

河北省典型缺水型适水型种植制度改革的讨论

胡立峰¹, 张继宗², 张立峰²

(1. 国家开放大学农林医药教学部, 北京 100039; 2. 河北农业大学农学院, 河北 保定 071001)

摘要: 基于河北省匮乏的水资源禀赋和严重超载的农田生产问题, 讨论了轮作与休耕在缺水型应用中的本质与意义, 提出以农田雨养旱作、多作轮作与休耕为特征的缺水型简化种植制度的改革原则。结合区域资源特征与国家需求, 进一步实例分析了河北省缺水型适水种植制度与技术策略, 包括降低熟制, 由冬小麦-夏玉米一年两熟降为春作物→冬小麦-夏作物两年三熟, 实行冬春季的季节性休耕, 缩减小麦比重, 实现结构性节水; 采用田间秸秆、塑料膜覆盖以及土下覆膜技术, 雨水集蓄、节水补灌技术, 发展雨养农业; 选择无限开花习性的棉花、花生、大豆、菜籽等一年生适水型作物, 配合补水成苗等技术, 促进作物稳产; 以机械化与智能化替代人力生产等, 提高农作效益; 向优质型农产品转型、发展社会需求的休闲游憩型环境产品生产, 实现对高耗水生产的等效或优效替代。

关键词: 休耕; 轮作; 种植制度; 雨养农业; 田间覆盖; 集水节水技术; 作物类型; 河北省缺水型

中图分类号: S315 **文献标志码:** A

Discussion on the reform strategy of cropping system based on water utilization in water-shortage areas of Hebei Province

HU Lifeng¹, ZHANG Jizong², ZHANG Lifeng²

(1. Faculty of Agriculture, Forestry and Medicine, The Open University of China, Beijing 100039, China;

2. College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: Due to the scarcity of water resources and the serious overload of farmland production in Hebei Province, the essence and significance of rotation and fallow cropping in water-shortage areas were discussed in this paper. The reformed principles of simplified cropping system characterized by rainfed farming and rotation with various crops and fallow were put forward. Considering with the characteristics of regional resources and the national demand, it was analyzed that the water-suitable cropping system and technical strategies in water-shortage areas of Hebei Province, including reducing wheat production to save irrigation water by transforming winter wheat-summer corn double cropping into spring corn→winter wheat-summer corn pattern, laying the field fallow during the winter and spring seasons; developing rainfed farming by covering with film and straw to harvest rain water and controlling soil water loss, exploring water saving irrigation technology; ensuring stable yields by selecting the water-suitable crops, such as cotton, peanut, soybean, and rapeseed with infinite flowering habit, coordinating safe seedling formation technology; increasing economic benefits by replacing manpower production with mechanization and intelligence; achieving equivalent or effective substitution for high water consumption production by producing high-quality agricultural products, entertainment and environmental products.

Keywords: fallow; rotation; cropping system; rainfed farming; field mulching; water harvesting and saving technique; crop type; water-shortage areas of Hebei Province

1 河北水资源与农业生产的基本背景

包括北京、天津的河北区域地处北温带,受太行山、燕山山脉对东南季风阻滞作用,形成了太行山与燕山山前的迎风坡半湿润、山前平原半湿润偏旱、黑龙港低平原与坝上高平原区半干旱的水资源环境^[1];加之河北又处于我国东南季风北行的尾闾区,降水量年际与季节间宽幅波动,使干旱、洪涝成为影响区域作物稳定生产的主要农业水文灾害。20 世纪 70 年代之前,河北黑龙港低平原地区“旱、涝、碱、咸、薄”^[2],坝上高平原地区“寒、旱、沙、碱、薄”曾是河北省区域农业资源环境的基本特征^[3]。

河北省耕地面积 652.05 万 hm²,其中冬小麦 230 万 hm²。全省水资源总量 138.3 亿 m³,其中地表水资源量 60 亿 m³,地下水资源量 116.3 亿 m³,重复计算量 38 亿 m³,人均水资源占有量 184.5 m³ (2017 年)。河北省农业生产受制于水土资源禀赋,长期自给不足,20 世纪 70 年代末,全省人均占有粮食仅 301 kg (1980 年)^[4]。为了开发相对优越的光温生产力,提高作物产量,自 20 世纪 70 年代黑龙港低平原地区开展了以打井灌溉为主的农田水利化,实行了以冬小麦-夏玉米为核心的农田生产两熟化的耕作制度改革^[5];在坝上高平原区,自 20 世纪 80 年代末继“坝上生态建设工程”后,90 年代末实施了大规模的打井开采浅层水、种植喜凉蔬菜的市场型农田生产结构^[6]。以地下水灌溉所支撑的集约化作物生产,在低平原区实现了“吨粮田”^[7](世界同纬度地区最高的耕地单产),在高平原地区形成了“冷凉蔬菜基地”^[8](中国最大的夏秋季北菜南运基地)。这两个地区农业的发展,为河北地区食物的自足生产与全国食物的稳定、高效供给发挥了重要作用。

河北平原区随着水浇地的发展,地下水以年均 0.34 m 的速度下降,2000 年地下水开采量达 164.2 亿 m³;从 1980—2000 年,地下水年均超采 46.0 亿 m³,约占全国地下水超采量的 1/3,形成约 4 万 km² 的地下水漏斗区^[9]。低于临界水位的土地逐渐走向脱盐化^[6],盐碱地面积缩减,作物产量同步快速提高。据统计,河北省用占全国 0.5% 的水资源、4.8% 的耕地面积,生产了占全国 5.6% 的粮食产量 (2017 年) (表 1),成为全国水资源超载率最高的地区;持续的地下水超采,快速降低了地下水位,形成了全球最大的连片地下水漏斗区^[10-11]。在坝上高平原区,随着打井与补水地的建设,以大白菜、白萝卜、圆白菜、西兰花、架芸豆等为主的喜凉蔬菜,以

占区域 5% 的耕地面积,生产了农民 1/4~1/3 的经济收入,地下水同样快速下降^[12],直接影响着京津等下游地区水资源的安全。河北省地下水供水量已占了用水量的 78.5% (2000 年)^[9],地下水资源的超采与耗竭,不仅加重了本区农业再生产的负担,而且严重威胁着毗邻的京津地区的生态环境与社会经济发展,成为华北的心腹之痛。2017 年河北省水资源公报显示,农业灌溉用水量占了全省总用水量的 63.0%^[13]。因此,以降低水资源消耗量为核心的农业生产结构与生产方式的战略性调整成为大势所趋。

表 1 河北省水土资源与支撑的粮食产量、人口比较
Table 1 The comparisons on water resources, cultivated land, grain yield and population in Hebei Province

项目 Item	水资源总量 Total of water resources	耕地面积 Cultivated land	粮食产量 Grain yield	人口数量 Population
河北省占全国比例/% The percentage of Hebei Province in China	0.5	4.8	5.6	5.4

注:表中数据来自《中国农业年鉴 2017》及《中国统计年鉴 2018》。
Note: Data in the table are from China Agriculture Yearbook 2017 and China Statistical Yearbook 2018.

2 缺水地区适水种植制度思路

社会生产的进步是生产的分工与合作协同发展的过程。对于具有显著的地域性、季节性与自然资源依赖性的农业来讲,农产品的区域与时域分工性生产是自给自足农业完成之后,进入市场性农业必然的进步过程。围绕着粮食生产,河北省走过了一条农田灌溉化、种植多熟化、结构单一化、品种耐肥化的集约农作之路。按照生产进步的分工-合作原则^[14-15],农业朝着集约化与简约化两个方向的发展,应成为农业进步的根本机制 (图 1)。

对于同一区域不同的农产品类型来讲,忌储运产品如蔬菜、水果、花卉等更适于集约化生产,而耐储运产品如小麦、玉米、棉花等更适于简约化生产。基于区域间生产合作的原则^[16],本区域适宜的农产品生产类型,将直接取决于其比较经济优势。因此,在目前生产结构基础上,寻求更为集约化与更为简约化的农作发展方向与技术,成为区域农业生产进步的基础。在河北省水资源匮乏地区,选择耐旱作物与品种,农田雨养旱作化、多作轮种与休耕成为农田适水种植、简约化生产的进步方向。

为促进耕地休养生息和农业可持续发展,2016 年农业部印发了《探索实行耕地轮作休耕制度试点方案》,在河北省严重干旱缺水的黑龙港地下水漏

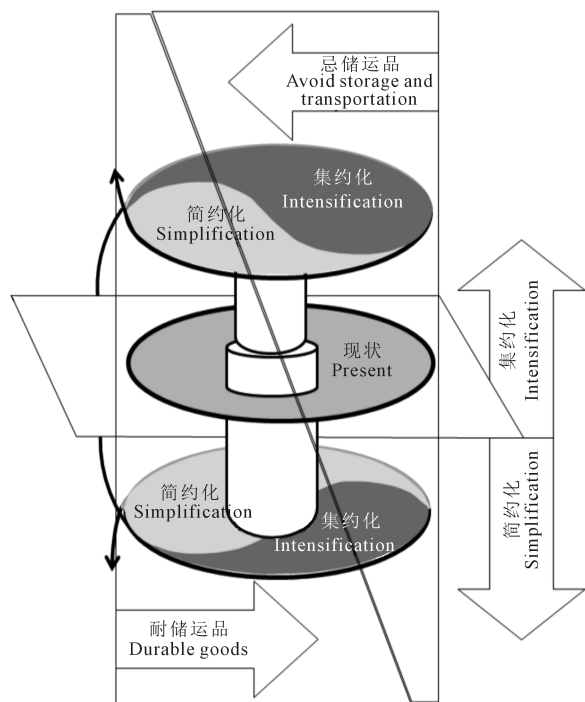


图 1 农业生产的集约化-简约化进步图示

Fig.1 The progress way of agricultural production in intensification-simplification pattern

斗区连续多年实施季节性休耕,实行“一季休耕、一季雨养”生产;在北方农牧交错区开展“一主四辅”轮作种植,发挥豆科作物根瘤固氮养地作用,提高土壤肥力^[17]。

休耕是指在能够种植作物的田块上与季节内不进行作物生产,只进行地力恢复作业的耕地管理方式。休耕方式包括耕地全年休耕与多熟地区的季节性休耕。休耕多用于由于频耕多种(多熟种植)而引发的农田生产资源耗竭与环境破坏的恢复与重建过程,如在水土流失、水养耗竭、土壤污染的耕地,以及农田生产的资源环境难以承载之境况。休耕的实施可分战术性与战略性休耕。战术性的休耕,通常作为农作技术满足短期的恢复农田土壤养分与水分、防除病虫草害等需求;而战略性的休耕,则需要进行农作制度的调整与改革,以适应业已质变的社会需求或生产资源支撑条件。河北省黑龙港低平原区的农田休耕,属于后者。

轮作是指在同一田块上,将几种不同的作物,按照一定的顺序轮换种植的方式。轮作包括年内作物轮作与年间作物轮作,多作物轮种生产对小规模经济下满足农产品多样化的自给自足需求发挥了积极的作用。轮作多用于解决由于长期连作而引发的两类作物再生产障碍。其一是有害生物胁迫,如土传病害与虫害、杂草猖獗等;其二是土壤肥力耗损,如土壤水分、养分等肥力因素的耗竭导致

的作物生产效率降低,土壤风蚀、水蚀导致的土壤肥力条件变劣等。河北省坝上高平原区的农田休耕与轮作属于后者。

多熟与连作种植,其根本的作用在于最为充分地利用周年的自然地气资源,与充裕的社会经济资源,以满足亢进的社会需求,当然这一种植方式在经济上应是有效率的。从农业的发展史看,多熟与连作种植对于我们这样一个人多地少的国家快速增加食物产量,满足多元化的社会需求是发挥了巨大作用的^[18]。如今,河北省面对着地下水耗竭生产的资源障碍与高经济成本而导致的农产品相对过剩性生产问题,农田生产制度需要进行历史性、战略性的转变,建立河北省水资源适水种植制度势在必行。

3 适水种植制度与技术策略

面对河北省资源型缺水的自然禀赋与农田超载低效生产的局面,按照《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》(2018)要推进乡村绿色发展,打造人与自然和谐共生发展的新格局;有序退出超载的边际产能,扩大耕地轮作休耕制度试点的要求,建立河北省适水型种植制度至为重要。

3.1 缩减冬小麦种植面积,降低熟制

冬小麦在河北黑龙港低平原区具有很好的光热生态适应性,其水分利用效率(WUE)已达 $15 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2[9]}$,在土下微膜全田覆盖条件下甚至高达 $25.2 \sim 25.4 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2[19]}$,但毕竟冬小麦消耗了农田 70% 以上的灌溉水量^[20]。因此,从作物生产系统的结构性节水方面考虑,由“冬小麦-夏玉米”一年两熟调整为“春作物→冬小麦-夏作物”两年三熟种植制度,春作物一熟年份实行“一季休耕、一季雨养”生产^[17],是减少开采地下水的首选技术。

河北省地处我国一年一熟区的南界、一年两熟区的北界,积温与降水不足一直是区域作物两熟生产的“瓶颈”约束,不仅限制了作物产量,而且影响了营养品质。我们预想,由一熟玉米的简约化生产代替冬小麦-夏玉米两熟生产,就可选择生育期长的玉米类型与品种,预期获得比夏玉米更高的产量与品质(表2)。如美国非灌溉田玉米产量达到 $24\ 358.5\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (2018)^[21],我国“登海618”春玉米攻关田产量达 $22\ 676\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (2013)^[22],成为春玉米每 $666.7\ \text{m}^2$ 产量“一熟吨粮田”的实例。相应两年三熟的夏玉米,除了可选择生育期稍长的品种以提高玉米产量,或者晚收获而提高玉米的品质外,还可用于青饲玉米生产,通过畜牧业的加工实

现玉米生产的增值,由此启动农牧结合甚或“为牧而农”的新型农业制度。如此,争取每 666.7 m² 产量在 1 t 基础上,两年三熟年均耗水量有望降至 700 mm 以下,较一年两熟生产^[19] 年节水约 100~150 mm。而最为关键的限制是如何消除超长生育期(130~140 d)的春玉米品种覆膜保水条件下后期增温的不利影响^[23],以及可资利用的高效地面覆盖减蒸措施。

3.2 田间覆盖,集水保水

依靠自然降水的雨养农作,以提高降水土壤储蓄率、土壤水分利用效率为要。田间覆盖具有显著影响土壤水分储蓄与蒸发的作用。冀中平原采用冬小麦秸秆覆盖的高产夏玉米田,田间耗水量相当于未覆盖玉米田耗水量的 11.2%~15.3%^[24-25],全生育期总节水量可达 33.1~68.6 mm;西北黄土旱塬

半湿润偏旱区不同降水年型下,采用全膜双垄覆盖沟播玉米,玉米产量与水分利用效率分别较露地栽培提高 17.8%~91%和 23.1%~85%^[26]。

垄部覆膜、沟部种植,可将<5 mm 的无效降水集聚于沟部而渗入土壤,成为有效降水,因此是雨养农作的一项有效技术。本课题组在河北省坝上高平原区作物生育期平均降水量 270 mm 的草甸栗钙土田进行的覆膜方式对饲用玉米水分利用试验研究表明(表 3),地膜覆盖的集水与保水效果显著促进了玉米生育,提高了玉米产量与水分利用效率。在丰水年,双垄沟覆膜玉米较露地栽培增产 67.2%,相应水分利用效率较露地提高了 87.5%,覆膜处理相当于较露地多供水 232.1 mm。在偏早年,双垄沟覆膜增产 51.5%,水分利用效率提高 60.3%,相当于较露地多供水 121.0 mm。

表 2 春玉米→冬小麦-夏玉米种植制度的预期生产效果
Table 2 Expected production effects of cropping system with spring corn→winter wheat-summer corn

作物 Crop	关键技术 Key technology	用水与节水 Effect on water use	产量 Yield	质量 Quality
春玉米 Spring corn	地面覆被 Field mulch	减少耗水 Reduce water consumption	显著超产夏玉米 Overproduction of summer corn	优质 High quality
	长生育期品种 Cultivars with long growth period		较两熟减产 Yield reduction compared with double cropping	
	早种早收			
冬小麦 Winter wheat	Early sowing and harvest	早熟减耗 Reduce water consumption for early mature	避开热风增产 Avoiding dry and hot air to increase production	优质 High quality
	优质与专用品种 Quality special cultivars			
	早种晚收			
夏玉米 Summer corn	Early sowing and late harvest	利用降水 Harvest and use precipitation	晚收增产 Late harvest and yield increase	优质 High quality
	饲用高密品种 High density cultivars for feeding	减少饲养耗水 Reduce water consumption during feeding	青饲料 Forage maize	

表 3 不同覆膜处理饲用玉米耗水量、产量及水分利用效率
Table 3 Water consumption, yield and WUE of forage maize under different plastic film covering treatments

降水年型 Annual precipitation type	水分与产量 Water and yield	耕作方式 Tillage			
		平地覆膜 Film mulching cultivation on ground	双垄沟覆膜 Film mulching cultivation on double ridges	土下覆膜 Film mulching cultivation under ground	露地 Open field
2016 (丰水年) 2016 (Wet year)	生育期降水量/mm Precipitation during growth period	309.8	309.8	309.8	309.8
	生育期耗水量/mm Water consumption during growth period	267.0	265.6	281.6	298.0
	生物产量/(kg·hm ⁻²) Yield	12584.5	12791.2	8462.9	7648.5
	水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) Water use efficiency	47.15	48.25	30.15	25.7
	多供水/mm More water supply	222.7	232.1	47.7	-
	生育期降水量/mm Precipitation during growth period	222.4	222.4	222.4	222.4
	生育期耗水量/mm Water consumption during growth period	200.2	201.3	203.1	213.1
2017 (偏早年) 2017 (Dry year)	生物产量/(kg·hm ⁻²) Biological yield	9031.4	9734.4	11006.2	6424.8
	水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) Water use efficiency	45.1	48.4	54.2	30.2
	多供水/mm More water supply	98.9	121.0	161.3	-

秸秆覆盖在低温环境下如华北平原冬麦田,由于降低土温而致小麦减产^[27],地膜覆盖在黄土高原半干旱雨养条件下由于促进了作物前期发育而致玉米抽雄期提早到旱季,影响结实而造成减产^[28],甚或在高温环境下覆膜直接危害作物幼苗发育等,成为覆盖栽培方法面临的障碍。探索新型的田间覆盖方式与适用作物,如水泥硬壳覆盖^[29]、土下地膜覆盖^[30],以及主动集雨-节水灌溉的集约生产方式,对于拓展农田集水、节水保水与高效用水技术有重要的意义。

3.3 选配适水型作物,转型质量化生产

3.3.1 选配适水作物 在黑龙港低平原区,随着冬小麦面积的减少,为发展具有无限开花习性的棉花、花生、大豆,以及有较好抗旱特性的谷子、高粱等一熟作物,充分利用区域充沛的光热资源与干旱环境生产优质产品创造了季节资源,也为多作物轮种与资源高效生产提供了作物基础。中国农业大学吴桥实验站在引选春花生的基础上,集成创新了轻简机械化栽培技术,采用“覆膜垄作高产栽培模式”,创造了单产 6 508 kg·hm⁻²的黑龙港低平原区高产纪录,实现花生平均产量 5 898 kg·hm⁻²,产值 45 000 元·hm⁻²的生产效果^[31]。与传统的冬小麦一夏玉米种植结构相比,这项技术既提高了单位面积的产值,又在一定程度上减少了对地下水资源的消耗^[32],是地下水超压采区重要的两熟生产的有效替代技术方案。

在坝上高平原区,传统的自给生产已逐渐转变为市场型农业生产。本课题组研究表明,利用冷凉气候雨养种植低芥酸、低硫甾的“双低”甘蓝型油菜籽“华油杂 62”(表 4),不仅品质优于当地芥菜型油菜“大黄”,而且油菜籽产量提高了 65.7%,相比当地传统油料作物亚麻,其产量也提高了 40.3%。新型油料作物甘蓝型油菜籽的利用,不仅丰富了坝上地区作物倒茬类型,而且能够有效替代高耗水作物马铃薯的生产。

3.3.2 保证安全成苗率,提高补水生产技术 雨养旱作的最大问题是生产的不稳定性,土壤干旱导致春季播种难以适时与安全成苗,夏秋降水时间与数量的宽幅变异使得农田投入转化效率低。因此,提高补水生产技术是农田高产、高效的前提。

在坝上地区,甜菜作为主要的经济作物,秧苗移栽的成活率与壮苗率是决定甜菜产量的最关键因素。本课题组 2012 年(降水量 373.4 mm)试验表明,在壤质草甸栗钙土农田,移栽时每株补水量 100 ml 即可保障甜菜全部成活,即使在补水量 50 ml 情况下,较未补水甜菜成活率也能提高 58.34%。实现壮苗则需补水 100~150 ml·株⁻¹,较未补水甜菜块根产量提高 68.78%~81.82%,糖产量提高 69.27%~81.82%(表 5)

3.3.3 由追求高产转为优质生产

(1)提高农产品生产质量。由传统追求农产品高产转向优质生产,这不仅是由目前我国食物生产的国际环境所决定的,而且也是河北省在京津冀一体化背景下农业转型发展的一次重要机遇。在黑龙港低平原区,发挥区域充沛的光热资源优势与旱境条件,生产旱作花生、大豆、棉花、高粱等工业原料作物,以及与区域雨热同步的多年生果树、饲草作物等,实现农业增收。在坝上高平原地区,简约化地雨养生产糖用甜菜、淀粉马铃薯、油菜籽,以及饲用玉米、饲用苜

表 4 坝上栗钙土田油菜籽品比产量

Table 4 Comparison of yield of different oil varieties in chestnut soil field in Bashang plateau				
品种 Variety	收获期 (月-日) Harvest period (m-d)	产量 Average yield /(kg·hm ⁻²)	增产 Yield increasing/%	
			较“大黄” More than “Dahuang”	较亚麻 More than flax
“华油杂 62”油菜籽 “Huayouza 62”rape	09-11	2058	65.7	40.3
“大黄”油菜籽 “Dahuang” rape	08-25	1242	-	
亚麻 Flax	09-05	1467		-

表 5 草甸栗钙土农田补水移栽甜菜苗期的生长状况及产量品质变化

Table 5 Growth traits, yield and quality of transplanted sugarbeet with water supply treatments							
补水量/(ml·株 ⁻¹) Water supplement /(ml·plant ⁻¹)	苗期性状 Seedling character			生物产量 Biological yield /(kg·hm ⁻²)	经济产量 Economic yield /(kg·hm ⁻²)	含糖率 Sugar content/%	糖产量 Sugar yield /(kg·hm ⁻²)
	成活率 Survival rate/%	单株叶数/片 Leaves per plant	株叶面积 Leaf area per plant/cm ²				
400	95.83	8.4	407.63	59281.57	45116.16	19.94	8996.16
350	93.75	8.1	464.08	56996.21	44050.50	19.91	8770.46
300	93.75	10.2	407.42	61445.71	43622.48	19.22	8384.24
250	95.83	9.2	387.13	62218.43	46142.67	19.52	9007.05
200	95.83	7.0	343.76	57594.70	43362.37	20.34	8819.91
150	93.75	8.7	327.54	57670.45	43061.87	20.66	8896.58
100	100.00	8.1	313.94	62858.59	46390.15	20.60	9556.37
50	79.17	6.7	145.49	46641.41	33907.83	20.30	6883.29
0	50.00	6.3	86.68	37155.30	25513.89	20.60	5255.86

麦、饲用谷子等,通过工业与畜牧业加工拉长产业链;创新发展集约化的大棚雨养节灌无害蔬菜生产技术,促进农业增值。

(2)提高劳动生产效率。农业的专业化、产业化水平低,直接导致了农产品的成本高、效益低,而本质的症结在于劳动效率低。由农户合作(或托管)而组织的大规模农田生产,由机械化与智能化组成的大规模机械作业,由职业化农民实施的农场化生产经营,不仅是提高农业劳动效率的要求,而且也是此次河北省农业旱作化转型中必经的过程。这对于向简约化生产方向发展的河北省黑龙港低平原区与坝上高平原区的产业升级更为重要。本课题组通过对华北旱区典型村庄定点监测表明,农村人口的非农转移逐年增加,1999年至2008年,9年间人口的非农化转移36.9%,并且劳动力成本已上升到经济作物(蔬菜)生产总成本的50%左右^[33]。经济作物的生产典型地伴随机械化与智能化农田作业过程的实现,将进一步解放出更多的农村劳动力,促进其向非农产业或城市化的转移,提高社会组织化水平,提高劳动力效率,提高农民收入。

(3)开发优质环境产品。面对地下水耗竭的资源环境问题,以旱作化为核心的种植制度改革势在必行。在这一资源环境的恢复与重建过程中,开发符合新的社会需求的优质环境产品,以实现高耗水生产的等效或优效替代,是农业转型发展的重要途径。开发以优质环境为依托的地标性产品,如以低平原区桃园为依托的春赏桃花夏采摘^[34],以坝上夏秋凉爽、花田草海为依托的休闲游憩^[35]以及无病虫害、无农药施用的坝上无害果菜生产等,成为生态优先背景下满足社会迫切需求的优质绿色产品生产的重要方向。

参考文献:

[1] 马世钧.旱农学[M].北京:农业出版社,1991:27-32.
[2] 石元春,辛德惠.黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理[M].石家庄:河北人民出版社,1983:45-71.
[3] 胡立峰,张立峰.风蚀地区的保护性耕作探讨——以河北坝上地区为例[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):219-221,224.
[4] 王立祥,廖允成.中国粮食问题:中国粮食生产能力提升及战略储备[M].银川:阳光出版社,2013:240-260.
[5] 孙宏勇,刘小京,张喜英.盐碱地水盐调控研究[J].中国生态农业学报,2018,26(1):1528-1536.
[6] 张立峰.论华北农牧交错带生态与经济建设的策略与途径[J].应用生态学报,2003,14(11):2054-2056.
[7] 王树安.吨粮田技术[M].北京:农业出版社,1991:1-15.
[8] 杨福存,刘树庆,刘玉华,等.坝上蔬菜栽培的理论与技术[M].北京:气象出版社,2003:1-14.
[9] 郑连生.广义水资源与适水发展[M].北京:中国水利水电出版社,2009:146-270.

[10] 张宗祜.华北大平原地下水的历史与现状[J].自然杂志,2005,27(6):311-315.
[11] 赵勇,翟家齐.京津冀水资源安全保障技术研发集成与示范应用[J].中国环境管理,2017,(4):113-114.
[12] 韩晓宇,耿荣海,刘守义.张家口市坝上内陆河流域水资源现状及可持续利用研究[J].河北北方学院学报(自然科学版),2012,28(5):50-53.
[13] 河北省人民政府.《2017年河北省水资源公报》[EB/OL].(2018-08-30),<http://www.hebei.gov.cn/hebei/11937442/10757006/10757134/14386128/index.html>.
[14] 任继周.系统耦合在大农业中的战略意义[J].科学,1999,51(6):12-14.
[15] 张立峰.农田生产工程学[M].北京:科学出版社,2015:76-90.
[16] 杜雄,张永生,冯丽肖,等.农业合作生产对华北农牧交错区水资源存量 and 经济效益的影响[J].自然资源学报,2009,24(11):1901-1911.
[17] 农业部等十部委办局.探索实行耕地轮作休耕制度试点方案[EB/OL].(2017-11-28),http://www.moa.gov.cn/nybgh/2016/diqiqi/201711/t20171128_5921712.htm
[18] 刘巽浩,牟正国,邹超亚,等.中国耕作制度[M].北京:农业出版社,1993:25-33.
[19] 何立谦,张维宏,杜雄,等.土下覆膜与适宜灌水提高冬小麦水分利用率[J].农业工程学报,2016,32(S1):94-10.
[20] 王慧军.河北省粮食综合生产能力研究[M].石家庄:河北科学技术出版社,2010:78-94.
[21] NCGA. National winners for 2018 corn yield contest [EB/OL].(2018-12-12),<http://www.ncga.com/for-farmers/national-corn-yield-contest>.
[22] 唐凤,仇梦斐.李登海的玉米情[N].中国科学报,2016-08-25(8).
[23] 刘胜尧,张立峰,李志宏,等.华北旱地覆膜春玉米田水温效应及增产限制因子[J].应用生态学报,2014,25(11):3197-3206.
[24] 陈素英,张喜英,胡春胜,等.河北平原高产粮田综合节水模式研究[J].中国生态农业学报,2004,12(1):148-151.
[25] 李尚中,王勇,樊廷录,等.旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应[J].中国农业科学,2010,43(5):922-931.
[26] 王红丽,张绪成,宋尚有,等.旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响[J].应用生态学报,2011,22(10):2609-2614.
[27] 陈素英,张喜英,孙宏勇,等.华北平原秸秆覆盖冬小麦减产原因分析[J].中国生态农业学报,2013,21(5):519-525.
[28] 张冬梅,池宝亮,黄学芳,等.地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响[J].农业工程学报,2008,24(4):99-102.
[29] 李伟强,张秀梅,雷玉平,等.水泥硬壳覆盖条件下水热盐运移及其对枣树生长的影响[J].中国生态农业学报,2000,8(3):51-54.
[30] 唐继军.土下覆膜的作物生长与土壤生态效应研究[D].保定:河北农业大学,2011.
[31] 郭彬.吴桥打破春花生纪录最高亩产433.91公斤[N].沧州日报,2016-09-14(1).
[32] 张凯,周婕,赵杰,等.华北平原主要种植模式农业地下水足迹研究——以河北省吴桥县为例[J].中国生态农业学报,2017,25(3):328-336.
[33] 张继宗,张立峰,杜雄.华北旱区开放型农作制度的创新与实践[J].耕作与栽培,2015,(3):4-7.
[34] 叶晓彦.北京平谷“桃花节”的20年蜕变[J].绿色中国,2018,(8):41-43.
[35] 河北省委省政府.关于实施旅游产业战略建设旅游强省的意见[N].河北日报,2016-12-30(1).