

松干流域 坡耕农田面源污染控制 农作技术研究及应用

Farming Techniques for Non-point Source Pollution
Control on Sloping Croplands in the Main Stream of
Songhua River Basin

杨世琦 杨正礼 等◎著

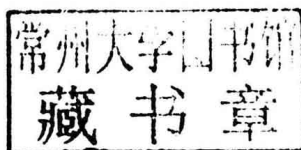
非点源



科学出版社

松干流域坡耕农田面源污染控制农作技术 研究及应用

杨世琦 杨正礼 等 著



科学出版社

内 容 简 介

松干流域是松花江流域的主要粮食生产区,同时也是东北农田面源污染发生的主要地区之一。基于国家水体污染控制与治理科技重大专项“松干流域粮食主产区农田面源污染全过程控制技术集成与综合示范课题”(2014ZX07201-009)的研究成果,汇编成稿。本书重点介绍了松干流域基本情况、坡耕地不同种植模式对土壤氮磷的影响、冻融交替下农田土壤环境因子变化特征、冻融交替下农田土壤氮变化特征及影响机制、冻融交替下农田土壤碳变化特征及影响机制、稻田面源污染特征及污染控制技术、坡耕地肥料减量农作技术、玉米专用缓控释肥技术、坡耕地水土氮磷控制农作技术等内容。

本书可为从事农业面源污染控制的研究人员及学生提供参考,也可为基层农技推广工作者提供技术依据。

图书在版编目(CIP)数据

松干流域坡耕农田面源污染控制农作技术研究及应用 / 杨世琦等著. —北京: 科学出版社, 2018.3

ISBN 978-7-03-055746-9

I. ①松… II. ①杨… III. ①松花江-流域-农田污染-面源污染-污染控制-研究 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 293604 号

责任编辑: 李轶冰 / 责任校对: 彭珍珍

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018 年 3 月第一次印刷 印张: 15 1/2

字数: 300 000

定价: 158.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

撰写委员会

主 笔：杨世琦 杨正礼

副主笔：吴会军 陈 哲 韩瑞芸

成 员：（按姓氏汉语拼音顺序）

陈 哲（青海师范大学）

高 悦（中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所）

韩瑞芸（中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所）

李友宏（宁夏农林科学院）

刘宏元（中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所）

刘汝亮（宁夏农林科学院）

刘志发（黑龙江方正县农业技术推广站）

宋霜君（中国农业科学院农业资源与农业区划研究所）

王 芳（宁夏农林科学院）

王惟帅（中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所）

吴会军（中国农业科学院农业资源与农业区划研究所）

邢 磊（中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所）

杨世琦（中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所）

杨正礼（中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所）

张爱平（中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所）

序

农业面源污染是造成水体污染的主要因素之一，已经成为我国生态环境治理的重点领域和影响农业安全生产的主要因素。我国水环境污染总体形势很严峻，全国 532 条河流中，有 438 条污染，约占 82.3%；湖泊河流达到富营养化水体的占 63.6%，包括一些农业高产地区的湖泊（如太湖和巢湖等）的总磷、总氮浓度分别是 20 世纪的十几倍，其中，约 50% 的氮磷污染负荷来自农业非点源污染。

黑龙江省内的松花江干流指肇源县至同江市这一段，全长为 939km，在三江口汇入黑龙江。涉及 18 个县（市、区），流域面积为 7.2 万 km^2 ，占全省辖区面积的 16%。松花江干流水系非常发达，有牡丹江和蚂蚁河等 10 余条支流汇入。流域总人口为 750 多万，占全省的 20%，耕地面积为 294 万 hm^2 ，占全省的 21.1%。松花江干流沿岸冲积平原土壤类型的有机质含量达 3%~5%，是我国粮食主要产区，耕地面积和人均耕地占有量均居全省前列，年粮食总产量是全省的 42%。由于常年化肥农药投入较大，小型农机具耕作深度浅化引起的耕层土壤养分保持能力降低，种植结构单一、农作物秸秆利用率低、畜禽粪便资源化利用不高及环境污染等问题，导致农业面源污染问题凸显。基于松干流域农田面源污染控制需求，国家水体污染控制与治理重大专项“十二五”期间（2014~2016 年）在松花江流域设置了“松干流域粮食主产区农田面源污染全过程控制技术集成与综合示范课题”（2014ZX07201-009）。

该书是由中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所牵头完成上述课题的成果总结与提炼。该书介绍了松干流域农田面源污染的特点、冻融交替下农田土壤氮碳变化过程、不同种植模式下的农田水土流失特征、农田化肥减量及缓控释肥技术等内容，提出了松干流域农田面源污染控制农作技术体系，对流域农业面源污染控制具有重要借鉴意义。全书思路缜密、数据翔实，丰富了农田面源污染防控的理论和技術，是一本具有理论深度和指导生产实践价值的著作。



2017 年 10 月

前 言

农田面源污染，也称非点源污染，一般理解为分散的污染源造成的污染，指溶解的固体污染物通过径流作用进入河流、湖泊、水库和海湾等水体，引起水体氮磷浓度升高及有害有毒物质增加，导致水体水质下降的污染现象。农田面源污染源的污染物主要是土壤中的农业投入品（化肥、农药和有机物等），在降水或灌溉作用下，经地表径流、农田排水及地下渗漏等途径进入水体，造成水体污染。我国农业面源污染问题比较严重。根据第一次全国污染源普查公报，2007年全国农业源的化学需氧量排放达到1320万t，占全国排放总量的43.7%，农业源总氮、总磷分别为270万t和28万t，占全国排放总量的57.2%和67.4%。农业集约化程度不断提高，客观上导致农药、化肥等农业投入品施用量的增长。

基于松干流域农田面源污染控制需求，国家水体污染控制与治理重大专项“十二五”期间（2014~2016年）设置了“松干流域粮食主产区农田面源污染全过程控制技术集成与综合示范课题”（课题编号：2014ZX07201-009），旨在通过对面源污染源头、过程和末端等关键环节的科学研究，解决流域农田面源污染问题。本书重点围绕农作技术与农田面源污染控制的关系，探索农作技术在土壤氮磷流失控制方面的作用与贡献，形成了流域农田低污染农作技术体系，为区域面源污染控制提供技术与理论支撑。本书为该项目的部分研究成果，全书共9章。第1章介绍了松干流域的基本情况，第2章介绍了种植结构与土壤耕作措施对坡耕地水土氮磷流失的影响，第3~5章介绍了冻融交替下土壤环境及土壤碳氮变化规律，第6章介绍了稻田土壤氮流失特征及防控技术，第7章介绍了坡耕地肥料减量技术，第8章介绍了坡耕地玉米缓释肥技术，第9章介绍了坡耕地水土氮磷保持集成技术。

本书由中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、宁夏农林科学院、青海师范大学及黑龙江方正县农业技术推广站等单位通力合作完成。

杨世琦 杨正礼

2017年12月于北京

| 目 录 |

序	
前言	
第 1 章 松干流域基本情况	1
1.1 松干流域自然概况	1
1.2 松干流域社会经济概况	5
第 2 章 松干流域坡耕地不同种植模式对土壤氮磷的影响	10
2.1 引言	10
2.2 国内外研究进展	12
2.3 材料与方法	16
2.4 东北坡耕地农作物秸秆还田对土壤氮磷的影响	20
2.5 小结	38
第 3 章 松干流域冻融交替下环境因子变化特征	40
3.1 大气温度特征	41
3.2 降水及积雪覆盖特征	42
3.3 土壤温度特征	42
3.4 土壤湿度特征	44
第 4 章 松干流域冻融交替下土壤氮变化特征及影响机制	46
4.1 土壤有效氮库特征	48
4.2 冻融环境下土壤 N_2O 通量	53
4.3 非生长季 N_2O 排放影响机制	59
4.4 讨论	64
4.5 小结	74
第 5 章 松干流域冻融交替下土壤碳变化特征及影响机制	75
5.1 土壤有效碳库特征	75
5.2 冻融环境下土壤 CO_2 、 CH_4 通量	78
5.3 非生长季 CO_2 、 CH_4 排放影响机制	89
5.4 讨论	99
5.5 小结	114

第 6 章 松干流域稻田面源污染控制 115

6.1 松干流域稻田面源污染特征 115

6.2 松干流域稻田面源污染控制技术 124

第 7 章 松干流域坡耕地肥料减量技术 133

7.1 当前农业化肥施用存在的问题 133

7.2 松干流域农田污染特征 134

7.3 肥料减量技术 136

7.4 减量技术应用效果 140

第 8 章 松干流域玉米专用缓控释肥 156

8.1 缓控释肥料概念 156

8.2 国内外缓控释肥料应用现状 157

8.3 缓控释肥料的主要贡献 158

8.4 松干流域玉米缓控释肥试验 160

8.5 缓控释肥料存在的问题及对策 172

第 9 章 松干流域坡耕地水土氮磷控制农作技术 174

9.1 坡耕地秸秆还田与横垄耕作水土氮磷控制技术 174

9.2 植物篱埂垄作区田水土氮磷控制技术 183

9.3 坡耕地“化肥减量—结构调整—缓控释肥”一体化施肥技术 187

9.4 坡耕地种植模式调整与水土氮磷流失控制技术 188

9.5 坡面降水收集及再利用技术 189

参考文献 190

附录 214

| 第 1 章 | 松干流域基本情况

1.1 松干流域自然概况

松花江历史悠久，早在东晋时期就有记载，上游称速末水，下游称为难水；隋、唐时期，又分别称为粟末水和那河；元朝时，上下游都被称为宋瓦江；直至明朝宣德年间开始使用松花江这一称谓。松花江流域是我国七大江河之一，是黑龙江在国内的最大支流。流域介于 $41^{\circ}42'N \sim 51^{\circ}38'N$ 、 $119^{\circ}52'E \sim 132^{\circ}31'E$ ，东西长约 920km，南北宽约 1070km，其面积达 55.68 万 km^2 ，涵盖黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区四地，整体呈“菱形”状分布。其独特的地理位置造就了该区域独有的特征和优势（斯琴高娃，2010）。

松花江是满语中“天河”的意思，松花江就好似从天而降的长河，可以想象其宽广绵长、行走于蓝天黑土之间，富饶的土地上有着神奇而又美丽的风光。松花江流域有南北两源，南源为西流松花江，北源为嫩江，而西流松花江与嫩江在吉林省扶余市三岔河附近汇合后至同江市河口，这条河道被称作松花江干流。

1.1.1 地形地貌

松花江干流全长为 939km，松花江干流上游地区（即哈尔滨市以上地区）海拔平缓，多在 200m 以下，这里也是松嫩平原的组成部分；中游地区河谷狭窄，河道两侧为高原平原和丘陵地区，海拔多超过 300m，最高处超过 1600m，而河道经过断崖、草地和低丘等；下游地区，地势低平，海拔低于 80m，是防洪的主要地区。而松花江干流流域（以下简称松干流域）各支流地形多样，变化复杂。呼兰河与通肯河交汇进入平原区，在这里河道变宽，至呼兰区进入松花江；兰林河在山区中穿过；而倭肯河从山区流向开阔的平原区；汤旺河在峡谷之间流动；梧桐河主要经过了低山丘陵和平原；牡丹江所处地形呈现了中山、低山、丘陵和河谷盆地四种地质形态。

1.1.2 气候条件

气候因子是造就松干流域独特自然环境的重要因素。降水可直接影响松干流域水资源情况；温度也是影响松干流域时空格局的主要因素；除此以外，风速也是影响松干流域生态环境的关键因素。

松干流域地处中国东北部，整体上属于大陆性季风气候，也有少部分的温带亚湿润森林草原气候存在。松干流域南北相差近 3 个纬度，而且其本身就处于中高纬度地带，所以其冬季漫长寒冷、夏季炎热多雨、春季干燥多风、秋季短暂且多晴日。松干流域年内温差较大，多年平均温度为 3~5℃，最高温度为 7 月，可达 40℃ 以上；最低温度为 1 月，有记录显示的最低温度为 -42.6℃；而在秋季冷暖温差比较大，这一季节常有冻害发生。根据相关数据（黑龙江省人民政府，2010；吉林统计局和国家统计局吉林调查总队，2010）分析，在 1956~2009 年，松干流域的平均升温趋势比较明显。根据哈尔滨气象站数据分析，1956~2009 年间松干流域每 10a 升温 0.444℃，年平均气温为 2~7℃。

松干流域全年日照时长为 2200~3000h，西部比东部全年日照时长往往多 400~900h，如 2015 年加格达奇区日照时长达 2679.7h，而哈尔滨市只有 2090.7h。无霜期为 110~180d，南部比北部无霜期往往多 30~40d。全年积温为 2400~3600℃，南部比北部全年积温往往多 400~600℃。

松干流域处于东北亚季风区，降水集中于 7~8 月，这一时期降水量占全年降水量的 50%；在 6 月和 9 月也时有暴雨发生，这两个月降水量占全年降水量的 20%。松干流域内降水天数为 60~120d，平均为 100d。松干流域一般在当年 10 月降初雪，一直维持到次年的 4 月。松干流域降水量为 300~950mm，且东西差异较大，如 2015 年伊春市降水量达到 765mm 以上，而哈尔滨市只有 420.1mm。松干流域降水的基本特征为山地丘陵地区最高，平原地区较低，南部高于北部，东部高于西部。松干流域蒸发量为 500~800mm，具有山地蒸发量少、平原蒸发量多的特点。

松干流域由于特殊的地理位置，南北的气候都会对松干流域产生影响；另外，人类的活动（如耕作、用水及一些水利设施的建设与使用），都对松干流域气候产生了影响。

1.1.3 水文水系

松花江有两个源头，分别为嫩江和西流松花江，两江在松原市扶余市汇合形成松花江干流。从汇合处至通河，干流流向东，通河以下，流向东北，经肇源县、

扶余市、双城区、哈尔滨市、阿城区、巴彦县、木兰县、通河县、方正县、依兰县、汤原县、佳木斯市、桦川县、绥滨县、富锦市、同江市，最后于同江市东北约 7km 处由右岸注入黑龙江。松花江干流两岸河网发育，支流众多，主要有拉林河、阿什河、呼兰河、蚂蚁河、牡丹江和汤旺河等。干流落差为 78.4m，河流坡降比较平缓，平均为 0.1%。松花江干流水资源分区见表 1-1。

表 1-1 松花江干流水资源分区

二级分区	三级分区	面积 (km ²)	四级分区	面积 (km ²)	辐射城市
松花江干流	三岔河至哈尔滨	30 823	拉林河	20 102	长春市、吉林市、松原市、哈尔滨市、大庆市、绥化市
			三岔河至哈尔滨	10 207	
	哈尔滨至通河	59 795	阿什河	3 549	哈尔滨市、齐齐哈尔市、伊春市、黑河市、绥化市
			哈尔滨至通河	14 099	
			呼兰河	31 207	
			蚂蚁河	10 757	
	牡丹江	38 909	莲花水库以上	29 922	牡丹江市、吉林市、延边朝鲜族自治州、哈尔滨市、七台河市
			莲花水库以下	7 583	
	通河至佳木斯干流区河	41 847	汤旺河	20 511	哈尔滨市、伊春市、佳木斯市、七台河市
			通河至依兰	4 154	
			倭肯河	11 001	
			依兰至佳木斯	5 415	
	佳木斯以下	17 930	佳木斯下游	11 921	鹤岗市、双鸭山市、佳木斯市
			梧桐河	4 639	

资料来源：邓红兵等，2016

松花江干流两岸河网发育，支流众多，集水面积大于 50km² 的支流有 792 条；其中，50~300km² 的支流有 646 条；300~1000km² 的支流有 104 条，1000~5000km² 的支流有 33 条；5000~10 000km² 的支流有 3 条；10 000km² 以上的支流有 6 条。松花江干流流域可以简单分成三个部分：①三岔河至哈尔滨为松花江干流上段，河道流经草原和湿地，此段坡度比较缓而且支流较少，河道长为 240km；②哈尔滨至佳木斯是松花江干流中段，此段途经低丘、草地和断崖，坡度比较缓，河道长为 432km；③佳木斯至同江是松花江干流下段，穿行于三江平原地区，两岸为冲积平原，地势平坦，杂草丛生，河道和滩地比较开阔，河道长为 267km，整个下游河段，地势低平，历来是防洪重点地区之一，所以在此地也出台了很多防洪政策并采取了很多人防措施。

松花江流域在历史上有记载的洪水次数为 21 次，其中，最近的一次大洪水为 1998 年。在 1998 年的 6 月底至 7 月初、7 月底至 8 月初和 8 月中旬发生了三次大洪水。哈尔滨市在当年 8 月 22 日达到了最高水位 120.9m，打破了之前 120.06m

的纪录，是 20 世纪最大规模的洪水。造成这次大洪水的原因主要包含两方面：其一是暴雨集中；其二是连续的阴雨天气。所以，在今后的防洪工作中要注意这两类情况的发生，提早做好防洪准备。

1.1.4 生态环境资源

松干流域中最为著名的土壤是黑土，其肥沃富饶、质地疏松、团粒结构丰富、有机质含量高、持水能力强。有机质含量可以作为土壤肥力程度的评判标准。在黑土区，地上地下的有机质含量都非常高，尤其是耕层土壤最为集中，造成这一现象最主要的原因是冬季漫长且严寒，夏季短促，导致微生物活性比较低，大量有机质难以分解，最终可以积累下来。在松干流域，黑土是最为重要的耕作土壤。但是长期的开采耕作，也会使得土壤肥力下降，因此，还是需要合理的保护性耕作，使土壤肥力慢慢恢复。除黑土以外，在松干流域还有暗棕壤、白浆土和山地土等分布，但名气远小于黑土。

松干流域植物资源丰富，但各植物分布面积不大。例如，有人参、鹿茸和灵芝等珍贵药材；有荷花、百合及杜鹃等观赏花卉；有卷毛红、三楞草与乌拉草等草类植物；有山葡萄、山梨和山丁子等山果植物；有杨树、榆树及云杉等树木类；有木耳、黄花菜与猴头菇等山野菜类。另外，松干流域是我国北方重要的淡水鱼产地之一，盛产鲤鱼、草鱼和鲢鱼等，并将其制作成了许多美味菜肴。

松干流域在 1956~2000 年的多年平均降水量为 $1.12 \times 10^{11} \text{m}^3$ ，降水深度为 591.6mm，松干流域降水深度在整个松花江流域居于中等。松干流域在 1956~2000 年的多年平均地表水资源量为 $3.60 \times 10^{10} \text{m}^3$ ，径流深为 190.0mm，是整个松花江流域地表水资源最丰富的流域。松干流域在 1980~2000 年的多年平均地下水资源量为 $1.36 \times 10^{10} \text{m}^3$ ，其中，山丘地区为 $6.88 \times 10^9 \text{m}^3$ ；平原地区为 $7.25 \times 10^9 \text{m}^3$ ，且可开采量为 $6.67 \times 10^9 \text{m}^3$ 。松干流域在 1956~2000 年的多年平均水资源总量为 $4.12 \times 10^{10} \text{m}^3$ ，是整个松花江流域多年平均水资源总量最多的流域（于宏兵和周启星，2013）。

松干流域在 1956~2000 年的多年平均水资源可利用量为 $1.86 \times 10^{10} \text{m}^3$ ，水资源可利用率为 45.10%。松干流域天然地表水资源量为 $3.60 \times 10^{10} \text{m}^3$ ，其中，河道内生态环境用水占 20.92%；难以被利用的洪水占 39.11%；地表水资源可利用量占 39.97%，比较适合生态环境的发展。松干流域平原地区地下水可利用量为 $4.00 \times 10^9 \text{m}^3$ ，水资源利用率为 59.99%。松干流域山丘地区地下水可利用量为 $1.83 \times 10^8 \text{m}^3$ ，水资源利用率为 60.00%（于宏兵和周启星，2013）。

1.2 松干流域社会经济概况

1.2.1 人口经济现状

根据 2015 年统计资料（表 1-2），松干流域总人口为 4904.3 万人，是松花江流域人口最多的区域。城镇化人口为 2338.1 万人，城镇化率为 47.67%，低于全国水平的 57.35%。其中，以鹤岗市和伊春市为首的城镇化率超过全国水平的城市有 5 个，同时形成了以哈尔滨市和长春市为中心的松干流域人口中心地带。通过人口情况可以推测，松干流域大多数居民仍然以农业为主进行谋生，生活水平低于全国平均水平。

表 1-2 2015 年松干流域人口和经济现状表

城市	人口 (万)	城镇人 口 (万)	城镇化 率 (%)	地区生产总 值 (亿元)	城市	人口 (万)	城镇人 口 (万)	城镇化 率 (%)	地区生产总 值 (亿元)
哈尔滨市	961.4	481.3	50.06	5 751.2	七台河市	83.1	51.9	62.45	212.7
齐齐哈尔市	549.4	196.5	35.77	1 270.3	牡丹江市	255	141.9	55.65	1 178.6
鹤岗市	105.6	86.6	82.01	265.6	黑河市	167.9	98.3	58.55	447.7
双鸭山市	147.4	95.8	64.99	433.3	绥化市	548.5	147.1	26.82	1 272.2
大庆市	277.5	145.7	52.50	2 983.5	长春市	753.8	358.2	47.52	5 530.0
伊春市	121.2	106.9	88.20	248.2	吉林市	426.2	223.1	52.35	2 394.2
佳木斯市	229.2	117.7	51.35	810.2	松原市	278.1	87.1	31.32	1 637.3

资料来源：黑龙江省人民政府，2015；吉林统计局和国家统计局吉林调查总队，2015

松干流域途经 14 个城市，地区生产总值达 24 435.0 亿元，人均 49 823.6 元，低于中国人均生产总值 8016 美元（按 2015 年全年平均汇率约合人民币 50 251 元），是 2006 年（15 688.3 元/人）的 3.18 倍。如前面所说，松干流域大多数居民从事第一产业，达 52.33%，但其产值只有 3665.3 亿元，人均第一产业产值 14 283.0 元，远低于全国平均水平。松干流域是我国重要的老工业基地，第二产业产值达 10 115.2 亿元，占总产值的 41.40%，相比于 2006 年的 45.71%显著降低。松干流域风景优美，历史悠久，所以其旅游服务业发达，第三产业产值达 10 654.5 亿元，占国民生产总值的 43.60%，相比于 2006 年的 40.71%有显著提高。从第二产业和第三产业来看，这主要是结构转型升级，使得松干流域老工业基地经济发展迎来

新的春天。松干流域铁路和公路密度发达，著名的京哈铁路和京哈高速就途经这里，因此，形成了以哈尔滨市和长春市为核心的松干流域经济圈。

1.2.2 农业生产现状

松花江是中俄界河黑龙江右岸最大的支流，对整个东北地区的工农业生产、航运、人民生活产生了重要影响。松花江犹如东北人民的母亲河，这不仅因其流域面积宽广，也因其流域土壤肥沃、光热条件好，盛产大豆、玉米、高粱、小麦和水稻等而得名，并建立国家级粮食生产基地。松干流域第一产业产值比例虽然是逐年下降的，但是产值是逐年递增的，这也反映了松干流域产业结构强化的结果。松干流域第一产业产值和比例见表 1-3。从表 1-3 中可以看出，上游地区和中游地区更适合发展第一产业，产值远高于下游地区。

表 1-3 松干流域第一产业产值和比例

年份	项目	上游	中游	下游	总和
2000	产值（亿元）	191.87	152.08	81.6	425.55
	比例（%）	45.08	35.74	19.18	21.80*
2005	产值（亿元）	349.64	218.05	135.31	703.00
	比例（%）	49.73	31.02	19.25	21.46*
2010	产值（亿元）	552.34	437.81	319.69	1 309.84
	比例（%）	42.17	33.42	24.41	18.01*
2015	产值（亿元）	1 714.97	1 507.80	442.53	3 665.30
	比例（%）	46.79	41.14	12.07	15.00*

*数据分别代表占当年 GDP 的百分比

（1）种植业

松干流域 2015 年总播种面积为 1429 万 hm^2 ，农田有效灌溉面积为 422 万 hm^2 ，农田有效灌溉面积比例为 24.58%，由于其独特的土壤保水条件，松干流域成了中国主要的水稻产地。除此以外，这里也种植了玉米、小麦、大豆和薯类等其他作物。松干流域粮食产量达 8502.7 万 t，人均粮食产量为 1.73t，总产值达 6248.7 亿元。松干流域采取传统的种植方式，当地农民习惯大量施用化肥，从而造成了严重的面源污染。2015 年农业施用氮肥折纯量为 $1.10 \times 10^7 \text{t}$ ，磷肥折纯量为 $0.48 \times 10^6 \text{t}$ ，钾肥折纯量为 $0.52 \times 10^6 \text{t}$ ，复合肥折纯量为 $0.97 \times 10^6 \text{t}$ 。过度地施用肥料，虽可提高部分产量，但造成的水体污染所需要付出的代价远超过了其带来的经济效益。例如，从表 1-4 中可以看出，哈尔滨市通过施用大量的肥料获得了较高的粮食产量，创造了较大的产值。然而，这些肥料的施用会降低土壤肥力，如果今

后仍然继续大量施用肥料，会破坏这一地区良好的农业生态系统，造成恶性循环。

表 1-4 松干流域各地区种植业情况表

城市	播种面积 (万 hm ²)	有效灌溉面积 (万 hm ²)	粮食产量 (万 t)	N (t)	P (t)	K (t)	复合肥 (t)	产值 (亿元)
哈尔滨市	203.8	74.6	1 443.7	165 733	70 033	72 845	158 269	1 255.8
齐齐哈尔市	229.4	67.5	1 178.9	107 535	56 452	34 851	107 017	578.9
鹤岗市	20.4	14.5	103.9	14 144	9 787	7 199	12 470	54.2
双鸭山市	41.1	9.7	277.9	22 175	10 606	9 408	26 166	137.5
大庆市	75.2	46.2	537.9	52 058	18 775	9 965	51 634	404.6
伊春市	24.0	4.9	77.4	6 205	8 048	3 756	6 971	165.2
佳木斯市	112.6	45.9	710.6	80 387	53 468	31 973	71 940	426.4
七台河市	17.8	2.0	94.1	17 240	7 368	4 190	2 317	50.5
牡丹江市	64.6	9.2	279.3	28 902	11 855	11 570	35 349	379.5
黑河市	126.1	8.4	336.3	30 104	31 744	15 191	58 592	264.5
绥化市	190.6	52.0	1 346.1	119 870	76 331	42 573	122 862	893.3
长春市	133.4	25.1	955.7	200 676	49 364	114 168	134 024	649.6
吉林市	67.6	16.0	423.0	99 102	19 925	71 319	98 487	488.9
松原市	122.4	46.0	737.9	158 173	55 162	88 032	85 367	499.8

(2) 养殖业

松干流域饲养了许多大型牲畜，一方面可以作为劳动力用于耕作，另一方面也可以作为肉类或通过产奶来获得收益，如牛、马、驴和骡等；同时也饲养了猪与羊等肉类牲畜和鸡与鸭等禽类。截至 2015 年底，松干流域有大型牲畜 1147.6 万头、猪 2279.3 万头、羊 1269.0 万只、家禽 2.83 亿只（表 1-5）。哈尔滨市、齐齐哈尔市、绥化市和长春市是松干流域养殖业比较发达的地区。当前，国家正在调整农业产业结构，松干流域畜禽养殖的发展必将稳步提升，有利于打造东北绿色养殖新产业。

表 1-5 松干流域各地区养殖业情况表

城市	大型牲畜 (万头)	猪 (万头)	羊 (万只)	家禽 (万只)	产值 (亿元)
哈尔滨市	215.6	372.3	78.6	6 284.5	700.6
齐齐哈尔市	149.6	297.5	283.2	2 480.2	331.8
鹤岗市	1.7	32.5	4.7	133.9	36.1
双鸭山市	9.3	81.5	36.1	409.7	86.0
大庆市	59.8	143.0	133.0	1 600.5	170.4
伊春市	2.3	38.1	17.8	715.4	93.7
佳木斯市	67.7	283.0	95.5	1 301.4	274.4

续表

城市	大型牲畜 (万头)	猪 (万头)	羊 (万只)	家禽 (万只)	产值 (亿元)
七台河市	4.4	25.4	16.3	254.6	25.6
牡丹江市	43.0	116.2	50.5	720.9	290.0
黑河市	60.7	81.3	103.3	256.4	201.0
绥化市	205.5	470.2	200.9	5 757.2	465.3
长春市	219.2	385.4	59.5	4 178.4	321.4
吉林市	56.1	180.0	14.1	2 196.9	250.9
松原市	52.7	145.2	175.5	2 030.3	306.9

(3) 渔业、林业和牧业

松干流域盛产各类水产品，有鱼、虾、蟹和贝等。根据 2015 年数据（表 1-6），松干流域各类水产品总产量达 $7.55 \times 10^5 \text{t}$ ，渔业产值达 111.2 亿元。分布在松干流域黑土地上的森林草原主要是由樟子松、油松、山杨、野古草和早熟禾等组成。这为松干流域林业和牧业的发展奠定了基础。根据 2015 年数据（表 1-6），松干流域林业总产值达 136.2 亿元；牧业总产值达 2344.2 亿元。合理的结构调整和国家政策的支持鼓励使得松干流域的渔业、林业和牧业得到了极大的发展，同时也有利于松干流域将自身优势转化为实际效益。

表 1-6 松干流域各地区渔业、林业、牧业情况表

城市	水产品产量 (t)	渔业产值 (亿元)	林业产值 (亿元)	牧业产值 (亿元)
哈尔滨市	103 170	21.6	30.9	477.4
齐齐哈尔市	63 406	10.0	6.8	228.1
鹤岗市	57 545	1.8	2.3	13.1
双鸭山市	40 494	2.2	3.4	45.2
大庆市	7 187	12.3	3.6	217.0
伊春市	10 480	0.5	29.0	41.5
佳木斯市	84 221	14.3	6.0	130.9
七台河市	3 522	0.6	3.4	18.9
牡丹江市	4 745	3.2	3.1	71.7
黑河市	133 074	3.1	19.3	36.4
绥化市	14 192	18.1	7.0	398.3
吉林市	91 235	5.5	3.5	302.1
长春市	81 976	8.8	12.4	196.4
松原市	59 884	9.2	5.5	167.2

(4) 现代农业机械

众所周知，科学技术是第一生产力，松干流域农林牧渔业的发展离不开农业机械的应用。根据 2015 年数据(表 1-7)，松干流域农业机械总动力达 5879 万 kW，其中，哈尔滨市达 1024.5 万 kW，是松干流域使用农业机械动力最多的城市。此外，松干流域还有大中型农用拖拉机 1 096 029 台、小型拖拉机 789 538 台、大中型机引农具 1 453 865 台、农用排灌动力机械 889 309 台、联合收割机 104 628 台。农业机械的普遍应用使得松干流域提升了生产力和竞争力。政府应鼓励建立各种农机专业合作社、农机专业协会和农机服务队等新型农机服务组织，推进农机标准化作业，产业化经营和社会化服务，为农业机械化的贯彻执行做出自己的努力。

表 1-7 松干流域各地区现代农业机械情况表

城市	农业机械总动力(万 kW)	大中型农用拖拉机(台)	小型拖拉机(台)	大中型机引农具(台)	农用排灌动力机械(台)	联合收割机(台)
哈尔滨市	1 024.5	142 667	202 259	163 944	197 594	18 660
齐齐哈尔市	813.8	194 652	97 266	230 546	173 772	14 053
鹤岗市	107.7	19 411	5 627	39 459	23 497	3 320
双鸭山市	185.9	50 828	12 854	72 558	12 601	2 816
大庆市	336.3	75 757	59 679	77 504	68 318	3 521
伊春市	80.3	17 801	8 044	15 185	9 472	870
佳木斯市	423.3	95 798	20 882	123 190	44 848	9 862
七台河市	68.8	11 640	6 242	12 983	4 307	1 184
牡丹江市	277.7	59 413	55 277	68 963	34 346	2 834
黑河市	285.3	52 356	35 577	65 399	5 985	3 039
绥化市	571.4	105 909	65 100	181 957	102 022	10 914
长春市	654	126 420	74 678	179 419	79 821	13 274
吉林市	385	19 466	19 284	21 039	64 849	6 583
松原市	665	123 911	126 769	201 719	67 877	13 698

松干流域通过调整产业结构，逐步实现粮食增产、质量提升和现代化生产。但在实际农业生产中，依然有很多不足，如肥料农药的滥用、种植技术粗糙及不能与环境协调统一等问题。所以，在今后的农业生产中要尽量避免和弥补之前留下的漏洞，为实现松干流域可持续发展打下坚实的基础。