

# 施氮量对砂姜黑土玉米生长及水分利用效率的影响

杨永辉<sup>1,2</sup>,武继承<sup>1,2\*</sup>,梅雷<sup>3</sup>,杨先明<sup>4</sup>

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所,河南 郑州 450002; 2. 农业部作物高效用水原阳科学观测站,河南 原阳 453514; 3. 新蔡县农业局,河南 新蔡 463500; 4. 郑州锦荣生物科技有限公司,河南 郑州 450002)

**摘要:** 为探明氮肥不同用量条件下砂姜黑土玉米生长及水分利用的特征,采用田间试验,研究了不同用量氮肥对玉米不同生育期土壤水分、农艺性状、成产要素、产量及水分利用的影响。结果表明:施用氮肥提高了0~100 cm剖面土壤含水量,尤其是360 kg/hm<sup>2</sup>氮肥处理效果最佳。在玉米不同生育期,360 kg/hm<sup>2</sup>氮肥处理的植株叶片数、株高和茎粗均高于其他处理。在成熟期,随氮肥用量的增加,玉米地上部生物量表现为先下降后增加再下降再增加的趋势,各处理中以540 kg/hm<sup>2</sup>氮肥处理的生物量最大,较对照(不施氮肥)增加31.9%,而90 kg/hm<sup>2</sup>和360 kg/hm<sup>2</sup>处理显著低于对照。随着氮肥用量的增加,玉米产量和水分利用效率均表现为先增加后逐渐降低的趋势。各处理中以270 kg/hm<sup>2</sup>氮肥处理的产量最高,而水分利用效率以360 kg/hm<sup>2</sup>氮肥处理最高,但其与270 kg/hm<sup>2</sup>处理差异不显著。综上所述,从多因素考虑,270 kg/hm<sup>2</sup>为最佳氮肥用量。

**关键词:** 砂姜黑土; 氮肥; 玉米; 产量; 水分利用效率

**中图分类号:** S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)11-0055-05

## Effect of Amount of Nitrogen Fertilizer on Growth and Water Use of Maize under Shajiang Black Soil

YANG Yong-hui<sup>1,2</sup>, WU Ji-cheng<sup>1,2\*</sup>, MEI Lei<sup>3</sup>, YANG Xian-ming<sup>4</sup>

(1. Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Sciences, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. Yuanyang Experimental Station of Crop Water Use, Ministry of Agriculture, Yuanyang 453514, China; 3. Xincai Agriculture Bureau, Xincai 463500, China; 4. Zhengzhou Jinrong Bio-technology Co., Ltd, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In order to ascertain the effects of different application levels of nitrogen fertilizer on growth and water utilization of maize under Shajiang black soil, a field experiment was conducted to investigate the effect of different dosage of nitrogen fertilizer on soil moisture, maize agronomic characters, production elements, yield and water utilization. The results indicated that nitrogen fertilizer improved soil moisture content in the 0-100 cm deep soil, especially the treatment with 360 kg/ha nitrogen. And when the dosage of nitrogen fertilizer was 360 kg/ha, the maize leaf number, plant height, and stem diameter were significantly higher than other treatments at different maize growth period. With the increase of nitrogen fertilizer, the biomass increased first and then decreased, that of the treatment with 540 kg/ha nitrogen fertilizer was the largest, which increased by 31.9% compared with the CK, while the biomass of the treatment with 90 kg/ha and 360 kg/ha nitrogen fertilizer was significantly lower than the CK. What's more, maize yield and

收稿日期:2013-06-27

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203077)

作者简介:杨永辉(1978-),男,陕西西安人,助理研究员,博士,主要从事土壤生态与节水农业方面的研究。

E-mail: yangyongh@mails.gucas.ac.cn

\*通讯作者:武继承(1965-),男,河南通许人,研究员,博士,主要从事节水农业方面的研究。E-mail: wujc2065@126.com

water use efficiency increased first and then reduced gradually with the increase of nitrogen fertilizer. While the highest yield was founded in the treatment with 270 kg/ha nitrogen fertilizer, and the highest water use efficiency occurred in the treatment with 360 kg/ha compared with the other treatments, but which was no significant differences compared with the treatment with 270 kg/ha nitrogen fertilizer. It was concluded that the dosage of 270 kg nitrogen fertilizer per hectare is recommended according to the comprehensive factors.

**Key words:** Shajiang black soil; nitrogen fertilizer; maize; yield; water utilization efficiency

砂姜黑土是河南省面积较大、分布较广的一个土壤类型,是小麦、玉米的主要种植区,其耕地面积 332.71 万  $\text{hm}^2$ , 占全省耕地总面积的 37.14%<sup>[1]</sup>。而砂姜黑土土壤结构不良,耕层  $>0.25\text{ mm}$  的水稳性团聚体的比例只有 20%左右,耕作层以下在长期干湿交替作用的影响下形成稳定的棱柱状结构,并覆有铁锰胶膜,导致土壤孔隙度低,有机质分解缓慢,速效养分含量低,氮磷比例失调,严重缺磷缺锌,从而影响作物根系生长和对养分的吸收<sup>[2]</sup>,导致养分利用率降低,产量下降。同时,砂姜黑土蓄水、保水能力差,有效水含量低,遇到干旱季节,特别是作物耗水量最大的季节,会产生水分供不应求,导致旱灾<sup>[3]</sup>。而在夏季多雨季节,容易发生涝渍灾害等对作物生长不利<sup>[4]</sup>。故此,要实现砂姜黑土稳产、高产必须采用土壤改良<sup>[5]</sup>、合理施肥<sup>[6]</sup>、增施有机肥<sup>[7]</sup>、秸秆还田<sup>[8-9]</sup>等措施,以促进作物养分和水分利用率的提高。针对砂姜黑土不同养分配比的研究已屡见不鲜,但关于不同氮肥施用量下玉米水分利用特征报道并不多见。因此,针对沿淮砂姜黑土涝渍区的具体情况,研究了不同用量氮肥对玉米生长及水分利用效率的影响,旨在探明不同氮肥施用量条件下玉米对水分的利用特征,为该地区氮肥的合理施用提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

试验在河南省新蔡县涧头乡毛岗村杨油坊村民组杨公宇责任田里进行,海拔 35.3 m,属典型的大陆性季风型半湿润气候,年降水量 926.7 mm,其中 60%以上集中在夏季,年际变化大,地表径流丰枯年份非常悬殊,旱、涝、洪并存,灾害频繁。该地区地势低平且洼,呈微倾斜状态。其土壤类型为砂姜黑土,土壤容重为 1.55 g/kg,肥力均匀,耕层土壤有机质 14.2 g/kg、全氮 0.91 g/kg、水解氮 70.31 mg/kg、速效磷 26.8 mg/kg、速效钾 115.3 mg/kg。前茬作物为小麦。

### 1.2 试验设计

供试玉米品种为创玉 198。设置 7 个氮肥用量

处理,分别为 F1(对照):0  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、F2:90  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、F3:180  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、F4:270  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、F5:360  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、F6:450  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、F7:540  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,底施 1/3,小喇叭口期追施 2/3。重复 3 次,共 21 个小区。播种前底施氯化钾( $\text{K}_2\text{O}$  135  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )和每个处理氮肥总量的 1/3,其余 2/3 的氮肥于小喇叭口期追施。于 2012 年 6 月上旬播种。玉米生长期总降雨量为 535.7 mm。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 各生育期可见叶数、株高、茎粗、生物量及产量 于小喇叭口期统计玉米可见叶片数、株高、茎粗及生物量,每小区取代表性植株 5 株(每处理 15 株),计算玉米可见叶片数,用最小刻度为 1 mm 的直尺测定玉米株高和茎粗(第 1 片叶与第 2 片叶中间部位的茎周长)。生物量(每小区取 2 株)取地上部完整植株,带回室内,放入烘箱在 105  $^{\circ}\text{C}$  下杀青 0.5~2 h,75~80  $^{\circ}\text{C}$  恒温烘干至恒质量,用精确度为 0.01 g 的电子天平称质量。玉米收获时测定玉米成产要素,以每小区产量记产,折合成公顷产量。

1.3.2 土壤含水量测定 在田间 0~100 cm 土层,每 20 cm 取一个土样。将取得的土样装入铝盒带回室内,称质量,然后置于烘箱中,在 105  $^{\circ}\text{C}$  下烘干 12 h 称质量,计算土壤含水量。

1.3.3 水分利用效率 水分利用效率计算公式:水分利用效率 = 玉米籽粒产量/玉米全生育期耗水量(播种前 0~100 cm 土层土壤储水量 + 玉米生育期内降雨量 - 收获时 0~100 cm 土层土壤储水量)。

### 1.4 数据处理

试验结果均为 3 次重复的算术平均值,数据应用 DPS 软件处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮肥处理对砂姜黑土土壤含水量的影响

从图 1 可以看出,0~20 cm 土层土壤含水量大小表现为  $F5 > F6 > F2 > F3 > F4 > F7, F1$ 。20~40 cm 土层间仍以 F5 处理的含水量最高,其他氮肥处理的土壤含水量保持在 20%左右,而对照(F1)显著低于

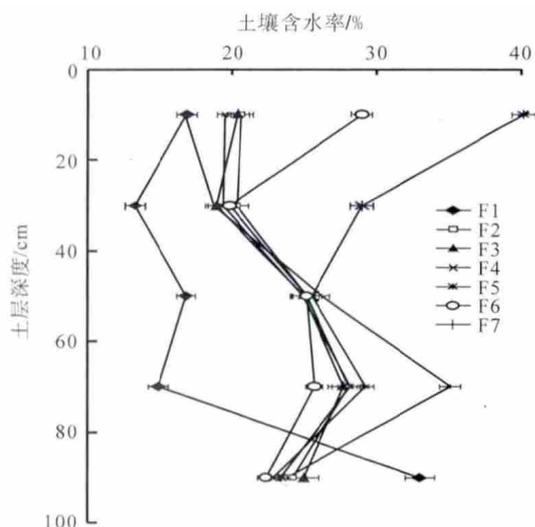


图 1 0~100 cm 土层土壤剖面含水量变化

氮肥处理( $P < 0.05$ )。而在 40~60 cm 土层, F7 处理的土壤含水量最高, 对照仍显著低于氮肥处理( $P < 0.05$ ), 而其他氮肥处理间差异不显著( $P > 0.05$ ), 土壤含水量在 25% 左右。在 60~80 cm 土层, 仍以 F7 处理的土壤含水量最高, 达 35% 左右, 而其他处理均小于 30%, 对照的土壤含水量为 15% 左右。80 cm 土层以下土壤水分均显著降低( $P < 0.05$ ), 但对照除外, 且其显著高于施用氮肥处理( $P < 0.05$ )。综上, 80 cm

以上土层的土壤含水量均以对照显著低于施用氮肥的处理( $P < 0.05$ )。而 0~100 cm 土层平均土壤含水量以 F5 处理显著高于其他处理( $P < 0.05$ ), 对照最低。说明, 施用氮肥提高了 0~100 cm 剖面土壤含水量, 且以 F5 处理的效果最佳。

2.2 不同氮肥处理对玉米生长发育的影响

从表 1 可以看出, 在小喇叭口期, 各处理的玉米叶片数差异不显著。株高以 F5 和 F2 处理最高, 其次为对照, 其他处理均较低, 且其处理间差异不显著。玉米茎粗除 F2 和 F5 处理大于对照外, 其他处理均小于对照。到大喇叭口期, F2 和 F5 处理的叶片数显著高于对照, 而其他处理均较对照低。株高以 F5、F2 和 F4 处理高于对照, 尤其是 F5 处理。而 F3、F6 和 F7 处理显著低于对照, 特别是 F7 处理, 其株高仅为 73.0 cm。茎粗表现为 F2 和 F5 处理显著高于其他处理, 而其他处理间差异不显著。成熟期各处理的叶片数差异不显著。该时期玉米的穗位高除 F2 和 F7 处理外, 其他处理均低于对照。株高以 F2 处理最高, 而以 F3、F6 和 F7 处理显著低于其他处理。但随氮肥用量的增加, 玉米茎粗表现为增加的趋势。

综上所述, 在玉米不同生育期, 氮肥用量较小 (F2) 和用量较适中时 (F5), 其叶片数、株高和茎粗均高于其他处理, 氮肥用量较大不利于玉米的生长。

表 1 不同氮肥处理对玉米生长发育的影响

生育期	项目	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
小喇叭口	叶片数/片	7.8a	8.0a	7.4a	7.4a	8.0a	8.0a	7.8a
	株高/cm	34.4b	36.0ab	32.0bc	30.0c	37.0a	29.0c	30.0c
	茎粗/cm	4.9ab	5.0a	4.3b	4.2b	5.2a	4.3b	4.6b
大喇叭口	叶片数/片	12.2c	13.0b	12.0c	11.0d	14.0a	12.0c	11.0d
	株高/cm	90.6b	92.0b	86.0c	91.0b	97.0a	85.0c	73.0d
	茎粗/cm	8.4b	9.6a	8.8b	8.4b	9.6a	8.8b	8.8b
成熟期(收获前)	叶片数/片	17.4a	17.0a	17.0a	17.0a	17.0a	17.0a	17.0a
	穗位高/cm	106.0ab	107.0a	99.0d	104.0bc	100.0cd	102.0c	110.0a
	株高/cm	250.0a	252.0a	241.0b	250.0a	249.0a	242.0b	248.0a
	茎粗/cm	7.2c	7.8b	7.6b	8.0ab	8.3a	8.4a	8.1ab

注: 同行不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

2.3 不同氮肥处理对玉米不同生育期生物量的影响

从表 2 可以看出, 在小喇叭口期, 随氮肥用量的增加, 玉米生物量表现为先增后降再增的趋势, 且以 F3 处理效果最明显。到大喇叭口期, 生物量表现为先降后增再降再增的趋势, 除 F2 处理外, 其他处理

的生物量均显著高于对照, 且以 F4 和 F3 处理显著高于其他处理。而到成熟期, 随氮肥用量的增加, 其生物量表现为先降后增再降再增的趋势, 各处理中以 F7 处理的生物量最大, 较对照增加 31.9%, 而 F2 和 F5 处理显著低于对照。

表 2 不同氮肥处理对玉米不同生育期生物量的影响

生育期	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
小喇叭口期	5.9d	6.4c	8.8a	7.8b	5.8d	8.3ab	8.2ab
大喇叭口期	57.7e	52.5f	82.2a	82.4a	63.0d	66.9cd	71.6bc
成熟期	308.6d	285.4e	390.3b	338.5c	295.2e	306.5d	407.0a

## 2.4 不同氮肥处理对玉米成产要素的影响

收获时对玉米进行考种所得结果如表 3。从表 3 可以看出,随氮肥用量的增加,玉米茎粗表现为增加的趋势。而玉米穗长则表现为先增后降再增再降的趋势,但均显著高于对照,且各处理中以 F2 处理的效果最佳,其次为 F6 处理。除 F4、F7 处理外,其他处理穗粗均较对照高,但处理间差异不显著。

各处理穗轴粗大小变化趋势与穗粗基本一致,但均高于对照。而穗行数随氮肥用量的增加表现为先增后降的趋势。行粒数以 F4 和 F6 处理的效果最佳,其他氮肥处理间差异不显著,但均显著高于对照。而穗粒数、百粒质量和穗粒质量均随氮肥用量的增加先增后降,且以 F4 处理的效果最佳。综上,氮肥用量为 270 kg/hm<sup>2</sup> 时效果最佳,为推荐氮肥用量。

表 3 不同氮肥处理对玉米成产要素的影响

成产要素	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
茎粗(周长)/cm	7.2c	7.8b	7.6bc	8.0ab	8.3a	8.4a	8.1ab
穗长/cm	14.0d	19.0a	16.0c	16.0c	17.0b	18.0a	17.0b
穗粗/cm	14.0b	15.0a	15.0a	13.0c	15.0a	15.0a	14.0b
穗轴粗/cm	8.6c	9.5a	9.3ab	8.9bc	9.0bc	9.7a	9.0bc
穗行数/行	13.0c	15.0a	15.0a	15.0a	13.0c	14.0b	14.0b
行粒数/粒	20.0d	29.0b	30.0b	36.0a	27.0c	35.0a	30.0b
穗粒数/粒	270.0g	313.0f	422.0d	546.0a	518.0b	477.0c	405.0e
百粒质量/g	30.8b	32.7a	33.8a	34.5a	34.3a	34.1a	33.3a
穗粒质量/g	83.0g	102.0f	143.0d	188.0a	178.0b	162.0c	135.0e

## 2.5 不同氮肥处理对玉米产量及水分利用效率的影响

从图 2 可以看出,随着氮肥用量的增加,玉米产量表现为先增加后逐渐降低的趋势。各处理中以处理 F4(270 kg/hm<sup>2</sup>) 的产量最高。氮肥用量和玉米产量之间存在二次曲线关系,其相关系数为 0.914 8,达极显著水平。说明 F4 为最佳氮肥用量。

而对于水分利用效率而言(图 2),随氮肥用量的增加水分利用效率仍表现为先增加后降低的趋势,且其变化趋势仍为二次曲线关系,其相关系数为 0.947 0,达极显著水平。各处理中以 F5(360 kg/hm<sup>2</sup>) 的水分利用效率最高,继续增加氮肥用量,其水分利用效率反而降低。从综合因素来看,F4 为最佳氮肥用量。

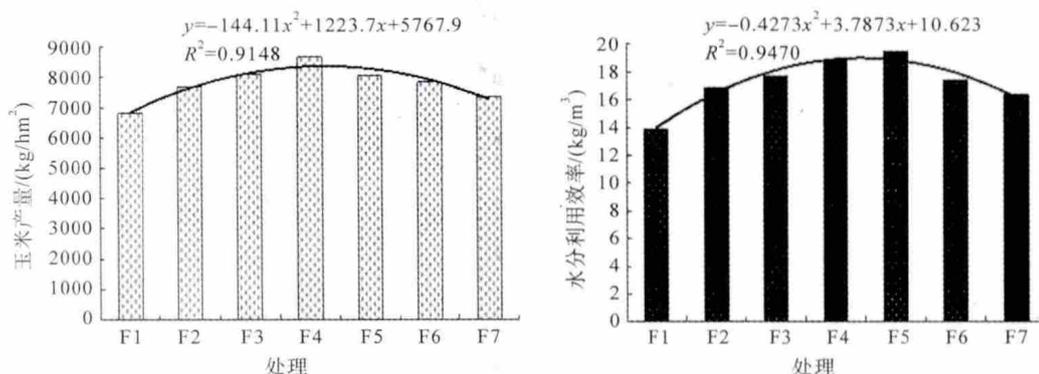


图 2 不同氮肥处理对玉米产量及水分利用效率的影响

## 2.6 玉米成产要素与产量和水分利用效率的相关性分析

对玉米成产要素与产量和水分利用效率进行相关性分析(表 4),结果表明:玉米成产要素中茎粗、穗行数和行粒数与玉米产量呈显著正相关,而穗粒数、百粒质量及穗粒质量与玉米产量呈极显著正相关,且

以百粒质量与其相关性最强,而与穗粗呈负相关关系,但不显著。玉米水分利用效率与行粒数和茎粗呈显著正相关,与穗粒数、百粒质量及穗粒质量呈极显著正相关,且仍以百粒质量的相关性最强,与穗粗相关性最低。说明,玉米产量和水分利用效率与籽粒质量相关性最强,其次为穗粒数,穗粗相关性最低。

表 4 成产要素与玉米产量和水分利用效率的相关系数

项目	茎粗	穗长	穗粗	轴粗	穗行数	行粒数	穗粒数	百粒质量	穗粒质量
产量	0.502 9*	0.279 4	-0.135 6	0.283 2	0.564 7*	0.782 7*	0.844 0**	0.886 7**	0.853 6**
水分利用效率	0.700 9*	0.419 6	0.100 9	0.300 6	0.289 3	0.646 3*	0.881 6**	0.932 8**	0.892 0**

注: \*、\*\* 分别表示相关性达显著 ( $P < 0.05$ )、极显著 ( $P < 0.01$ ) 水平。

### 3 结论与讨论

砂姜黑土土壤结构性差,导致土壤孔隙度低,通气透水性差,有机质分解缓慢,且速效养分含量低,影响作物吸收利用,最终影响作物生长和产量。氮肥分期施用会对土壤水分含量、玉米生长、产量及水分利用等产生重要影响。本研究发现,在玉米收获后,80 cm以上土层的土壤含水量以施用氮肥处理显著高于对照,且0~100 cm土层平均土壤含水量以F5处理( $360 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )显著高于其他处理,对照最低。说明,施用氮肥提高了0~100 cm土层剖面土壤含水量,且以F5处理的效果最佳。

不同用量氮肥也对玉米形态指标产生重要影响。在玉米不同生育期,氮肥用量较小( $90 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )或较适中( $360 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )时,玉米叶片数、株高和茎粗均高于其他处理,增加氮肥用量,则不利于玉米生长。随氮肥用量的增加,其生物量表现为先降后增再降再增加的趋势,各处理中以F7( $540 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )处理的生物量最大,较对照增加31.9%,而F2( $90 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )和F5( $360 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )处理显著低于对照。而玉米产量随氮肥用量的增加,表现为先增加后逐渐降低的趋势。各处理中以F4处理( $270 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )的产量最高。氮肥用量和玉米产量之间存在二次曲线关系,达极显著水平。说明 $270 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 为最佳氮肥用量。水分利用效率随氮肥用量的增加仍表现为先增后降的趋势,其变化趋势仍为二次曲线关系,且达极显著水平。各处理中以 $360 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 氮肥用量的水分利用效率最高,继续增加氮肥用量,其水分利用效率反而降低。从综合

因素考虑, $270 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 为最佳氮肥用量。

相关性分析表明,玉米的产量和水分利用效率与籽粒质量相关性最强,其次为穗粒数,穗粗相关性最低。因此,应做好玉米生长后期的田间管理,促进干物质向籽粒中的转运,以提高玉米产量。

#### 参考文献:

- [1] 国家统计局河南调查总队. 河南调查年鉴[M]. 郑州: 中国统计年鉴出版社, 2008.
- [2] 杨青华, 高尔明, 马新明. 干旱与渍涝对砂姜黑土玉米根系干重变化及其分布的影响[J]. 生态学杂志, 2000, 19(3): 28-31.
- [3] 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, 1983.
- [4] 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): 423-430.
- [5] 李道林, 何传龙, 闫晓明. 不同土壤调理剂在砂姜黑土上应用效果研究[J]. 土壤, 2000(4): 210-214.
- [6] 黄守琳, 程新德, 胡玉怡. 砂姜黑土区夏玉米水肥效应试验[J]. 安徽农业科学, 2000, 28(1): 89, 91.
- [7] 孔令聪, 曹承富, 汪芝寿, 等. 长期定位施肥对砂姜黑土肥力及生产力的影响研究[J]. 中国农业生态学报, 2004, 12(2): 102-104.
- [8] 詹其厚, 张效朴, 袁朝良. 秸秆还田改良砂姜黑土的效果及其机理研究[J]. 安徽农业大学学报, 2002, 29(1): 53-59.
- [9] 沈学善, 李金才, 屈会娟, 等. 砂姜黑土区秸秆还田对玉米生育及水分利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(2): 28-33.