

文章编号: 1007-6301 (2001) 02-0169-08

淮北平原砂姜黑土旱涝（渍）害 与水土关系及作用机理

张义丰¹, 王又丰¹, 刘录祥²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国农科院原子能研究所, 北京 100094)

摘要: 砂姜黑土是黄淮海平原三大低产土壤之一, 有近 2/3 分布于淮北平原。该土壤自动调节水分的能力差, 易旱, 易涝, 易渍, 并且常常是这三种灾害交替发生。砂姜黑土的土壤特性对于该区农业的发展十分不利, 使农作物产量长期低而不稳。为挖掘该土壤的生产潜力, 促进中低产田的改造, 本文就砂姜黑土的发育、区域特殊的环境条件, 与旱涝渍害的形成关系机理进行了分析, 在此基础上对该土壤的整治改造提出了可行性方案。

关 键 词: 淮北平原; 砂姜黑土; 旱涝（渍）害; 水土关系

中图分类号: X43 **文献标识码:** A

淮北平原是黄淮海平原的重要组成部分, 也是我国重要的商品粮、油、棉生产基地之一。但这一地区旱涝渍害发生频繁, 农田的抗灾能力差, 粮食产量水平低, 生产潜力还没有完全发挥出来。“七五”以来, 国家把该区纳入黄淮海平原农业综合开发治理项目, 90 年代又利用世界银行贷款, 实施灌溉农业项目, 为低产土壤的改造增加了活力。其中, 砂姜黑土是典型的低产土壤, 对它的改造是整个黄淮海地区中低产田改造很关键的一环。砂姜黑土是一种古老耕作土壤, 其物理性能差, 质地粘重, 结构不良, 土壤孔隙小, 土壤有效蓄水量少, 调节水分库容偏小。加之淮北平原地势低洼, 地面比降 1/16000~1/10000, 地下水位较高, 因此表现出易旱易涝（渍）的特点, 这是导致耕地低产的主要原因之一。此外, 该区降雨量年际、年内分配不均导致了旱涝（渍）害特别突出, 这也是导致低产的重要因素之一。目前对于淮北平原低产土壤的研究主要为: 砂姜黑土的生产潜力; 土壤水分的物理特性与作物的需水规律, 阐述旱涝渍害的防治、地下水位的合理调控和农田排灌系统的工程配套技术; 砂姜黑土地区适生优势作物及其增产措施; 砂姜黑土的供肥特点和以增施磷肥为中心的氮磷配方施肥技术, 有机和无机、用地养地相结合的土壤培肥途径^[1,2]。本文旨在研究砂姜黑土旱涝渍害与水土关系作用机理, 为淮北平原砂姜黑土区中低产田的改造提供科学依据。

收稿日期: 2001-04; **修订日期:** 2001-05

基金项目: 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程领域前沿项目 (CX DG-B00-01-01)

作者简介: 张义丰 (1954-), 男, 研究员, 毕业于北京大学地理系。主要从事农业与农村经济可持续发展研究及流域的开发治理研究, 发表专著 3 部, 论文 30 余篇。

1 砂姜黑土的开发过程

淮北平原位于黄淮海平原的南部，自第四纪以来，长期处于缓慢下沉的状态。该地区起伏较大，地形呈西北低、东南高的特点，地表堆积了以灰黄、黄灰或土黄色为主的较厚的第四纪松散沉积物，这是砂姜黑土发育的物质基础^[3]。

砂姜黑土中含有大量钙质结核，成层分布，一般为 50~ 70 cm 的深度，浅者只有 20 cm 左右。多数情况下只有一层钙核，也有数层间隔分布，甚至连续多层分布。钙质结核又称砂姜，主要分布在剖面的中上部，它是分散的碳酸盐在硅酸、二氧化物、三氧化物、铁和锰等吸附性物质的表面与土壤胶结而成的。这种钙质结核出现的时间经 C¹⁴断代一般为距今 6 000 多年前，年轻的只有 2 000 多年（表 1）。

砂姜黑土地区一般地势平坦低洼，土壤排水不良，地下水位较高，离地面 1~ 2 m，在 30 m 深度范围内分布有连续的第四纪含水层，这些含水层又起着隔水层的作用，属 $\text{HCO}_3^{-}-\text{Ca}^{++}-\text{Mg}^{++}$ 型，这种含水层的存在是钙质结核层间隔分布的结果。此外，淮北平原年蒸发量（1 330~ 1 550 mm）远远大于年降水量（750~ 900 mm）。大气降水补给地下水后主要消耗于蒸发，而蒸发的形式则主要是地下水蒸发。加之，砂姜黑土钙质结核层位于地下水变动范围内，正是在这种干湿交替和地下水营力作用下的氧化环境中形成了钙质结核层。

全新世以后整个淮河流域特别是淮北平原成为一蝶形盆地，呈现大片湖沼草甸景观。河流携带大量泥沙淤积在这里，在海水入侵的作用下，形成了大面积河湖相沉积物的分布。喜湿性植物死后腐烂分解，积累了大量有机质，土粒吸附在暗色胶体腐殖质表面，使土壤带有黑色。随后，在氧化还原环境的成土作用下土壤经过发育呈现灰黑色或暗灰色，但有机质含量不高，这就是砂姜黑土所特有的黑土层标志。黑土层形成的年代与完全钙质结核形成的年代一致，距今 3 200~ 7 000 年（图 1）。

总之，砂姜黑土是在地质历史时期沉积作用的基础上，经成土作用发育而成的一种古老耕作土壤。土壤水分存在状态的变化是砂姜黑土形成的必备条件。

2 砂姜黑土的土壤特点

砂姜黑土土体构造不良，土壤物理性状差，养份含量底，其突出的特点是耕作层浅（一般仅 12 cm 左右），犁底层只有 15~ 20 cm，该土层除耕作层为粒状结构外，其余土层土体均呈棱柱状结构，容重较大。土壤的总孔隙度和通气孔隙度都很小，耕作层为 47% 和 8%，其余土层分别在 45% 和 2% 左右。在机械组成上，耕作层粘粒含量比犁底层和砂姜层低，平

表 1 淮北平原砂姜黑土年龄表

Tab. 1 The age of Shajiang soil in Huaibei plain

地 层	C ¹⁴ 年龄（年，距今）
黑土层	1 715 ± 65~ 1 825 ± 65
钙 雏形钙质结合层	2 000 ± 84~ 6 221 ± 203
质 完形钙质结合层	3 610 ± 220~ 4 865 ± 138
结	5 441 ± 203~ 6 892 ± 170
核	6 984 ± 76~ 14 250 ± 500
层	18 194 ± 382~ 27 851 ± 180

注：根据刘良梧资料整理。

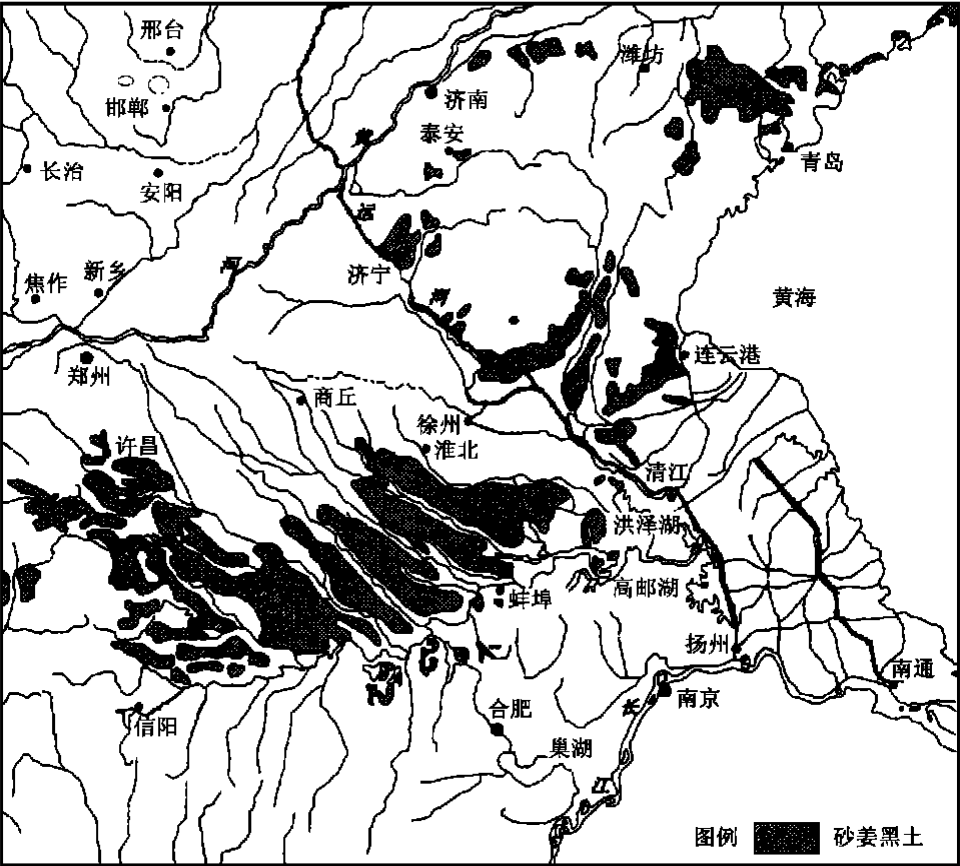


图 1 淮河流域砂姜黑土分布图

Fig. 1 Distribution of the Shajiang Soil in Huaihe plain

均为 22.95%，粉砂含量在 57% 以上^[4]。这种土体构造和物理性状，易造成干旱坚硬，遇水泥泞，耕作不良，作物适耕期短，只有 3~ 5 天。砂姜黑土的矿物组成以蒙脱为主。土体棱柱结构发达，耕层粉砂含量高，有机质含量底，吸热性强，蒸发量大。雨后易板结，旱时易断裂，从而切断了结构体单位之间毛管联系，地下水运行受阻，不能补给耕层，易产生干旱，湿时又由于土壤膨胀系数大，封闭孔隙，加上犁底层透水性弱，雨水难于下渗，同时整体地下水位又较高，遇水后很快土壤水分就达到饱和，而产生涝渍灾害。这种状况不仅影响作物生长，而且严重制约土壤中水肥气热的协调。

砂姜黑土土质的共同特点是粗粉粒（0.05~ 0.01 mm）的含量较高，粗粉粒含量高的土壤，若有机质含量偏低，则土壤易板结，蒸发大，保水保肥能力差，通气不良，对作物生长极为不利。

砂姜黑土质地粘重，结构差，垂直裂隙发育较多，胀缩性大。当降雨或灌水时，水沿裂隙下渗，同时土体吸水膨胀，旱时裂隙闭合，又限制水的下渗，地表积水易产生涝渍灾害。该土壤坚实僵硬，孔隙小，通透性差，土壤蓄水能力低，又易干裂跑墒，土体中仅存的有限水分蒸腾挥发。土壤中毛管水上升高度只有 0.8~ 1m。遇旱，裂缝增多加深，毛管

被切断。尽管淮北平原地下水埋较浅，因砂姜黑土的这种特性，作物难以吸收耕层以下土壤水分和地下水，极易形成干旱。

砂姜黑土土壤容重变化范围在 $1.12 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 之间，犁底层和心土层容重最高，一般均在 1.4 g/cm^3 以上，最大达 1.6 g/cm^3 ，而耕作层容重较小，最小的为 1.12 g/cm^3 ，最大的为 1.4 g/cm^3 。对于作物根系的生长而言以较小的土壤容重较为适宜，因其孔隙率较大，通气透水性好，土质疏松，有利于根系的伸展，能够吸收较多的养份，较适宜的范围 $1.1 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$ ^[12]（表 2）。

表 2 砂姜黑土水分物理特性表
Tab. 2 Physical characters of Shajiang soil

土层	质地	容重 /(g/cm ³)	干密度	总孔隙度/%			土壤水分(重量%)				田间持水量占 总孔隙率的百分数(容积%)
				总孔 隙率	通 气 孔隙率	凋 萎 含水量	自 然 含水量	田 间 持水量	有效 水分		
表 土 层	轻壤土	1.18~ 1.36	2.67~ 2.72	49~ 57	9~ 19	6~ 8	16~ 22	25~ 30	20~ 22	51~ 81	
	中壤土	1.18~ 1.40	2.68~ 2.72	48~ 50	8~ 24	8~ 9	15~ 25	24~ 32	16~ 23	51~ 89	
	重壤土	1.13~ 1.42	2.69~ 2.70	47~ 55	7~ 21	9~ 12	18~ 23	27~ 34	18~ 23	63~ 90	
犁 底 层	中壤土	1.51~ 1.59	2.69~ 2.71	41~ 44	5~ 8	8~ 9	19~ 23	22~ 28	14~ 19	61~ 92	
	重壤土	1.43~ 1.59	2.69~ 2.73	41~ 45	1~ 12	9~ 15	16~ 24	22~ 26	12	70~ 99	
心 土 层	重壤土	1.49~ 1.60	2.72~ 2.74	39~ 45	0~ 10	9~ 12	22~ 29	23~ 30	14~ 18	79~ 100	
	轻壤土	1.36~ 1.58	2.72~ 2.76	43~ 50	0~ 10	12~ 18	22~ 32	25~ 33	13~ 15	72~ 99	

注: 据安徽省水利厅资料整理。

砂姜黑土土壤耕作层孔隙度较大，多在 48% ~ 55% 之间，犁底层的孔隙度最小，多在 40% ~ 45% 之间，通气孔隙度小于 10%，大多在 5% ~ 2%^[12]，这说明砂姜黑土在发育过程中经历了粘粒沉淀和长期耕作作用。土壤孔隙度对调节土壤水分具有极为重要的作用，尤其在淮北平原缺乏地面蓄水条件的情况下，大部分降雨以地表径流的形式流失，如何通过加厚耕作层，提高土壤孔隙度，使降水能够部分蓄积在土壤中，以提高砂姜黑土的抗旱防渍能力是砂姜黑土地区农业增产所面临的主要问题。

3 砂姜黑土水土关系作用机理

3.1 易旱与土壤的关系

砂姜黑土的蓄水能力差，结构性差，耕层> 0.25 mm 的水稳性团聚体的比例只有 20%，耕作层以下在长期干湿交替作用的影响下形成稳定的棱性状结构，并覆有铁锰胶膜。由此不仅导致土壤孔隙度低，而且作为蓄存水分的持水孔隙也以微孔隙居多。此外，砂姜的大量存在，也影响了土壤的蓄水能力。孙怀文认为：砂姜黑土 1 米土层内能保持的最大水量为 350 mm，而其中能够供作物吸收的最大有效水分含量只有 150 mm。因此，遇到干旱季节，特别是作物耗水最大的季节，会产生水分的供不应求，导致旱灾^[5]。

砂姜黑土保水性能差。具体表现在两个方面: 一是土壤耕层和犁底层的质地粘重, 结构性差, 蒸发时水分以液态运行的含水量范围大, 整体性强, 从而加速了土壤水分的蒸发损失; 二是砂姜黑土富含膨胀粘土矿物 (蒙脱), 湿时膨胀, 旱时收缩开裂。从田间持水量开始, 随着土壤含水量的降低, 土体急剧收缩而产生大量裂缝, 一般宽度在 1~ 2 cm, 深度可达 50~ 60 cm, 造成水分直接从裂缝表面向大气扩散, 加快了耕作层以下土壤水分的蒸发损失。据试验, 耕作 15 cm, 从田间持水开始, 蒸发 5 天, 土壤水分损失 30%, 有效水分损失 52%; 蒸发 10 天, 土壤水分损失 41%, 有效水分损失达 73%; 蒸发 15 天, 土壤水分损失 53%, 有效水分损失 93%^[2]。上述结果表明, 砂姜黑土上部土层水分损失快, 若遇干旱, 土壤蒸发强, 而下部土层毛管性能差, 水分向上运行迟缓, 不能及时补充上部土层损失的水分, 导致作物受旱。

砂姜黑土不仅供水容量小而且供水强度较差。该土壤耕层以下毛管性能微弱, 导水性能差, 水分运动极为缓慢, 而且毛管水上升高度只有 0.8~ 1 m。若地下水埋深 0.6 时, 日平均潜水蒸发量在 0.5 mm 以上, 当地下水埋深 1 m 时, 日平均潜水蒸发量只 0.05~ 0.3 mm, 地下水位埋深 1.5 m 时, 日平均潜水蒸发量几乎为零^[6]。所以, 当砂姜黑土表层缺水时, 虽然地下水位还很高 (1.2~ 1.5 m), 毛管上升水跟不上土壤上层的蒸发损失, 从而出现干旱。即使在雨季涝渍之后, 如遇上一段无雨天气, 也会形成干旱 (表 3)。

表 3 砂姜黑土的孔隙性质

Tab. 3 Characters of the cracks in Shajiang soil

采样地点	土层深度 /cm	总孔隙度 /%	持水孔隙度 /%	通气孔隙度 /%	单独团聚体内 孔隙度/%	小于 0.003 微孔隙	
						%	占持水孔隙/%
固镇县 新马桥	0~ 20	51.00	41.40	9.69	38.16	21.56	52.05
	20~ 34	47.23	41.71	5.52	30.30	33.25	79.71
	34~ 54	44.12	40.98	3.14	31.03	32.94	80.38

注: 据安徽水利厅资料。

3.2 易涝易渍与土壤的关系

作物遭受涝 (渍) 危害是土壤通气不良的具体表现。一般认为, 旱作耕地的通气孔隙以占土壤体积的 15% 为宜, 小于 10% 就会产生水气矛盾。砂姜黑土的通气孔隙度较低, 除耕作层为 15% 左右外, 其余各层一般只有 5%^[7]。当土壤含水量接近田间持水量时, 就会影响气体的交换, 使农作物根部呼吸受阻。尤其在雨季 (6~ 9 月), 地下水位增高, 而蒸发作用减弱, 致使土壤上层的水分含量保持在田间持水量以上, 而且此时正是淮北地区的雨季, 降水集中, 加之该地区地势低平, 地下水位高, 很难及时排出土壤中过多的水分, 这对于通气性能不良的砂姜黑土来说更易产生涝渍。

砂姜黑土通气性能差, 田间持水时的空气容重, 除耕作层外, 一般不到 10%。加之地下水位较高, 尤其在雨季, 地下水位不足 1 m, 30~ 50cm 以下土壤湿度较高, 有效蓄水容重很小, 只要一般的降雨量就导致土壤含水量超过田间持水量, 以至土壤达到饱和而造成涝渍^[8] (表 4)。

表 4 砂姜黑土的水分状况 (mm)
Tab. 4 Water characters of Shajiang soil (mm)

土层深度 /cm	饱和持水量	田间持水量	自然含水量	田坚持水量与自然 含水量的差值	饱和持水量与自 然含水量的差值
0~ 15	75. 9	52. 8	40. 5	12. 3	35. 4
15~ 30	65. 9	63. 0	48. 2	14. 8	17. 7
30~ 42	54. 7	49. 2	45. 1	4. 1	9. 6
42~ 62	85. 8	79. 0	75. 4	3. 6	10. 4
62~ 80	75. 4	63. 9	58. 3	5. 6	17. 1
80~ 100	81. 0	74. 0	68. 8	5. 2	12. 2
合计	438. 7	381. 9	336. 3	45. 6	102. 4

注: 据安徽水利厅资料。

4 治理过程中的问题与对策

目前, 对于淮北平原砂姜黑土的治理已经取得了很明显的效果, 生态、经济、社会效益相当显著。与此同时, 随着治理的不断发展, 在应用技术、管理制度等方面的缺陷也暴露出来, 阻碍了地区农业的进一步改善。为了促进“二高一优”农业的发展, 我们必须在分析目前砂姜黑土治理存在的问题的基础上, 对治理手段方法进行改进完善。目前, 淮北平原砂姜黑土的治理主要存在的问题如下。

4. 1 砂姜黑土区生态不平衡

淮北平原砂姜黑土区经过多年的改造, 农作物复种指数由以前的低于 100 提高到现在的 170, 初步改善了生态环境, 但是这一地区的生态仍不够平衡, 主要表现在森林覆盖率很低, 水土资源的搭配不协调。全地区砂姜黑土的林业用地面积约 93. 2 km², 林木覆盖率只有 3. 5%, 远远低于全国平均水平。同时砂姜黑土的土壤特性决定了其保水持水能力差, 可利用的水资源量与需要开发的土地资源比例严重失调。要想改变这种局面, 必须实施水土资源优化配置的综合治理策略, 采取农林牧结合, 坚持水肥土并重, 通过建立排水系统达到改土的目的。

4. 2 有机肥供应不足及无机肥施用不当

增加土壤有机质的主要途径是发展林牧业生产, 增施有机肥料, 秸秆还田和种植绿肥掩青。当前的问题是: 依靠发展林牧业来增施有机肥料为数有限, 远水不解近渴, 农村能源缺乏, 秸秆还田尚有困难; 发展常规绿肥掩青, 要少收一季庄稼, 群众不易接受。同时在无机肥的施用过程中由于对于土壤特性, 特别是土壤的养分特点认识不足, 盲目用肥, 随意用量的现象时有发生。根据笔者的研究, 在砂姜黑土的地块中增施磷肥, 适量补施氮肥将有显著的增产效果, 氮磷配合使用则更能提高施肥的经济效益(表 5)。对于有机肥源的问题, 可以通过发展林业、牧业, 通过合理施用化肥, 增粮增草, 以无机促有机, 利用油菜掩青, 也可以收到较好的效果^[10]。

表 5 化肥增产的比较 (%)

Tab. 5 Compare of the increased production (%)

作物	氮肥	磷肥	氮磷肥	钾肥
大麦	36. 2	50. 3	95. 1	5. 2
大豆	5. 1	34. 3	40. 5	2. 9
花生	11. 5	22. 7	54. 3	—
玉米	39. 4	6. 6	48. 9	—

对于有机肥源的问题, 可以通过发展林业、牧业, 通过合理施用化肥, 增粮增草, 以无机促有机, 利用油菜掩青, 也可以收到较好的效果^[10]。

4.3 农田水利工程建设进展缓慢

目前整个淮北平原地区有效灌溉面积只有 $8\,995\text{ km}^2$, 不仅限制了水稻、玉米等高产作物的发展, 而且影响了其他粮食作物产量的提高。同时由于在水利工程建设过程中只强调骨干排水工程的建设, 忽视了配套工程的建设, 严重影响了水利工程抗旱排涝作用的发挥。因此, 今后工程建设的重点应该是配套工程的建设, 包括开挖中小沟河, 畅通排水出路, 尽快完善排水系统。通过建立河、沟、塘、井、渠、路、林、田合理布局系统, 全面配套农田水利、道路和林网体系, 早日摆脱旱涝威胁。

5 结论

砂姜黑土是黄淮海平原三大低产土壤之一, 有近 $2/3$ 分布于淮北平原。该土壤自动调节水分的能力差, 易旱, 易涝, 易渍, 并且常常是这三种灾害交替发生。这是由砂姜黑土的土壤特性决定的。

5.1 淮北平原旱灾频繁发生的土壤因素

这是由砂姜黑土的土壤条件决定的。砂姜黑土质地粘重, 结构差, 重直裂隙发育, 胀缩性大, 当降雨或灌溉时, 水沿裂隙下渗, 同时土体吸水膨胀, 裂隙闭合, 阻水下渗, 造成地表积水, 产生涝(渍)灾害。

5.2 淮北平原涝渍灾频繁发生的土壤因素

砂姜黑土土体坚实僵硬, 孔隙小, 通透性差, 使土壤蓄水能力弱, 易干裂跑墒, 如连续干旱, 土壤中积蓄的有限水分很快蒸发, 而土壤毛管水上升高度只有 $0.8\sim 1.0\text{ m}$, 裂缝增多加深, 毛管被切断, 虽然地下水埋深浅, 作物也难以吸收利用下层土壤水分和地下水, 极易受旱成灾。

5.3 治理的现状与问题

经过对砂姜黑土的几十年治理, 当地人民已经形成了一套丰富的技术和管理经验。但是由于投入的科技力量薄弱, 工程建设缺乏统一的规划指导, 所以目前砂姜黑土的改造出现了一系列的问题, 包括: 砂姜黑土区生态平衡失调, 农业发展中水土资源的配置不合理; 有机肥供应不足及无机肥施用不当; 农田水利工程建设进展缓慢且忽视了配套设施的建设。

参考文献:

- [1] 张义丰, 李良义, 钮仲勋 淮河环境与治理[M]. 北京: 测绘出版社, 1995
- [2] 安徽水利厅. 淮北地区中低产田综合治理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993
- [3] 《砂姜黑土综合治理研究》编委会 砂姜黑土综合治理研究[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1983
- [4] 张俊民 砂姜黑土的生产潜力和综合治理研究[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1983
- [5] 孙怀文 淮北砂姜黑土的水分物理性质与旱涝渍害的关系[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社(104- 112), 1983
- [6] 张俊民 江苏省的砂姜黑土资源及其利用[J]. 地理研究, 1991, 10(3).
- [7] 阎占元 河南海上淮北平原砂姜黑土综合开发研究[J]. 地域研究与开发, 1994, 13(2).
- [8] 孙怀文 砂姜黑土的水分特性及其与土壤易旱的关系[J]. 土壤学报, 1993, 30(4).
- [9] 许洪云, 刘守琴 山东省砂姜黑土地农业持续发展初析[J]. 中国人口资源、环境, 1994, 4(增刊).
- [10] 何传龙, 闫晓明, 殷雄 砂姜黑土土壤改良技术研究[J]. 土壤通报, 1997, 28(5).

Function Mechanism Between the Drought and Waterlogging Disaster and the Soil-structure of the Shajiang Soil in Huaibei Plain

ZHANG Yi-feng¹, WANG You-feng¹, LIU Lu-xiang²

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing, 100101 China;

2. Institute of Atomic Energy, CAAS, Beijing, 100094 China)

Abstract: Shajiang soil is one of the soils that have low yield in Huanghuaihai Plain. The two thirds of the Shajiang soil of the plain locate in Huaibei plain. This kind of soil has a low ability of accommodating water automatically. It is prone to drought, water logging and these calamities often arise alternatively. This kind of soil hinders the development of the agriculture largely and makes a great difficulty for the prevention and cure of the nature disaster. In order to excavate the production potential of this region and make a great development of the agriculture, this paper discusses the form and the progress of the Shajiang soil and the characteristic of the soil structure. After analyzing the environment of the region, this paper discourses upon the function mechanism between the drought and water logging calamity and the soil-structure of the Shajiang-soil in Huaihe River valley. At the end of the paper the authors suggest some reasonable measures for the reclamation of the low- and- media- low yielding land and the elimination of the calamity.

Key words: Huaibei plain; Shajiang Soil; Drought and water logging calamity