1996,(1):4-6
- [2] 王慧军,崔和瑞.河北省“两高一优”农业发展道路的战略谋划.双高一优农业理论与实践.保定:河北农业大学学报编辑部出版,1994.3:43-49
- [3] 王怀林.夏玉米大豆间作效应及栽培技术.双高一优农业理论与实践.保定:河北农业大学学报编辑部出版,1994.3:439-441
- [4] 卢良恕主编.中国立体农业概论.成都:四川科学技术出版社,1999.10
- [5] 卢良恕.中国农业发展与科技进步-卢良恕文选.济南:山东科学技术出版社,1992.2
- [6] 贺洪军主编.高产高效立体种植技术.北京:气象出版社,1994.2
- [7] 田秀凤,郑荣森,杨兆波.棉豆间作栽培技术.河北农业科技,2002(1):8-10

(责任编辑:张铁锋)

致 谢

本论文是在王周大迈研究员的精心指导下完成的。从最初的立题、试验设计、到试验实施以及最后阶段的数据处理、论文撰写等各个方面，无处不凝聚着导师大量的智慧和心血。导师渊博的知识、宽阔的思路、忘我的工作精神、严谨的治学态度深深的感染了我，使我终身受益。三年来，导师在百忙中对我学习上悉心教导、严格要求；在生活上给予了我无微不至的关怀和照顾。在此论文完成之际，谨向导师致以无以言喻的感激！

在论文立题、数据采集处理、论文撰写过程中，山研所任士魁教授、张爱军老师、王红老师、宫克毅给与了精心指导和提出了宝贵意见以及在生活中给与的支持与帮助，在此向他（她）们致以最由衷的感谢！

在论文的完成和工作学习期间，得到了河北农业大学资源与环境科学学院薛世川教授、刘东臣教授、生物无机实验室方正研究员的热心帮助和对论文细心、耐心、细致指导，在样品分析测定过程中张毅功老师、李玉敏老师、毕书琴老师、王艳群老师提供了很多便利条件，在此向他（她）们致以由衷的感谢！

在试验过程中得到了师姐张瑞芳、师兄弓运泽、师妹石英、张海燕、杜素红、师弟陈海昆、白晓松、张作新给予的大力支持和帮助，以及杨丽婷、吕宁、李辉同学在试验中给与的帮助，在此向他（她）们致以由衷的感谢！

感谢我的朋友们：王蕾、王磊、张海涛、张仲新、马新刚、张志强、陈慧然在室内实验和田间试验中给与无私的关怀与帮助，在此向他们致以由衷的感谢！

感谢我的父母、先生孙彦军在求学期间给予的关心、爱护和支持，当我遇到困难时候是他们给了我面对生活、克服困难的信心和勇气。

感谢安国市科技局副局长寇根来、药都集团党委刘书记以及西固村崔造民、袁云甫、袁花云等在试验中提供的便利条件和热心支持。

三年的时间，让我积累了许多，丰富了许多。回头看看走过的路，既有成功的收获，又有失败的教训，这些都是人生的瑰宝，将指引我今后的人生道路。三年时光，转瞬即逝，再一次向所有关心、支持和帮助过我的各位老师、同学、朋友及亲人们表示最衷心的感谢与祝福！

赵斌

2007年6月