

吉林农业大学

硕士学位论文

吉林省雨养农业区玉米秸秆还田机械化耕作技术研究

姓名：李万良

申请学位级别：硕士

专业：农业机械工程

指导教师：袁宏印

20050601

摘 要

秸秆是农作物的主要副产品,也是一种重要的生物资源。全国目前年产各种作物秸秆 6-7 亿吨,仅有四分之一左右还田,一些剩余秸秆被堆积到田边道旁或就地焚烧,既浪费了资源,又污染了环境。

世界上农业发达的国家大都非常重视土地的用养结合和发展生态农业,在美国和秸秆还田十分普遍。不但玉米、小麦等秸秆大量还田,而且像大豆、番茄等秸秆也尽量还田。据美国农业部统计,美国每年生产的作物秸秆 4.5 亿吨,秸秆还田量占秸秆生产量的 68%,对保持美国的土壤和土壤肥力起着十分重要的作用。英国秸秆直接还田量的则占其生产量的 73%。目前,国外一些国家秸秆还田的研究与利用已处于领先水平。

东北平原的黑土地经过长期以来连续种植高产作物,重无机农业、轻有机农业,重用地、轻养地的掠夺式生产方式,使黑土地土壤肥力和有机质含量迅速下降,水土流失加剧,旱涝灾害增多,沙尘暴频繁,耕地和草场退化严重,农业生态条件恶化。现行整地方法的主要弊端是作业环节多、成本高,大多数灭茬同时不成垄,或成垄不镇压,秋、春两季多次整地才能达到播种状态,使土壤水份大量散失,加重了旱情。近年来,干旱少雨已成为雨养农业区最大的自然灾害。

玉米秸秆还田,可以减轻耕地水蚀和风蚀。坡耕地实行秸秆安全还田技术的保护性耕作,还有着减少河流泥沙含量,促进流域治理,改善生态环境的作用。历年的作物秸秆不断地在土壤表层累积,逐渐形成肥沃的腐殖层,改善土壤结构,主要表现在土壤毛管孔度增加、土壤团聚体数量增加,提高自然降雨利用率,增强抗旱能力,增强土壤的蓄水保墒能力。

本论文通过研究秸秆还田的变化规律;东北玉米主产区秸秆还田方法研究;机械化全方位深松、条带深松、深耕整地方法及不同组合方式改善土壤理化性状效果,形成雨养农业区玉米秸秆还田与优化土壤环境调控配套的综合技术。集作物高产栽培、土壤保护、农机农艺相结合,是提高劳动生产率、降低生产成本、提高效益为一体的旱作农业的保护性耕法,在东北玉米主产区发展持续高效农业有广泛的前景。

本论文取得的成果:

- 1、经过小区试验、大区对比试验和示范,在玉米宽窄行新耕作技术的基础上,对秸秆还田不同方式进行了研究,通过秸秆还田不同方法对土壤物理性状、培肥效果、植株生长发育及产量的影响分析,初步提出了适应新耕作技术的玉米秸秆还田方法。

- 2、高茬还田既经济、又省工,同时具有土壤培肥的作用,8 年高茬还田土壤有机质比现行耕法提高 6.73g/kg。

3、秸秆留高茬还田有利于减少作业量、保持水土、增加透水性及土壤含水量,增加土壤表层(0-10cm)的有机质与养分含量,但同时病虫害增多地温降低。

4、新耕法种植除了增产、培肥地力外,还可以降低生产成本,每公顷生产成本可较常规种植降低200元~300元,可降低生产成本10%以上。

该技术的主要优点如下:

宽行追肥期宽幅深松:此时深松,可以打破犁底层,加深耕层,改善耕层物理性状,减少径流,接纳和储存更多的降水,形成耕层土壤水库,可做到伏雨秋用和春用,提高自然降水利用效率。

留高茬自然腐烂还田:采取留高茬自然腐烂还田,有增加土壤有机质、培肥地力、减少土壤风蚀的作用。

秋季宽行旋耕整地:在追肥期深松的基础上,收获后在宽行旋耕一次,达到播种标准。翌年春季不整地直接播种,有利于保墒、保苗。

窄行精密播种:窄行精密播种系指在秋季精细整地的基础上,在上年宽行实行精量播种。

交替还田:系指苗带隔年轮换后形成的宽行和窄行的秸秆交替还田。具有恢复地力、保证苗带处于良好的土壤环境,能充分利用深松建立的土壤水库所提供的水分,保证苗期生长,解决春季水分供求矛盾。

秸秆还田技术配套的农机具,适用于东北旱作农业的发展,完全能够满足土壤培肥和旱作节水农业的农艺要求,播种机实现深开窄沟,浅覆土,结合重镇压,保苗率可达95%以上,较普通生产田保苗率高15%以上,达到苗齐、苗全、苗壮。

该项技术研究已初步形成了体系,并配套了农机设备。

玉米秸秆还田机械化耕作技术创造了松紧兼备、虚实并存的耕层结构,在协调耕层土壤水、肥、气、热状况方面有良好的效果;打破犁底层,不翻转耕层,不破坏耕层结构,蓄水保墒;精密播种,省工省时;留高茬还田,培肥地力;苗带轮换,隔年休闲,用养结合;改变了种植方式,改善了农田环境,增强玉米生产后期的通风透光性,发挥了边行优势,便于中后期田间管理,为植物中后期采取各种调控技术措施提供便利条件。2000—2004年在公主岭市范家屯镇香山村和朝阳坡镇大房身村新耕法种植累计示范面积3000亩。2001年示范品种5个,同品种比对照增产17.5%,不同品种平均增产13%;2002年品种8个,同一品种增产20.4%,不同品种增产13.8%;2003年示范品种4个,同一品种增产12.9,不同品种平均增产12.7%;2004年示范7个品种,同一品种的产量没有差异,不同品种平均增产10.9%。

关键词: 秸秆还田 机械化耕作技术 栽培

Abstract

Straw is the main by-product of the crops. It is also an important biological resource. At present, the annual output of the straws of all kinds of crops in our whole country is 6 or 7 hundred million tons. There are only a quarter of them given back to the field. And some surplus straws are piled beside the fields or near the roads or burnt on the spot. It not only wastes the resources, but also pollutes the environment.

Most of the countries that are developed in the world pay more attention to the combination between use and enrichment of the soil and the development of eco-agriculture. It is very common giving the straws back to the field in America. Not only corns and wheat, but the straws like beans, tomatoes are given back to the field as possible. According to the statistics of American Agriculture Ministry, the annual output of the crops straws in America is 4.5 hundred million tons. Its amount of giving back to the field is 68% of the output. This plays a very important role in keeping the American soil and its fertilities. The amount of giving back to the field of straw in UK is 73% of the output. At present, some researches and uses on giving straws back to the field in some countries abroad have kept ahead.

For a long time, people have planted the crops with high yield continually in the black soil of northeastern plain. They pay more attention to inorganic agriculture than organic agriculture. They pay more attention to using soil than enrich it. This makes the soil fertilities and the contents of organic materials reduce rapidly. And it pricks up the soil erosion and increases the disasters of drought and excessive rain and sandstorm. It also makes the infield and grassland degenerate and worsens the condition of agricultural production. The main shortcomings of present renovating soil method are superabundant operation links and high cost. Most of the stubbles aren't in line or in line, but not in ridges and in the seasons of spring and autumn, it needs to renovate soil many times to reach the state of sowing. And it makes soil moisture flow heavily and worsens drought. In recent years, drought has been the biggest natural disaster in the areas depending on rain.

The corn straws giving back to the fields can reduce water erosion and wind erosion of infield. On the sloping infields, we adopt the protective farming by the technique of giving the straws back to the fields. It also has the role of reducing the content of river sands and promoting the harness to the drainage areas and improving eco-environment. Years of straws pile up on the surface of the earth and form fertile rotten layer that improves the soil structure. The main representations are the increase of soil hair hole and the amount of soil assembling system, the improvement of using rate to natural rain, the increase of anti-drought ability and the strengthening of the ability of storing soil water and keeping soil moisture.

The article studies giving straws back to the fields and the changing principles of soil fertility under the condition of different organic materials, giving corn straws back to the field method in northeast producing area, mechanized and all-round deepening and loosening, ribbon like deepening and loosening, renovating soil method by deepening soil and the improvement to the effect of soil physical characters by different combining ways. So it forms the synthetic technique of giving straws back to the field and optimizing soil environmental control. It is a kind of protective farming way of improving working efficiency, reducing producing cost and improving profit in drought areas by integrating high yield planting, soil

protection and mechanization of farming and agriculture. It has a prospective future developing continuous high yield agriculture in the corn producing area of northeast.

The achievement of the article:

First, through the contrast experiment between small area and big area and demonstration, we study the different ways of giving straws back to the field on the basis of the new farming technique of corn size row. We put forward to the way of giving corn straws back to the field preliminarily to adapt to the new farming technique by analyzing the effect of the different ways of giving straws back to the field to soil physical character, planting effect, the growing of individual plant and its output.

Second, it is both economic and saving work giving tall stubbles back to the field. At the same time, it plays the role of fertilize the soil. The organic materials giving tall straws back to the field for 8 years are 6.73g/kg higher than present farming way.

Third, giving tall straws back to the field, it is good for reducing work amount, keeping water and soil, increasing water permeability and the content of soil water, increasing the content of organic materials and nutrient in soil layer. But at the same time, it increases plant diseases and insect pest and lowering the soil temperature.

Fourth, besides increasing output and fertilizing soil by the new farming way, it can reduce producing cost. It can make the producing cost reduce 200-300 yuan cheaper than the more common planting. It can reduce the producing cost to over 10%.

The main advantages of the technology are as following:

Deepening and loosing widely during the period of fertilizing in wide rows: Deepening and loosing at the moment can break through the bottom layer, deepen the farming layer, improve the physical characters of the farming layer, reduce pathway flow, accept and reserve more rain to form a reservoir in the farming layer. It can live up to taking use of the precipitation in hot seasons in spring and autumn and improve the using efficiency of natural precipitation.

Giving the left high stubbles naturally decayed back to the field: it can play the role of increasing organic materials to the soil, fertilizing the soil power and reducing wind erosion giving the left high stubbles naturally decayed back to the field.

Revolving farming and renovating soil in wide rows in autumn: on the basis of deepening and loosing in fertilizing period, it can reach the standard of sowing to revolve one time in wide row after harvest and it is useful to preserve soil moisture and young plants to sow directly without renovating soil in the next spring.

Precise sowing in narrow rows: it refers to the precise sowing on last wide rows on the basis of precise renovating soil in autumn.

Giving back to the field by turns: it refers to giving straws back to the field by turns in wide and narrow rows formed after the young plants strips transmigrated every other year. It can restore soil power and insure that young plant strips are in good soil environment. It can take good use of the moisture provided by the soil reservoir established by deepening and loosing to ensure the growing during young plant period and to solve the contradiction between supply and need of water in spring.

The agricultural mechanized tools matched with the technology of giving straws back to the field are fit for the development of the drought agriculture in northeast and can meet the

agricultural requirement of fertilizing soil and saving water in drought areas completely. Seeding-machines realize to deepen the narrow ditches and cover the soil shallowly. Combining with heavy suppression, the rate of preserving young plants can reach over 95% and 15% higher than the common product field so as to reach the point that the young plants are even, complete and strong.

The technical study has formed a system preliminarily and been matched with the agricultural mechanized equipment.

The mechanized farming technology of giving straws back to the field creates the farming layer structure which gives consideration to the degree of tightness and coexisting between false and true. It has good effects in coordinating soil water, fertilizer, gas and hotness in farming layers: breaking through the bottom layer and not turn over or destroy the construction of the farming layer; saving water and preserving soil moisture; precise planting, saving work and time; giving left high stubbles back to the field, strengthening soil power; changing the young plants strips, resting every other year and combining using with enriching; having changed planting way and improved farmland environment, strengthened air and light permeability in the evening of corn growing and brought into play line advantages; convenient for the management of midterm and final term and provides convenient conditions for adopting all kinds of controlling technical methods in mid or final term. From 2000 to 2004, we planted 3000 acres in all by the new farming way in Xiangshan village, Fanjiatun and Dafangshen village, Chaoyangpo, Gongzhuling. In 2001, we have 5 demonstrating products. The output increases 17.5% for the same kind and 13% for the different in average. In 2002, we have 8 demonstrating products. The output increases 20.4% for the same kind and 13.8% for the different in average. In 2003, we have 4 demonstrating products. The output increases 12.9% for the same kind and 12.7% for the different in average. In 2004, we have 7 demonstrating products. The output has no difference for the same kind and increases 10.9% for the different in average.

Key words: straw returning mechanized farming technology planting

第一章 绪 论

秸秆是农作物的主要副产品,也是一种重要的生物资源,我国是一个农业大国,秸秆资源十分丰富。据统计,全国目前年产各种作物秸秆 6-7 亿吨,仅有四分之一左右还田,一些剩余秸秆被堆积到田边道旁或就地焚烧,既浪费了资源,又污染了环境。

随着我国农业生产水平的不断提高,作物秸秆的产量也会越来越高,提高秸秆的还田率,不仅能减少资源的浪费和环境污染,还可以提高整个农业生产系统的产出水平,是实现农业可持续发展的重要内容。

1.1 国内外秸秆还田技术发展的现状

世界上农业发达的国家大都非常重视土地的用养结合和发展生态农业,一般把化肥施用量控制在施肥总量的 1/3 左右,秸秆还田和农家肥占施肥总量的 2/3。在美国和秸秆还田十分普遍。不但玉米、小麦等秸秆大量还田,而且像大豆、番茄等秸秆也尽量还田。据美国农业部统计,美国每年生产的作物秸秆 4.5 亿吨,占整个美国有机残物生产量的 70.4%、秸秆还田量占秸秆生产量的 68%,对保持美国的土壤和土壤肥力起着十分重要的作用。英国秸秆直接还田量的则占其生产量的 73%。日本微生物学家研究出了一种秸秆分解菌技术,用于种植业、环保领域,可以用于秸秆肥的制作,达到秸秆还田的目的,具有良好的经济效益和社效益。目前已在全世界 20 多个国家应用。目前,国外一些国家秸秆还田的研究与利用已处于领先水平^[1]。

目前我国农作物秸秆用于还田的很少,大部分地区由于没有采取有效的还田措施,致使耕地连年种植不得休闲,土壤有效成份得不到及时补充,土壤有机质含量逐年下降,全国平均只有 1.5%,不到美国土壤有机质平均含量的一半,农业生产处于重用轻养的掠夺式经营状态。同时由于化肥施用量逐年增大,全国占世界 7% 的耕地,化肥用量占世界施用化肥总量的 27%,致使土壤板结,地力衰退,造成农作物营养不良和病虫害多的严重后果。因此,秸秆还田技术具有很大的发展潜力。

1.2 秸秆还田对土壤培肥的作用

近代对秸秆还田功能的研究已有近百年的历史,英国的洛桑试验站积累有百年以上的试验资料。美国在农业现代化进程中也进行了大量秸秆还田的研究。中国农业科学院土壤肥料研究所以及各地的农业科研机构也都进行了许多秸秆还田与土壤肥力关系的试验研究。

1.2.1 增加土壤有机质和养分含量

刘巽浩等研究表明,绝大多数试验得出,连续多年秸秆还田可逐步增加土壤有机质,平均年增率为0.01%^[1]。马惠杰资料,玉米秸秆还田5年后,土壤有机质增加0.29%。0—20 cm耕层内土壤碱解氮增加31.2mg/kg,速效磷增加3.8 mg/kg,速效钾增加24.5 mg/kg^[8]。王鹤桥资料,公顷施22500 kg玉米秸秆,一年后土壤有机质净积累0.14%,全氮净增0.005%,全磷增加0.018%,全钾净增0.90%。赵聚宝研究表明,秸秆还田2年后,土壤有机质含量增加0.08%—0.24%,全氮含量增加6%—11%,全磷增加8%—10%,水解氮增加41.0%,速效磷增加56.8%^[9]。彭祖厚资料,玉米秸秆还田2年后,土壤有机质含量比对照增加0.181%。0—20 cm土层的全氮、全磷、全钾含量比对照分别高0.0152%,0.06%和0.02%;水解氮、速效磷和速效钾比对照分别多0.78 mg/100 g土、1.09 mg/100 g土和3.3 mg/100 g土^[11]。蒋维新10年的试验结果表明,施用氮肥处理的土壤有机质试验前增加0.1%,秸秆还田处理增加0.19%。施入秸秆者松结态腐殖质含量比对照提高0.059%,腐殖质组分中新鲜的有机质含量高,保持了地力常新。施秸秆15年后,土壤含氮增加0.034%。施入秸秆的酸解总氮占全氮的78.9%,不施秸秆者仅占57.6%。说明秸秆还田使土壤氮素活性明显提高^[12]。

吉林省农科院黑土定位监测试验结果表明,施用不同肥料(包括单施化肥、单施有机肥及化肥、有机肥配合施用)14年和24年后,耕层土壤有机质含量的变化较大。开始于1990年的监测试验,试验地(试验前)黑土耕层土壤有机质含量为23.3g/kg,在连续14年不耕作(休闲处理)条件下耕层土壤有机质含量增加到29.0g/kg,秸秆还田和化肥同时使用处理区耕层土壤有机质含量增加到27.1g/kg和,14年间分别增加3.8 g/kg,平均年增0.27g/kg;单施化肥处理耕层土壤有机质含量与试前相比略有降低,但变化不大,单施N肥区下降1.4g/kg,NP、NPK配合下降的幅度低于单施N肥区。

1.2.2 改善土壤理化性状

刘巽浩等认为,秸秆还田对土壤物理结构性状的影响还须进一步研究^[1]。汪炎炳资料,秸秆还田后,0—30 cm土层大于0.25 mm的水稳性团粒总数,秸秆还田为63.8%,对照为60.1%;0—30 cm土层大于2.0 mm水稳性团粒总数为14.3%,而对照为8.6%^[13]。王志学资料,秸秆还田后耕层土壤容重比对照降低0.07—0.12 g/cm³,土壤孔隙度增加2%—8%^[14]。迟凤琴资料,还田后耕层土壤容重下降0.201 g/cm³,孔隙度上升11.03%^[15]。孙宏德资料,还田后土壤容重比对照降低0.13 g/cm³,总孔隙度增加7%,通气孔隙增加7.5%^[16]。许国钧研究表明,还田后土壤水稳性团粒增加2.2%,孔隙度增加1.5%,有效孔隙度增加3.7%,土壤容重降低0.07 g/cm³。胡铁庄资料,秸秆还田使

土壤变疏松, 20—40 cm土层容重下降 0.201 g/cm^3 , 孔隙度上升11.03%。魏廷举试验, 秸秆还田3年, 耕层容重降低 $0.19\text{--}0.2 \text{ g/cm}^3$, 非毛管孔隙增加0.5%—3.0%, 大于2 mm粒径的团粒增加202.9%。土壤物理性状的改善使土壤的通透性增强, 提高了土壤的蓄水保肥能力, 有利于提高土壤温度, 促进了土壤中微生物的活动和养分的分解与利用, 有利于作物根系的生长发育, 促进了根系的吸收活动^[17]。辽宁、江苏、河南资料, 秸秆还田改良盐碱土效果明显, 每公顷施入6000—7500 kg秸秆, 可使盐斑下降53%—74%, 耕层盐分下降41%—54%。

吉林省农科院的黑土监测基地研究资料表明: 土壤容重, 施有机肥处理区, 耕层土壤容重呈下降趋势, 下降幅度为 $0.04\text{--}0.24 \text{ g/cm}^3$; 对照和化肥区呈增加趋势, 增加幅度为 $0.12\text{--}0.32 \text{ g/cm}^3$; 休闲区耕层土壤容重由 1.19 g/cm^3 增加到 1.24 g/cm^3 , 这主要是由于连年不耕作土壤自然沉降的结果。秸秆还田区(秸秆、秸秆肥)与化肥配合施用处理区土壤容重明显低于单施化肥区, 幅度在 $0.15\text{--}0.42 \text{ g/cm}^3$ 。孔隙度变化, 单施有机肥与有机肥加化肥黑土耕层土壤总孔隙度呈增加趋势, 增加幅度为1.2%—13.2%。化肥区呈下降趋势, 下降幅度为6.0%—9.0%左右。田间持水孔隙和通气孔隙的变化趋势与总孔隙度变化趋势相同。秸秆还田后, 土壤物理性状趋向好转, 秸秆区、秸秆肥区土壤总孔隙度比对照增加7.5%, 比化肥区增加5.1%; 土壤通气孔隙, 秸秆区比对照增加7.5%, 比化肥区增加6.7%; 秸秆肥区比对照增加10.2%, 比化肥区增加9.4%。表明秸秆还田可降低土壤容重, 使总孔隙增加, 土壤物理性状趋向好转。土壤含水量变化, 多年连续监测, 不同施肥措施和不同耕作措施黑土0cm~100cm土层储水量的变幅为480mm—660mm, 有效储水量变幅为140mm—320mm, 单施有机肥、有机肥—化肥配施和秸秆不同形式还田、玉米—大豆轮作处理黑土耕层土壤储水量和有效储水量明显高于不施肥和单施化肥处理。

1.2.3 提高土壤生物活性

玉米秸秆含有大量的化学能, 是土壤微生物生命活动的能源。秸秆还田可以增强各种微生物的活性, 即加强呼吸、纤维分解、硝化及反硝化作用。季立声资料表明, 秸秆还田后使蔗糖酶、脲酶、中性磷酸酶、过氧化氢酶的活性均高于不还田处理。秸秆还田不仅增加了各种酶的数量, 同时提高了酶的活性。酶活性的提高必然促进土壤有机质的转化和养分的有效化^[18]。曾广骥研究表明, 秸秆还田后0—20 cm耕层细菌数和真菌数分别比不还田增加142.9%和115.0%。还田后土壤中转化酶活性明显提高, 而转化酶活性与土壤速效氮含量呈正相关^[19]。方正研究表明, 秸秆还田后增加了土壤中新鲜有机物, 刺激了土壤中细菌的繁殖, 细菌数量还田土壤中为不还田的5.8倍。还田后土壤过氧化氢转化酶和脲酶活性均有提高。土壤肥力与酶活性密切相关, 秸秆还

田后提高了酶活性,加速了土壤熟化,为土壤中养分释放提供了有利条件^[1]。王兆荣研究表明,土壤酶活性是土壤生物活性指标,可代表土壤中正进行的各种生物化学过程的方向和程度。秸秆是土壤生物活动的有效能源,秸秆还田能激发微生物活性及各种酶的活性。秸秆还田3年后中性磷酸酶活性比对照提高27.9%,脲酶活性提高18%。土壤生物活性加强,刺激了细菌大量繁殖,从而促进了土壤中新鲜有机物质的矿化腐解和养分释放。实践证明,秸秆还田不仅提高了土壤全量养分、速效养分和有机质,而且随着有机质的提高相应地增加了土壤的代换性能。彭祖厚资料表明,玉米秸秆还田3 000 kg/hm²时,土壤代换量增加到14.40 m.e/100 g土,比对照多2.64 m.e/100 g。胡铁庄试验,秸秆还田使土壤中阳离子代换量由10.3 m.e/100 g土上升到17.85 m.e/100 g土^[20]。

1.3 秸秆还田的增产效益

大量资料表明,秸秆还田由于改善了土壤的理化性状,增加了有机质和各种养分含量。在各种作物上均表现出增产效益。薛坚等的研究,在大多数情况下,秸秆还田增加了作物产量,平均增产幅度为-4.8%—83.4%。平均增产15.7%。黑龙江、吉林、陕西和河北等地的资料表明,在黑土、白浆土和碳酸盐黑土上,实施秸秆还田后,大豆、玉米、小麦的增产幅度为6.1%—14.3%。黑龙江、山西、山东和河南等地的资料表明,不同作物对秸秆还田的反应不一致,玉米秸秆还田后大豆的增产最为明显,平均比对照增产5%—12.9%,玉米增产7.7%—8.9%,小麦增产3.7%—4.9%。吉林省农科院的研究表明,玉米秸秆直接还田与单施化肥和有机肥化肥配合施用相比,前两年玉米表现为不增产甚至减产10%—15%,从第三年起,玉米单产较单施化肥提高,5年后公顷产量可稳定在9400kg/hm²—12000kg/hm²左右,比对照增产二倍以上,比单施化肥区增产12%—23%。不施肥区,玉米产量呈急剧下降趋势,由试前的7500kg/hm²左右下降到2000—3000kg/hm²左右。有机肥与化肥配合施用处理玉米产量基本稳定在9000 kg/hm²—14000kg/hm²。说明秸秆还田与施用有机肥具有相同的稳产和增产作用,有机肥与无机肥配合施用,培肥增产效果显著^[22]。

1.4 秸秆还田方式

秸秆还田从还田方式上可分为沤制粗肥还田、过腹还田和直接还田三种,前两种为传统习惯方式,但因受时间、劳力、牲畜养殖规模等条件限制,能被利用的秸秆数量有限,大部分秸秆还是白白浪费掉了,只有依靠机械化技术才能实现大量秸秆就地及时直接还田。

从70年代末开始,我国农机化科技工作者在引进国外技术和国内外农业科研成果的基础上,先后研究开发出了秸秆、根茬粉碎还田和整秆还田的机械化技术及各

种机具。秸秆还田机械化技术的出现,不仅解决了及时处理大量秸秆还田、避免焚烧的问题,而且为大面积以地养地,建立高产稳产农业创出了新路子。

秸秆直接还田机械化技术可分为粉碎还田和整秆还田两大类。粉碎还田包括各类作物的秸秆粉碎和根茬粉碎(主要是玉米根茬)机械化技术;整秆还田主要指小麦、水稻和玉米秸秆的整秆还田机械化技术^[25]。

1.4.1 秸秆粉碎还田机械化技术

秸秆粉碎还田机械化技术,是以机械粉碎、破茬、深耕和耙压等机械化作业为主,将作物秸秆粉碎后直接翻埋到土壤中去,增加土壤有机质,培肥地力,提高作物产量,减少环境污染,争抢农时季节的一项综合配套技术。具有作业质量好、成本低、生产效率高等特点,是大面积实现以地养地、建立高产稳产农田的有效途径之一。

1.4.2 玉米根茬粉碎直接还田机械化技术

玉米根茬粉碎直接还田机械化技术适用于轮番耕作的垄作地区(东北地区)。这类地区玉米根茬粗大,人工不宜刨除、切碎。在不耕翻的年份,采用根茬粉碎还田机具,将站立在垄上的根茬(地上及地下10厘米以内部分)粉碎后直接均匀混拌于0~10厘米深的耕层中,达到播前除茬整地的要求。

1.4.3 秸秆整秆还田机械化技术

秸秆整秆还田与粉碎还田的技术作用和农艺要求基本相同,所不同的是整秆还田与粉碎还田相比,土壤的有机质含量和含水率都略有增加。此外在旱田中,一是减少了机具购置和机具进地作业次数,降低了生产成本。二是秸秆腐烂分解的速度稍趋缓慢。在水田中,整秆还田可避免秸秆漂浮不易还入泥中的弊端,同时由于南方气温高,水量足,更有利于秸秆腐解。

1.5 东北雨养农业区玉米秸秆还田技术研究

自80年代中期以后,我国各地农机部门积极研究开发并试验推广秸秆还田技术,还田面积逐年扩大,取得了可喜的成效。但在东北地区,由于冬季时间长,秸秆还田后不能完全分解,影响下一年度的播种、出苗和作物生长,实施秸秆还田技术难度大。我国北方旱作地区推广的秸秆及根茬粉碎还田技术,即将地上秸秆粉碎,再用旋耕机深旋翻,深度超过15cm,将碎茎秆和残茬翻埋到土层中,但根茬并未完全切碎,碎茬质量不高。一部分与土壤粘附在一起的根茬翻到地表,反而增加了整地、播种作业的难度。用弹齿耙只能把附土拨掉,难以切碎根茬。另外还存在旋耕掩埋效果差,动力消耗过大等问题。

据不完全统计,近10年来全国推广应用的根茬处理复合作业机具有10多种,

主要生产地为吉林、河北、黑龙江、山东等省。单一的根茬处理是将大田作物的根茬粉碎后直接均匀混拌于 10cm 的耕层中，达到播前整地要求，这种处理也称灭茬作业。根茬处理复合作业是指在碎茬的同时完成其他作业要求，如粉碎地上秸秆、深旋耕及播种等。

我国东北地区现行整地方法：一是秋收割除玉米秸秆，翻、耙平播成 60—70cm 均匀垄；第二种是灭茬后二犁（或三犁川）成 60—70cm 均匀垄。这两种方法的主要弊端是作业环节多、成本高，大多数灭茬同时不成垄，或成垄不镇压，秋、春两季多次整地才能达到播种状态，使土壤水分大量散失，加重了旱情；再有实施秸秆安全还田困难，在当前不施农肥的条件下，尚属掠夺式种植方式。机械作业时田间碾压次数过多，土壤容重增大，抗御自然灾害能力低，产量不高不稳。人畜力作业时劳动强度大，劳动生产率低下。

近年来，干旱少雨已成为雨养农业区最大的自然灾害。玉米秸秆安全还田技术，可以减轻耕地水蚀和风蚀。坡耕地实行秸秆安全还田技术的保护性耕作，还有着减少河流泥沙含量，促进流域治理，改善生态环境的作用。其特点是历年的作物秸秆不断地在土壤表层累积，逐渐形成肥沃的腐殖层，改善土壤结构，主要表现在土壤毛管孔度增加、土壤团聚体数量增加，提高自然降雨利用率，增强抗旱能力，增强土壤的蓄水保墒能力。

东北平原的黑土地经过长期以来连续种植高产作物，重无机农业、轻有机农业，重用地、轻养地的掠夺式生产方式，使黑土地土壤肥力和有机质含量迅速下降，水土流失加剧，旱涝灾害增多，沙尘暴频繁，耕地和草场退化严重，农业生态条件恶化。通过秸秆还田有效地培肥地力，提高土壤有机质含量，而且利用田间作物残茬的覆盖避免了降雨冲蚀和径流造成的养分损失，因而使土壤有机质含量不断增加，耕地质量得到不断的改善。

1.6 吉林省雨养农业区玉米秸秆还田机械化耕作技术特点

近年来，在东北玉米主产区秸秆还田方面有些报道，但是适合东北雨养农业区的玉米秸秆安全还田方法尚没有成功的经验。本论文通过研究秸秆还田、不同有机物料条件下土壤肥力的变化规律；东北玉米主产区秸秆还田方法研究；机械化全方位深松、条带深松、深耕整地方法及不同组合方式改善土壤理化性状效果，形成雨养农业区玉米秸秆还田与优化土壤环境调控配套的综合技术。集作物高产栽培、土壤保护、农机农艺相结合，是提高劳动生产率、降低生产成本、提高效益为一体的旱作农业的保护性耕法，在东北玉米主产区发展持续高效农业有广泛的前景^[2]。

该方法是在宽窄行耕作技术的基础上，通过缩小种植带窄行行距，加宽深松工

作带（宽行），实施宽行追肥期宽幅深松，高茬自然腐烂还田，秋季宽行旋耕整地，翌年春天在原宽行进行精密播种形成新的窄行，实现宽行和窄行的秸秆交替还田。

该项目的技术优点如下：

宽行追肥期宽幅深松：此时深松，可以打破犁底层，加深耕层，改善耕层物理性状，减少径流，接纳和储存更多的降水，形成耕层土壤水库，可做到伏雨秋用和春用，提高自然降水利用效率。

留高茬自然腐烂还田：采取留高茬自然腐烂还田，有增加土壤有机质、培肥地力、减少土壤风蚀的作用。

秋季宽行旋耕整地：在追肥期深松的基础上，收获后在宽行旋耕一次，达到播种标准。翌年春季不整地直接播种，有利于保墒、保苗。

窄行精密播种：窄行精密播种系指在秋季精细整地的基础上，在上年宽行实行精量播种。

交替还田：系指苗带隔年轮换后形成的宽行和窄行的秸秆交替还田。具有恢复地力、保证苗带处于良好的土壤环境，能充分利用深松建立的土壤水库所提供的水分，保证苗期生长，解决春季水分供求矛盾。

秸秆还田技术配套的农机具，适用于东北旱作农业的发展，完全能够满足土壤培肥和旱作节水农业的农艺要求，播种机实现深开窄沟，浅覆土，结合重镇压，保苗率可达95%以上，较普通生产田保苗率高15%以上，达到苗齐、苗全、苗壮。

该项技术研究已初步形成了体系，并配套了农机设备。

第二章 论文研究的内容和试验方案设计

2.1 论文研究的基本内容

- 1) 研究机械化秸秆还田条件下土壤肥力的变化规律。
- 2) 东北玉米主产区秸秆还田方法研究。通过高茬自然腐烂还田；高茬条带覆盖自然腐烂还田；半秸秆还田；全秸秆粉碎还田等方式的还田效果，筛选安全还田的有机物料还田方法及量化指标。
- 3) 在秸秆还田技术的基础上，研究机械化全方位深松、条带深松、深耕整地方法及不同组合方式改善土壤理化性状效果，形成雨养农业区玉米秸秆还田与优化土壤环境调控配套的综合技术。

2.2 论文研究的试验设计方案

2.2.1 试验设计

- 1) 留高茬、条带深松高茬还田技术试验；

- 2) 机械化半秸秆还田、全秸秆粉碎还田技术试验;
- 3) 条带覆盖自然腐烂还田技术试验;
- 4) 机械化土壤理化性状调控技术试验(机械化全方位深松、条带深松、深耕);
- 5) 宽窄行、留高茬交替休闲种植技术试验。

2.2.2 试验方法

定位试验、大区试验、试验示范相结合。

2.2.3 试验处理

2.2.3.1 小区试验处理

- 1) 留高茬(40-45cm)条带深松半秸秆还田;
- 2) 条带深松全秸秆粉碎还田;
- 3) 条带覆盖还田;
- 4) 全方位深松;
- 5) 留高茬条带深松;
- 6) 深耕—秋灭茬(CK1)。

2.2.3.2 定位试验处理:

- 1) 秸秆还田机械化耕作;
- 2) 对照(CK)均匀垄种植。

第三章 试验结果分析

3.1 小区试验

3.1.1 秸秆还田对土壤物理性状的影响

表 3-1 不同秸秆还田方法的土壤物理性状的变化

Table 3-1 The changes of soil physical characters by different methods of giving straws back to the field

处理	比重 g/cm ³		容重 g/cm ³		渗透系数 mm/min		土壤孔隙%						土壤水分状况%			
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	总孔隙		毛管孔隙		通气孔隙		田间持水量		自然含水量	
现行耕法 (CK)	2.6390	2.6302	1.006	1.187	4.02	0.77	61.56	54.1	27.77	32.74	33.79	21.37	27.6	27.3	20.87	24.69
高茬还田	2.6202	2.5778	1.212	1.143	2.61	2.44	53.74	55.66	33.84	28.94	19.90	26.72	27.92	25.43	22.85	23.01
比较	-0.0188	-0.0524	+0.206	-0.044	-1.41	+1.67	-7.82	+1.56	+6.14	-3.8	-13.89	+5.35	+0.32	-1.87	+1.98	-1.68
粉碎还田	2.6111	2.5874	0.955	1.027	7.88	3.89	63.42	60.31	27.14	29.74	36.29	30.57	28.42	28.96	25.13	23.76
比较	-0.0279	-0.0428	-0.051	-0.16	+3.86	+3.12	+1.86	+6.21	-0.63	-3.00	+2.50	+9.2	+0.82	+1.66	+4.26	-0.93
覆盖还田	2.6015	2.6336	1.035	1.117	5.70	7.11	60.22	57.59	28.44	30.64	31.78	26.95	27.48	27.43	23.09	24.53
比较	-0.0375	+0.0034	+0.029	-0.07	+1.68	+6.34	-1.34	+3.49	+0.67	-2.1	-2.01	+5.58	-0.12	+0.13	+2.22	-0.16
全方位深松	2.6103	2.6142	1.370	1.108	6.43	3.93	47.52	57.62	36.54	31.64	10.98	25.98	26.67	28.56	22.04	25.45
比较	-0.0287	-0.016	+0.364	-0.079	+2.11	+3.16	-14.04	+3.52	+8.77	-1.1	-22.81	+4.61	-0.93	+1.26	+1.17	+0.76

表 3-1 可见, 在机械化深松的基础上, 不同的秸秆还田方法对土壤的物理性状有一定的影响。高茬还田、粉碎还田、覆盖还田、全方位深松与对照现行耕法比较: 土壤比重 0~20cm 土壤分别降低了 0.0188g/cm³、0.0279g/cm³、0.0375g/cm³、0.0287g/cm³, 20~40cm 土壤除覆盖还田增加 0.0034g/cm³ 外, 其余分别降低了 0.0524g/cm³、0.0428g/cm³、0.0160g/cm³。土壤比重降低说明在机械化深松的条件下秸秆还田的土壤肥力和土壤质量都好于对照现行耕法。土壤容重 0~20cm 的粉碎还田的比对照低 0.051g/cm³, 其余处理都略高于对照, 20~40cm 的各处理都低于对照, 原因是通过机械深松打破了犁底层, 深松深度 40~45cm, 深松幅宽 50cm, 造成了土壤表面较紧实, 下部土壤较松, 有利于作物生长。土壤孔隙中的毛管孔隙 0~20cm 粉碎还田较对照低 0.63%, 其余处理都比对照高, 20~40cm 土壤毛管孔隙都比对照低。通气孔隙 20~40cm 各处理都高于对照。田间持水量 20~40cm 除高茬还田低于对照外, 其余各处理都高于对照, 自然含水量 0~20cm 的各处理都高于对照, 20~40cm 的全方位深松较对照高 0.76%, 其余各处理都低于对照。从表 3 中的渗透系数、土壤孔隙、土壤水分状况分析, 与对照比 0~20cm 土壤渗透系数大, 毛管孔隙多, 自然含水率高, 20~40cm 土壤渗透系数大, 通气孔隙多。说明经过机械深松后的土壤, 表层上实, 深层下虚, 表层实减少水分蒸发, 深层虚蓄水保墒。除对照外各处理间的物理性状虽然没有明显的差异, 但综合分析, 高茬还田的土壤物理性状较为适宜^[3]。

表 3-2 不同秸秆还田方法的土壤水分变化 单位: % 2003 年

Table 3-2 The changes of soil moisture by different methods of giving straws back to the field

处理	日期										
	6月4日	6月17日	6月27日	7月8日	7月17日	7月26日	8月12日	8月26日	9月5日	9月16日	平均
高茬还田	22.17	26.03	23.6	19.67	22.3	23.72	22.96	23.6	21.14	20.39	22.6
粉碎还田	23.52	26.24	24.77	19.33	22.41	21.34	21.26	24.4	20.89	20.42	22.5
覆盖还田	23.27	26.23	23.37	19.87	21.89	21.85	21.44	24.35	21.67	20.78	22.5
全方位深松	21.49	26.32	23.94	21.2	21.75	21.31	22.21	24.08	20.89	20.54	22.4
现行耕法 (CK)	21.48	25.96	22.98	18.6	21.56	19.96	22.26	22.6	20.3	18.26	21.4

注: 各处理分别与均匀整作成对数据 t 测验, 测验结果差异均达到极显著。

表 3-3 不同秸秆还田方法的土壤水分变化 单位: % 2004 年
Table 3-3 The changes of soil moisture by different methods of giving straws back to the field

处理	日期	7月26日	7月30日	8月10日	8月19日	9月1日	9月20日	平均
	高茬还田		23.1	27.3	24.3	23.0	24.2	23.1
粉碎还田		22.8	28.6	23.9	23.8	22.5	23.6	24.2
覆盖还田		23.7	27.6	25.1	23.8	23.3	23.7	24.5
全方位深松		23.2	27.3	23.9	23.3	22.8	23.0	23.9
现行耕法(CK)		21.2	23.3	23.4	21.3	22.7	23.4	22.6

2003—2004 两年试验结果表明, 秸秆不同还田方式不同时期的土壤含水率都高于现行耕法均匀垄, 差异均达到了极显著水平。

3.1.2 不同秸秆还田方法对土壤三相比的影响

表 3-4 不同秸秆还田方法的土壤三相比变化
Table 3-4 The changes of soil three-phase ratio items by different methods of giving straws back to the field

处理	项目 深度	气相 v%		固相 v%		液相 v%		固: 液: 气	
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm
	现行耕法(CK)	28.2	20.6	50.8	53.4	21.0	26.0	1:0.41:0.56	1:0.49:0.39
高茬还田	26.0	34.0	46.3	39.7	22.7	26.3	1:0.6:0.56	1:0.66:0.87	
粉碎还田	26.5	34.9	48.5	40.7	25.0	24.4	1:0.52:0.55	1:0.6:0.85	
覆盖还田	25.6	33.2	47.5	39.4	26.9	27.4	1:0.56:0.53	1:0.7:0.84	
全方位深松	25.1	34.5	49.2	40.3	25.7	25.2	1:0.52:0.51	1:0.62:0.87	

不同秸秆还田方法对土壤三相比的影响各处理间差异不大, 但和对照比较有明显的差异。见表, 0~20cm、20~40cm 深土壤三相比对照现行耕法分别为 1: 0.41: 0.56 和 1: 0.49: 0.39, 高茬还田分别为 1: 0.6: 0.56 和 1: 0.66: 0.87, 粉碎还田分别为 1: 0.52: 0.55 和 1: 0.6: 0.83, 覆盖还田分别为 1: 0.56: 0.53 和 1: 0.7: 0.84, 全方位深松分别为 1: 0.52: 0.51 和 1: 0.62: 0.87。秸秆还田由于年限短, 处理间土壤三相比的变化差异不明显, 和对照比表现的差异主要是通过机械深松的作用, 深松 40~50cm, 打破了土壤 18~20cm 的犁底层, 相对来说 0-20cm、20-40cm 深的土壤各处理的三相比都较为适宜。

3.1.3 不同秸秆还田方法对植株发育的影响

表 3-5 不同秸秆还田方法的叶面积变化 2003 年 品种: 四密 25 单位: $\text{cm}^2/\text{株}$

Table 3-5 The changes of leaf acreage by different methods of giving straws back to the field

处理	时期								
		5/6	18/6	1/7	18/7	5/8	16/8	30/8	17/9
全方位深松		649.1	1968.3	5146.8	7357.1	6725.5	6489.6	5733.8	438.6
高茬还田		660.1	2137.5	5359.7	7446.4	6953.2	6234.0	4856.0	516.8
粉碎还田		739.5	2489.4	5757.0	7928.9	7381.4	6822.5	4855.6	498.9
条带覆盖还田		500.3	1889.4	4636.8	7126.9	6698.9	6050.0	4731.8	531.1
现行耕法 (CK)		309.9	1234.6	3340.5	7103.1	6531.2	6340.1	4630.0	429.5

表 3-6 不同秸秆还田方法的叶面积变化 2003 年 品种: 四密 25 单位: $\text{cm}^2/\text{株}$

Table 3-6 The changes of leaf acreage by different methods of giving straws back to the field

处理	时期						
		30/6	26/7	10/8	19/8	1/9	16/9
全方位深松		5445.0	7836.2	6634.3	6257.5	5333.7	4494.0
高茬还田		5179.6	7857.9	6833.8	6556.2	5618.0	4498.3
粉碎还田		5445.7	7780.5	6725.9	6390.0	5117.9	4298.4
条带覆盖还田		5367.9	7535.7	6810.6	6503.7	5294.9	4380.1
现行耕法 (CK)		5142.3	7503.3	6603.1	6166.9	5514.6	4150.0

表 3-7 不同秸秆还田方法的叶面积变化 2004 年 品种: 吉单 260 单位: $\text{cm}^2/\text{株}$

Table 3-7 The changes of leaf acreage by different methods of giving straws back to the field

处理	时期							
		10/6	20/6	6/7	25/7	20/8	25/8	22/9
全方位深松		650.1	2231.7	5321.8	7452.6	7346.1	7526.7	6368.0
高茬还田		630.8	1987.3	5100.9	7532.1	7107.9	6906.2	6256.3
粉碎还田		603.6	2039.9	5432.4	7466.5	6919.3	6763.9	6316.0
条带覆盖还田		679.4	2345.8	5211.3	7192.3	7366.2	7141.8	6171.6
现行耕法 (CK)		590.6	2004.6	5008.5	7002.1	6045.8	5854.9	5784.6

表 3-5 至 3-7 可见, 在秸秆还田机械化耕作种植的条件下, 不同秸秆还田之间的叶面积差异不显著, 但是不同秸秆还田保护性耕作条件与现行耕法比较叶面积有差异, 都大于现行耕法的叶面积。

表 3-8 秸秆还田机械化耕作条件下的植株发育变化 品种: 四密 25
Table 3-8 The changes of plant development under the condition of giving straws back to the field by mechanized farming

年度	处理	项目	干物质积累 (二株重, 单位: g)				
			苗期	拔节期	抽雄期	吐丝期	收获期
2001	现行耕法 (CK)		4.2	66.9	316.9	336.2	1279.6
	高茬还田		6.2	70.5	358.0	352.6	1317.7
	粉碎还田		5.9	46.6	310.6	361.3	1244.8
	覆盖还田		5.9	67.3	284.0	356.6	1240.0
	全方位深松		4.7	84.4	322.1	359.4	1260.1
2002	现行耕法 (CK)		4.5	42.3	223.0	258.6	1145.5
	高茬还田		5.8	53.4	249.7	285.6	1295.4
	粉碎还田		4.9	43.2	230.2	265.5	1275.6
	覆盖还田		4.8	52.2	228.5	260.3	1235.4
	全方位深松		4.9	47.4	253.1	285.6	1265.4
2003	现行耕法 (CK)		8.9	69.4	226.3	401.0	1373.2
	高茬还田		9.3	77.3	272.7	410.2	1527.6
	粉碎还田		9.0	67.3	220.3	419.8	1485.7
	覆盖还田		7.8	66.9	294.0	424.0	1497.2
	全方位深松		10.5	65.2	230.5	457.4	1508.9

表 3-8 可见, 不同秸秆还田机械化耕作与现行耕法比较植株发育变化略有差异。2001 年处理间差异不显著, 2002 年和 2003 年各处理比对照生物产量都高, 收获期各机械化耕作处理的干物质积累都高于对照。2002 年高茬还田与现行耕法比较生物产量增加了 8%。三年的试验结果, 干物质积累从苗期、拔节期、抽雄期处理间的变化都没有明显的变化规律, 但是同一个处理不同时期的干物质积累逐渐增加, 吐丝期各机械化耕作处理的干物质积累都高于对照现行耕法。原因是无论哪一种秸秆还田机械化耕作方式都通过机械深松, 由于创建了良好的土壤环境, 当玉米进入

吐丝期生殖生长以后,生态环境条件能够充分地满足作物生育后期对土壤环境的需求,所以收获时期的各处理的干物质积累都高于现行耕法的均匀垄种植。

3.1.4 不同秸秆还田耕作条件下对玉米产量的影响

表 3-9 秸秆还田机械化耕作条件下的玉米产量变化

Table 3-9 The changes of corn yield under the condition of giving straws back to the field by mechanized farming

年度	项目 处理	经济系数	单产 (公斤/公顷)	相对产量	差异显著性	
					0.05	0.01
2001	现行耕法 (CK)	0.46	8144.6	100	—	—
	高茬还田	0.50	9059.4	111.2	—	—
	粉碎还田	0.51	9041.6	111.0	—	—
	覆盖还田	0.53	9065.6	113.1	—	—
	全方位深松	0.49	9029.9	110.9	—	—
2002	全方位深松	51.6	10892.7	115.0	a	A
	覆盖还田	52.9	10891.7	115.0	a	A
	粉碎还田	49.6	10538.1	111.3	a	AB
	高茬还田	48.4	10450.4	110.3	a	AB
2003	现行耕法 (CK)	47.6	9470.7	100	b	B
	全方位深松	50.6	9229.0	111.9	—	—
	覆盖还田	51.8	9071.0	110.4	—	—
	粉碎还田	50.2	9175.0	110.5	—	—
	高茬还田	52.0	9135.0	109.9	—	—
2004	现行耕法 (CK)	46.8	8214.0	100	—	—
	全方位深松	51.2	9996.3	107.7	—	—
	覆盖还田	50.8	10282.4	110.8	—	—
	粉碎还田	52.0	10200.0	109.9	—	—
	高茬还田	49.2	9697.8	105.0	—	—
	现行耕法 (CK)	49.8	9280.2	100	—	—

注: 2001—2003 年品种: 四密 25

2004 年品种: 品种吉单 260

表 3-9 可见,四年的试验结果表明,各试验处理的产量都高于对照现行耕法,2001 年,高茬还田提高 11.2%,粉碎还田提高 11.0%,覆盖还田提高 13.1%,全方位深松提高 10.9%。2002 年,各处理产量均提高 10%以上,各处理产量与现行耕法均匀垄比较,增产幅度都达到了显著水平,全方位深松和覆盖还田达到了极显著水平。2003—2004 年秸秆还田机械化耕作处理与对照相比增产 5%以上,达到了显著水平。

增产原因分析, 秸秆还田机械化耕作技术和对照现行耕法比较, 在同等密度条件下是不增产的, 只因为增加了单位面积的保苗株数和收获株数, 所以增加产量^[2]。

3.2 定位试验

3.2.1 秸秆还田机械化耕作条件下对土壤的培肥效果

表 3-10 秸秆还田机械化耕作 8 年土壤养分状况变化

Table 3-10 The changes of soil nutrient under the condition of giving straws back to the field by mechanized farming for 8 years

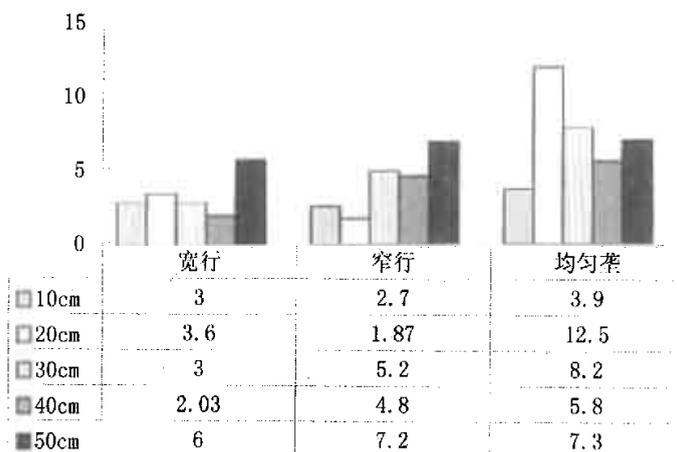
处理 \ 项目	有机质 g/kg	速效氮 mg/kg	速效磷 mg/kg	速效钾 mg/kg
1995 年种植前 (CK)	23.30	204.15	30.24	115.0
1999 年秸秆还田	25.00	117.2	43.9	125.1
与 CK 比较	+1.7	-86.95	+13.7	+10.1
2000 年秸秆还田	25.92	182.1	51.9	173.5
与 CK 比较	+2.6	-22.05	+21.66	+58.5
2001 年秸秆还田	26.678	131.8	35.82	147.8
与 CK 比较	+3.37	-72.35	+5.58	+32.8
2003 年秸秆还田	30.3	149.25	32.54	165.1
与 CK 比较	+6.73	-54.9	+2.3	+50.1

表 3-10 可见, 秸秆还田机械化种植 8 年土壤有机质提高了 6.73g/kg, 速效磷提高 2.3g/kg, 速效钾提高 50.1g/kg, 速效氮降低了 54.9g/kg。速效氮降低, 主要原因是秸秆在分解过程中要消耗一些 N 素, 没有特殊的增施 N 肥, 调解 C、N 比。

3.2.2 秸秆还田机械化耕作对土壤硬度的影响

表 3-11 两种不同处理土壤硬度的变化 单位: kg/cm²

Table 3-11 The changes of soil hardness by two different treatment



从表 3-11 可以看出，当年深松的宽行和隔年深松的窄行的硬度 0~50cm 都明显低于现行耕法均匀垄。由于深松深度 45cm，打破了 20cm 深的犁底层，使耕层疏松、通透性好。

3.2.3 秸秆还田机械化耕作对土壤物理性状的影响

表 3—12 秸秆还田机械化耕作种植七年土壤物理性状变化

Table 3—12 The changes of soil physical characters under the condition of giving straws back to the field by mechanized farming for 7 years

项目 处理	土壤容重 g/cm ³		土壤比重 g/cm ³		渗透系数 mm/min		土壤孔隙%				田间持水量 %	自然含水量 %	固相容积 v%	水分容积 v%	空气容积 v%	三相比 固:液:气								
	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40	总孔隙度	毛管孔隙	通气孔隙	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40	0~20	20~40							
现行耕 法(K)	1.25	1.40	2.639	2.6302	0.031	0.024	58.5654	1084.585	4224.1	18.6	27.6	25.3	20.8724	00	50.8	53.4	23.425	4725.8	21.2	1:0.46:0.501:0.48:0.40				
新耕法	1.201	1.210	2.6239	2.6303	0.062	0.070	61.6960	6186.4	35.9	24.6	24.5	30.2929	6623.6	424.40	47.07	44.2	26.3	25.6	26.5	30.2	1:0.56:0.561:0.58:0.68			
比 较	-0.049	-0.19	-0.0151	+0.0001	+0.031	+0.046	+3.13	+6.51	+1.9	+0.48	+0.5	+5.9	+2.69	+4.36	+2.77	+0.4	-3.78	-9.2	+2.9	+0.2	+0.7	+9	---	---

从表3-12可以看出,0~20cm、20~40cm耕层容重降低了0.049g/cm³和0.19g/cm³,固体容积分别降低了3.73%和9.2%。渗透系数、毛管孔隙、通气孔隙、田间持水量、自然含水量、水分容积、空气容积,分别提高0.031mm/min,0.046mm/min、1.9%、0.48%、0.5%、5.9%、2.69%、4.36%、2.77%、0.4%、2.9%、0.2%、0.7%、9%。三相比现行耕法均匀垄分别为1:0.46;0.50和1:0.48;0.40,宽窄行分别为1:0.56;0.56和1:0.58;0.68。表15表明,新耕法种植的0~40cm土壤物理性状明显改善。

3.2.4 秸秆还田机械化耕作种植留高茬增加土壤有机物料

表3-13 不同品种留高茬玉米秸秆还田量 单位:g
Table 3-13 The amount of giving high stubbles back to the field for different corn varieties

品种	项目	平均	10cm	40cm
		单株 秸秆重	茬子 秸秆重	茬子 秸秆重
湿重	四密 21	2858	219.1	874.1
	四密 25	3002	247.2	986.4
	1243	2100	201.4	802.1
	莱育 3119	3900	309.3	1235.2
	四密 25 风干重	206	10.9	46

表3-14 不同高度留茬秸秆干物重(品种:四密25,2004年) 单位:g

Table 3-14 Mass of dried materials for different height of corn stubble

全株秸秆重	50cm 茬重	40cm 茬重	30cm 茬重	20cm 茬重	10cm 茬重
192.2	74.6	68.8	61.8	54.8	48.8
占全株重%	38.8	35.8	32.1	28.5	25.4

表3-13、3-14可见,以秸秆产出量最低的四密25品种干重计算,留高茬40cm每公顷每年秸秆还田风干重量2.78吨。以四密21、四密25风干秸秆养分化验分析结果为依据(全氮:6.71g/kg;全磷:2.332g/kg;全钾:11.399g/kg)。

3.2.5 秸秆还田机械化耕作种植促进玉米根系生长

表 3-15 不同处理的根系变化

品种：四密 25

Table 3-15 The root changes of different treatment

处理	项目	0—20 厘米		合计(克)	比较%
		根重(克)	根重(克)		
新耕法	上年	82.1	7.2	89.3	117.3
	当年	80.0	6.4	86.4	110.9
现行耕法 (CK)	上年	69.8	6.3	76.1	100
	当年	70.9	6.0	77.9	100

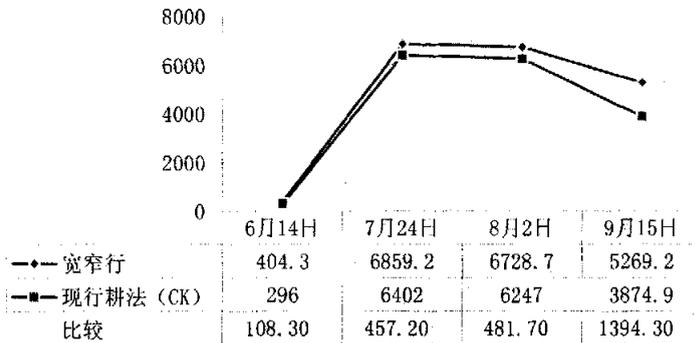
秸秆还田机械化种植的玉米根系发育较现行耕法均匀垄种植的好, 根重明显增加, 0—40cm 根系风干重上一年平均增加 17.3%, 当年增加了 10.9%。

3.2.6 秸秆还田机械化耕作种植对玉米叶面积发育的影响

表 3-16 2000 年不同处理单株叶面积变化

单位: cm^2

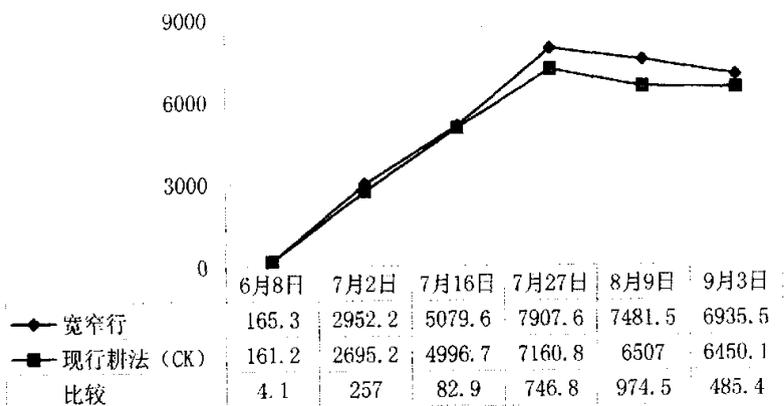
Table 3-16 The changes of leaf acreage of individual plant by different treatment in 2000



2000 年 7 月 24 日单株叶面积最大, 现行耕法均匀垄单株叶面积比新耕法少 457.2cm^2 , 抽丝后 51 天 (9 月 15 日) 绿色叶面积减少了 1394.3cm^2 。

表 3-17 2001 年不同处理单株叶面积变化 单位: cm^2

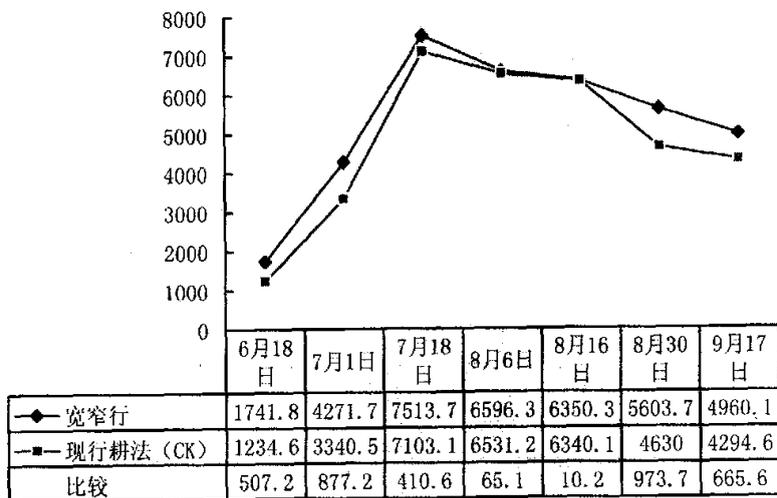
Table 3-17 The changes of leaf acreage of individual plant by different treatment in 2001



2001 年 7 月 27 日单株叶面积达到最大, 现行耕法均匀垄单株叶面积比新耕法少 746.8cm^2 , 抽丝后 46 天 (9 月 3 日) 绿色叶面积少 485.4cm^2 。

表 3-18 2002 年不同处理单株叶面积变化 单位: cm^2

Table 3-18 The changes of leaf acreage of individual plant by different treatment in 2002



2002年7月18日单株叶面积达到最大, 现行耕法均匀垄单株叶面积比新耕法少410.6cm², 抽丝后59天(9月17日)绿色叶面积少665.6cm²。

表 3-19 2003 年不同处理单株叶面积变化 (品种: 四密 25, cm²)

Table 3-19 The changes of leaf acreage of individual plant by different treatment in 2003

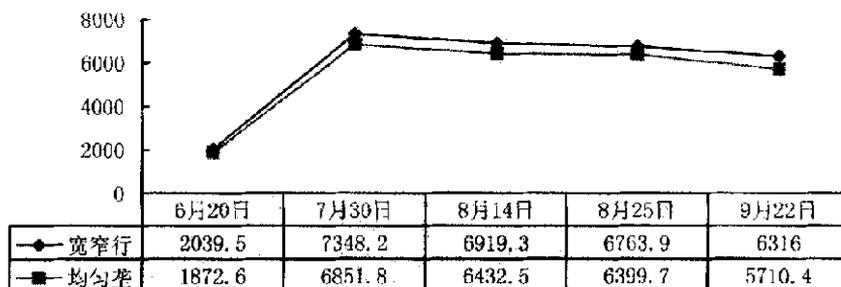


表 3-20 2004 年不同处理单株叶面积变化 (品种: 吉单 260, cm²)

Table 3-20 The changes of leaf acreage of individual plant by different treatment in 2004

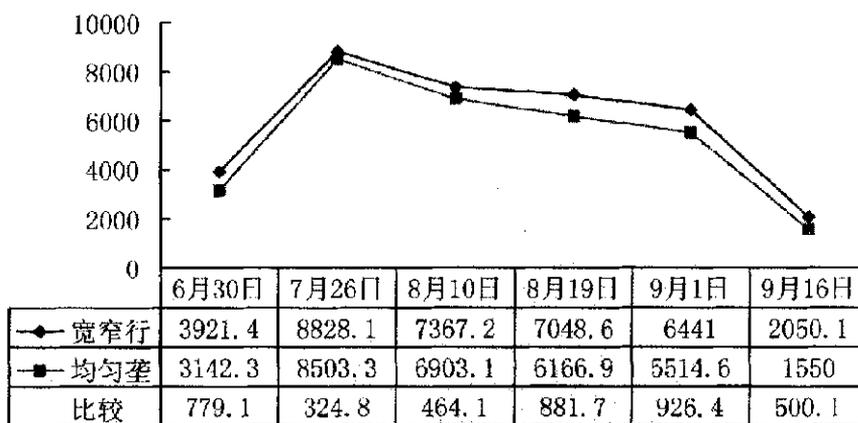


表 3-16 至 3-20 可见, 7月18-26日叶面积达到最大, 以后逐渐下降, 玉米发育成熟期阶段下降速度最快。各个时期新耕法的叶面积都高于均匀垄。

3.2.7 秸秆还田机械化耕作种植对玉米干物质积累和光合势的影响

表 3—21 2000 年不同处理各时期干物重 (平均单株重) 单位: g

Table 3—21 The dried mass weight of different stage treatment in 2000 (individual weight in average)

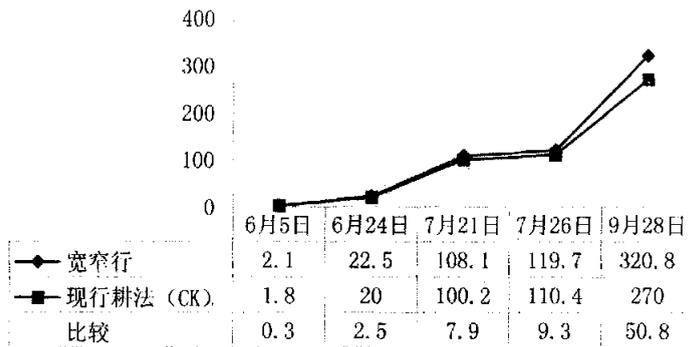


表 3—22 2001 年不同处理各时期干物重 (平均单株重) 单位: g

Table 3—22 The dried mass weight of different stage treatment in 2001(individual weight in average)

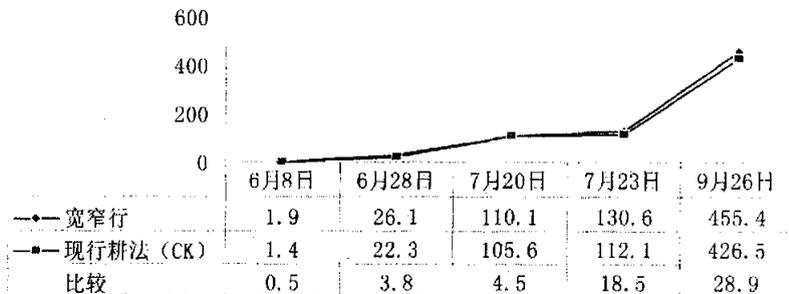


表 3-23 2002 年不同处理各时期干物重 (平均单株重) 单位: g

Table 3-23 The dried mass weight of different stage treatment in 2002 (individual weight in average)

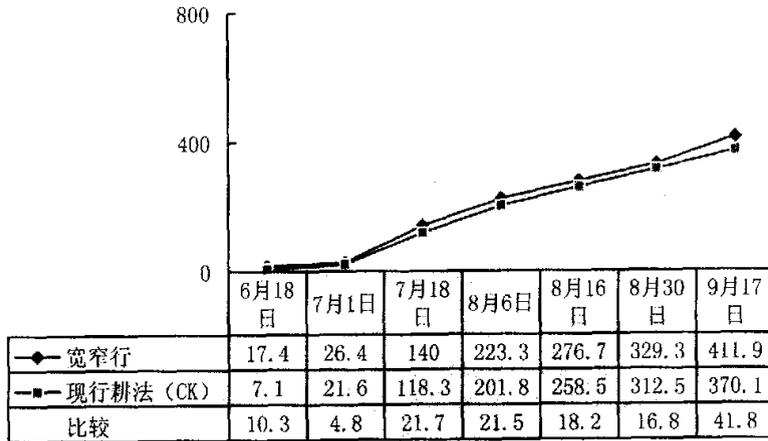


表 3-24 2003 年不同处理各时期干物重 (平均单株重) 单位: g

Table 3-24 The dried mass weight of different stage treatment in 2003 (individual weight in average)

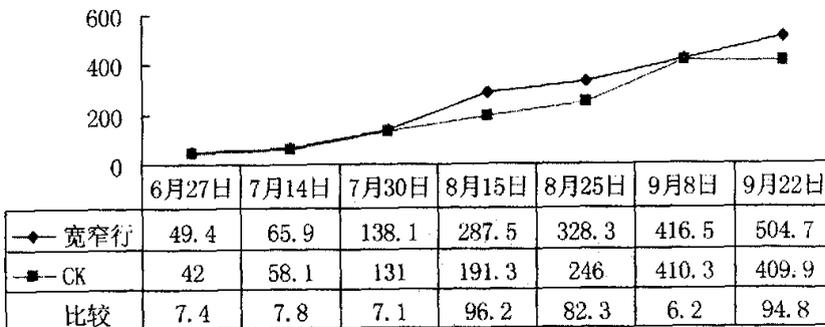


表 3-21 至 3-24 可见, 玉米干物质积累, 新耕法种植从苗期开始到拔节期都高于现行耕法均匀垄, 从三个年度的曲线图看, 不同年度的玉米干物质积累曲线基本一致。

表 3-25 2001 年不同处理的光合势

单位: (d. m²)/hm²

Table 3-25 The photosynthesis tendency by different treatment in 2001

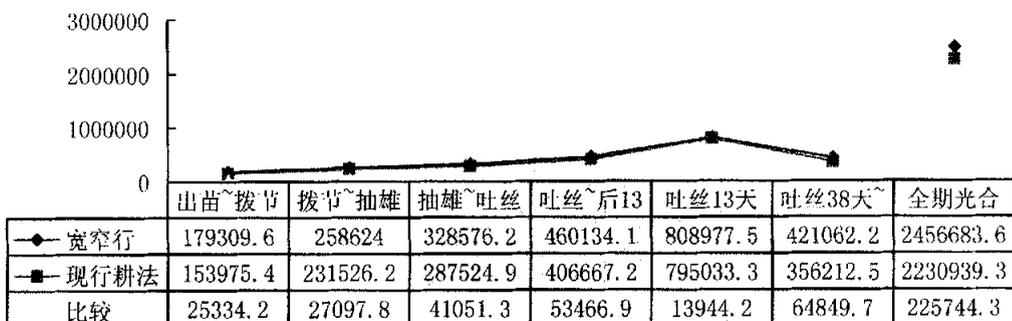


表 3-25 可见, 秸秆还田机械化耕作种植玉米全生育期光合势较现行耕法均匀垄高 225744.3(d. m²)/hm²。

表 3-26 2002 年不同处理的光合势

单位: (d. m²)/hm²

Table 3-26 The photosynthesis tendency by different treatment in 2002

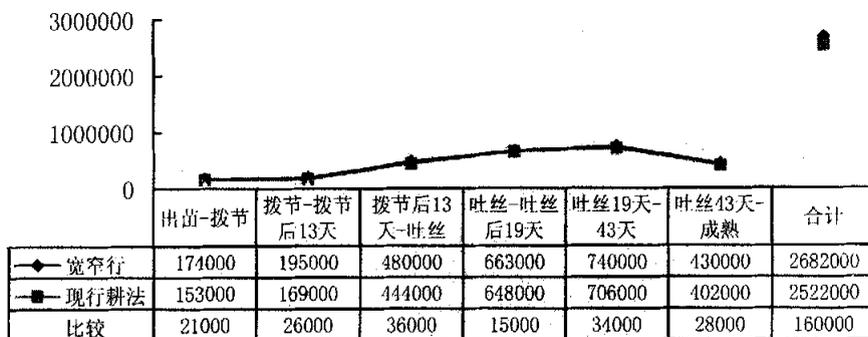


表 3-26 可见, 秸秆还田机械化耕作种植玉米全生育期光合势较现行耕法均匀垄高 160000(d. m²)/hm²。

表 3-27 2003 年不同处理光合势 单位: (d. m²)/hm²

Table 3-27 The photosynthesis tendency by different treatment in 2003

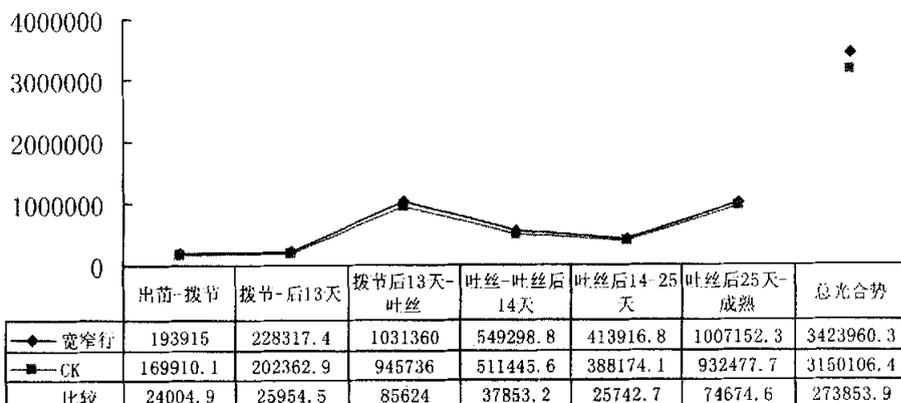


表 3-27 可见, 秸秆还田机械化耕作种植玉米全生育期光合势较现行耕法均匀垄高 273853.9(d. m²)/hm²。

表 3-28 2004 年不同处理光合势 单位: (d. m²)/hm²

Table 3-28 The photosynthesis tendency by different treatment in 2004

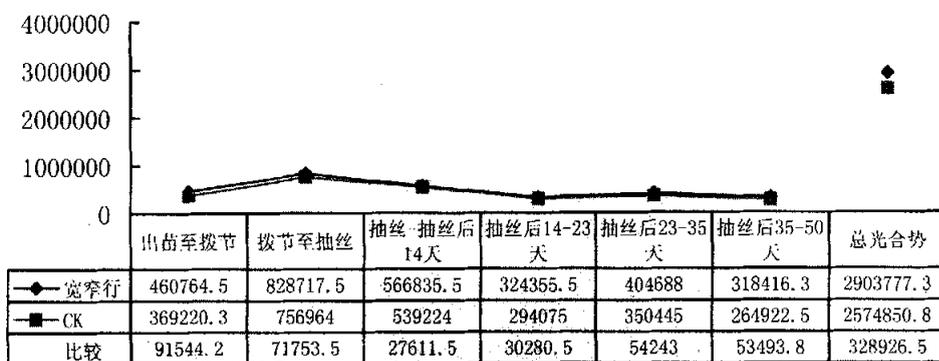


表 3-28 可见, 秸秆还田机械化种植玉米全生育期光合势较现行耕法均匀垄高 328926.5(d. m²)/hm²。

3.2.8 秸秆还田机械化耕作种植对玉米产量的影响

表 3-29 产量结果比较表 品种：四密 25
Table 3-29 The comparison of corn yield

处理	年份	项目	单产 (kg/hm ²)	增产幅度 (%)	经济系数 (%)
留高茬	1997		11869.1	115.5	53.6
	1998		11796.0	117.2	54.1
	1999		12693.0	115.2	53.9
	2000		9122.0	114.4	—
	2001		8363.4	110.8	53.2
	2002		9731.1	116.4	—
	2003		9977.0	117.5	52.1
	2004		8959.0	104.9	—
	平均		10768.9	114.0	53.7
	现行耕法 (CK)	1997		10276.3	100
1998			10064.8	100	50.2
1999			11018.2	100	51.0
2000			7973.8	100	—
2001			7548.2	100	51.3
2002			8360.1	100	—
2003			8489.6	100	51.8
2004			8539.2	100	—
平均		9206.9	100	50.9	
宽窄行与 CK 比较			+1562.0	+14.9%	+2.8

从表 3-29 可见，8 年试验结果，留高茬结合深松的经济系数平均为 53.7%，比现行耕法均匀垄高 2.8 个百分点，单产平均提高 14.9%。增产的原因主要是采用新耕法种植的保苗率提了 15% 以上，通风透光，边行优势，植株个体发育好。

3.2.9 秸秆还田机械化耕作和现行耕法均匀垄种植投入费用分析

表 3-30 田间作业成本比较

单位：元

Table 3-30 The comparison of farming costs

项目 种植方式	整地	种子	播种	田间管理	合计	节省费用
新耕法种植	秋旋耕 80	300	机播 100	除草 150 深松+追肥 100	730	
现行耕法(CK)	翻+耙 260	300	机播 100	除草 150 中耕 2 次+追肥 200	1010	280
	灭茬+打垄 200	300	畜力机 100	除草 150 中耕 2 次+追肥 200	950	220

表 3-30 可见，新耕法种植除了增产、培肥地力外，还可以降低生产成本，每公顷生产成本可较常规种植降低 200 元~300 元，可降低生产成本 10%以上。

3.3 示范结果

表 3-31 示范品种产量
Table 3-31 The yields of demonstrating corn varieties

年度	耕法	品种	产量 (kg/hm ²)	相对产量 (%)
2001	现行耕法 (CK)	四密 25	8264.7	100.0
		吉单 209	9806.3	118.7
	新耕法	四密 25	9712.3	117.5
		四密 21	9643.8	116.7
		莱玉 3119	8839.5	107.0
		吉单 180	8678.0	105.0
平均		9336.0	113.0	
2002	现行耕法 (CK)	四密 25	9243.8	100.0
		郝育 9	10395.8	112.5
		四密 25	11127.0	120.4
		吉单 209	10328.3	111.7
	新耕法	法育 1 号	10609.8	114.8
		原单 22	9873.7	106.8
		莱育 3119	11676.1	126.3
		铁单 14	9228.2	99.8
		吉单 342	10521.3	113.8
		平均		10470.03
2003	现行耕法 (CK)	银河 101	8670.0	100
		原单 22	9851.4	113.6
	新耕法	银河 101	9787.5	112.9
		四密 25	9693.6	111.8
平均		9777.5	112.7	
2004	现行耕法 (CK)	四密 25	8840.0	100
		吉单 260	10003.0	113.0
		登海 9 号	10247.6	115.9
	新耕法	四密 25	8904.2	100.7
		四单 111	8957.4	101.3
		银河 101	10074.5	114.0
		吉单 29	10645.9	120.4
平均		9805.4	110.9	

2000—2004 年在公主岭市范家屯镇香山村和朝阳坡镇大房身村新耕法种植累计示范面积 3000 亩。2001 年示范品种 5 个, 同品种比对照增产 17.5%, 不同品种平均增产 13%; 2002 年品种 8 个, 同一品种增产 20.4%, 不同品种增产 13.8%; 2003 年示范品种 4 个, 同一品种增产 12.9%, 不同品种平均增产 12.7%; 2004 年示范 7 个品种, 同一品种的产量没有差异, 不同品种平均增产 10.9%。

第四章 结 论

综合上述研究，得出如下结论：

- 1、试验表明，秸秆直接还田培肥增产效果好，土壤有机质和养分均呈增加趋势，土壤物理性状好转，高产稳产，应在黑土区推广应用。
- 2、在机械化深松的基础上，高茬还田、粉碎还田、覆盖还田土壤比重降低，秸秆还田的土壤肥力和土壤质量都好于对照现行耕法。各处理间的物理性状没有明显的差异，综合分析，高茬还田的土壤物理性状较为适宜。
- 3、秸秆还田与有机肥配合施用，培肥增产效果显著。
- 4、几种秸秆还田技术分析比较，高茬还田既经济、又省工，同时具有土壤培肥的作用，7年高茬还田土壤有机质比现行耕法提高6.73g/kg。
- 5、秸秆还田基础上的机械化耕作技术体系，具有明显改善土壤物理性状的作用，土壤容重降低，增加孔隙度，提高田间持水量和自然含水量，调解土壤的三相比。自然降水利用效率提高10%以上，生产成本降低10%以上，增产10%以上。

第五章 吉林省雨养农业区秸秆还田发展的建议

综合吉林省雨养农业区秸秆还田研究经验，提出如下建议：

1、走秸秆还田的机械化道路

国内外普遍推广机械化秸秆还田，走秸秆还田机械化道路是实现秸秆还田的有效方式之一，它能够提高生产效率，能够达到省工、省时、高效低成本的要求，主要有以下几种发展方向。第一，大、中、小型机械相结合，提高机械还田适应性，使机械还田适应不同生态类型区。第二，研究的高效低耗农业机械，降低生产成本，使秸秆还田机能够适应于不同的经济类型区。第三、研制的机械，秸秆机械化还田，科学施肥和施药相结合，达到秸秆还田、施肥、省工、节本的综合目的。

2、发展生物工程技术

秸秆的快速腐解是秸秆还田的关键技术。机械粉碎能改变秸秆的物理性状，扩大接触面积，在一定程度上加速腐解，但是秸秆中较高的 C/N 仍然在土壤中分解缓慢，研究资料表明，一些生物菌剂能够快速的腐解秸秆，可见，生物工程技术具有广阔的发展前景，能够对秸秆产生重要的作用。重点研究快速腐解秸秆的生物菌剂，研制和开发能够在好气性条件下快速腐解秸秆的微生物或生物化学制剂，达到省工、省时的目的，使农民易于接受。

3、农机与农艺结合

农机与农艺相结合是农业机械化的必由之路。资料表明，覆盖栽培、作物秸秆自然还田等农艺技术措施具有良好的农田生态效益，秸秆还田机械化能够改变秸秆物理性状，在一定程度上可以促进作物秸秆腐解，加入一定的腐解剂可以加速作物腐解。可见，把农机与农艺、生物措施结合起来，是农作物秸秆还田的发展方向。重点注意两个方面：第一是采用农艺措施进行秸秆还田的同时，要研制配套的农业机械、生物制剂，来简化秸秆还田的农艺措施工序，加速秸秆腐解。第二是实施配套的农艺栽培措施（覆盖栽培、免耕播种等），施化试学试剂加速秸秆快速腐解，克服机械作业所造成的不利影响，调解土壤的理化性状，达到培肥土壤的目的。

参 考 文 献

- [1] 刘巽浩, 高旺盛, 朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式[M]. 北京: 中国农业出版社. 2000.
- [2] 刘武仁, 边少锋, 郑金玉, 等. 玉米宽窄行种植的土壤环境变化研究[J]. 玉米科学. 2002, (4): 52-55.
- [3] 刘武仁, 边少锋, 郑金玉, 等. 玉米秸秆还田方法试验研究初报[J]. 吉林农业科学. 2002, (6): 38-40.
- [4] 方正. 秸秆直接还田产量效益及土壤有机质年际变化[J]. 耕作与栽培. 1991, (4).
- [5] 许国钧. 秸秆还田的作用与生产中运用问题探讨[J]. 土壤肥料. 1991, (5): 23-24.
- [6] 杨志谦. 秸秆还田C、N在土壤中积累与释放[J]. 土壤肥料. 1991, (5).
- [7] 吴敬民. 秸秆还田效果及在土壤培肥中地位[J]. 土壤通报. 1991, (5).
- [8] 马惠杰. 一年三季秸秆还田培肥研究[J]. 土壤肥料. 1994, (3): 34-36.
- [9] 王鹤桥. 玉米主产区黑土培肥技术与效益[J]. 土壤肥料. 1992, (1).
- [10] 赵聚宝. 秸秆还田效果及在土壤培肥中的地位[J]. 土壤通报. 1991, (5).
- [11] 彭祖厚. 秸秆还田在培肥地力上的作用[J]. 土壤肥料. 1988, (2): 26-28.
- [12] 蒋维新. 作物秸秆还田对黑垆土肥效果[J]. 甘肃农业科技. 1994, (4): 25-26.
- [13] 江炳炎. 秸秆还田培肥改土试验研究[J]. 土壤通报. 1991, (4).
- [14] 王志学. 耕地肥力下降及培肥途径[J]. 现代化农业. 1989, (3).
- [15] 迟凤琴. 玉米秸秆和根茬还田对黑土有机质数量和品质影响[J]. 黑龙江农业科学. 1992, (6).
- [16] 孙宏德. 黑土玉米秸秆还田效果研究[J]. 吉林农业科学. 1992, (3).
- [17] 胡铁庄. 秸秆全量直接还田及配套技术[J]. 河南农业科学. 1992, (8).
- [18] 季立声. 秸秆直接还田的土壤生物学效应[J]. 山东农业大学学报. 1992, (4).
- [19] 曾广骥. 有机物料对提高土壤肥力的效应分析[J]. 黑龙江农业科学. 1988, (3): 34-36.
- [20] 王兆荣. 有机物料的腐解及土壤有机质的调控[J]. 东北农学院学报. 1991, (4).
- [21] 杨志谦. 秸秆还田后碳、氮在土壤中的积累与释放[J]. 土壤肥料. 1991, (5).
- [22] 朱玉芹, 岳玉兰. 玉米秸秆还田培肥地力研究综述[J]. 玉米科学. 2004, (3): 106-108.
- [23] 劳秀荣等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报. 2003, 40(4): 618-623.
- [24] 李国防, 马淑英等. 河北省秸秆还田机械化的存在问题与发展对策[J]. 中国农机化. 2002, (4): 12-13.
- [25] 曹建军. 秸秆还田机械化技术及推广应用前景[J]. 中国农机化. 技术推广. 1998, (3、4): 26-27.
- [26] 张世旋. 推广机械化秸秆还田技术改善生态环境[J]. 广东农机. 2002, (3): 24.
- [27] 王兴录, 赵立华. 我国玉米机械化栽培的现状和展望[J]. 农业与技术. 1996, (23): 38-39.

- [28] 刘远和, 王树武. 玉米大垄双行机械化耕种的试验与增产效果浅析[J]. 粮油加工与食品机械. 1999, (4).
- [29] 都力坤, 宋献礼. 玉米高产机械化技术及配套措施[J]. 新疆农机化. 1997, (5).
- [30] 田雨. 玉米高产栽培大小垄机械化技术[J]. 农村牧区机械化. 1998, (1).
- [31] 刘恩才, 陈永祥. 玉米根茬、秸秆还田的增产效应研究[J]. 土壤通报. 1998, (1): 11-13.
- [32] 付尚云. 玉米机械化高产综合栽培技术的应用[J]. 农机化研究. 2003, (4): 163-164.
- [33] 樊建柱, 肖丽. 玉米秸秆粉碎还田机械化技术及应用[J]. 现代化农业. 1996, (3): 25-26.
- [34] 高民. 玉米秸秆机械化还田技术[J]. 河南科技. 1999, (11): 13.
- [35] 张西群, 赵四中. 玉米秸秆机械化还技术效果分析[J]. 农业机械学报. 2002, (6): 132-134.
- [36] 李殿清, 郭小龙. 玉米秸秆机械化整株还田技术初探[J]. 山西农机. 1995, (7): 33-35.
- [37] 李家龙, 刘怀芝. 玉米全程机械化栽培技术及效益分析[J]. 现代化农业. 2002, (6): 10-10.
- [38] 杨文钰, 王兰英. 作物秸秆还田的现状与展望[J]. 四川农业大学学报. 1999, (17).
- [39] 王志芳. 秸秆还田是建立良好农业生态系统重要措施[J]. 中国农机化. 2003, (6): 14-16.
- [40] 刘鹏程, 丘华昌. 不同方式秸秆还田培肥土壤的模拟试验[J]. 土壤肥料, 1994, (6): 19-23.
- [41] 江寅虎, 柯福源. 长期定位条件下的秸秆还田的综合效应研究[J]. 土壤通报. 1994, 25 (7): 53-56.
- [42] 朱瑞祥, 张秀琴. 对玉米施水硬茬播种的试验研究[J]. 西北农业大学学报. 2000, 3(28): 57-60.
- [43] 张伦. 关于秸秆还田的意见[J]. 新疆畜牧业. 1995, (1): 9-10.
- [44] 王仅, 许正君. 国外农机化基本经验对建设黑龙江农业强省的启示[J]. 农机化研究. 1998, (3).
- [45] 陈君达, 李洪文. 旱地玉米保护性机械化耕作技术和机具体系[J]. 中国农业大学学报. 1998, 3(4).
- [46] 陈君达, 李洪文. 旱地玉米机械化保护性耕作技术及机具研究[J]. 中国农业大学学报. 2000, 5(4): 68-72.
- [47] 邓良佐, 史纪明. 黑龙江旱作玉米机械化生产技术规范[J]. 玉米科学. 2003, (S1): 55-58.
- [48] 曾希柏, 刘更另. 化肥施用和秸秆还田对红壤磷吸附性能的影响研究[J]. 土壤与环境. 1999, 8(1): 45-49.
- [49] 张凤英, 蔡玉宽. 机械化大垄双行栽培玉米的增产效果[J]. 杂粮作物. 1999, (3): 32.
- [50] 杨玉文. 机械化玉米秸秆粉碎还田技术. 农业机械化与电气化[J]. 1998, (5): 35.
- [51] 朱瑞祥, 薛少平. 机械化玉米秸秆还田对土壤水肥状况的动态研究[J]. 农业工程学. 2001, (4): 39-43.
- [52] 田颀英. 机械化玉米秸秆还田概述[J]. 粮油加工与食品机械. 1995, (5): 2-5.

- [53] 赵树智, 索文彬. 机械化玉米免耕栽培技术[J]. 山西农机. 1999, (2): 30.
- [54] 陈雪娟, 汤义华. 秸秆反旋灭茬还田效果好[J]. 土壤肥料. 1998, (6).
- [55] 李孝勇, 武际. 秸秆还田对作物产量及土壤养分的影响[J]. 安徽农业科学. 2003, (5): 870-872.
- [56] 郝盛楠. 秸秆还田方法及配套机具[J]. 农村牧区机械化. 1998, (4).
- [57] 刘藏珍, 王淑敏. 秸秆还田添加氮调节碳氮比的研究[J]. 河北农业大学学报. 1995, (7).
- [58] 蒋云芳, 蒋新和. 秸秆还田与化学氮肥配施技术探讨[J]. 江苏农业科学. 1998, (4): 43-45.
- [59] 尚梅, 刘德璋. 农作物秸秆还田技术应用及推广前景[J]. 农机化研究. 2000, (1).

致 谢

此论文得到了吉林农业大学工程技术学院袁洪印教授的具体指导。学习期间，我得到了导师的精心教导，使我接受了全新的思想观念，确立了科学的研究目标，领会了基本的思考方式，掌握了通用的研究方法，为我营造了一种良好的学习氛围。本人也得到了工程技术学院领导、老师的教育和培养，感谢田耘、朱凤武和关志伟等全体老师、感谢你们传授我专业知识。感谢吉林省农业科学院环资中心保护性耕作课题组的同事。在此一并深表谢意。