

施氮和不同栽培模式对半湿润农田生态系统 冬小麦根系特征的影响

赵琳¹, 范亚宁¹, 李世清^{1,2}, 王全九²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 为了探讨半湿润农田生态系统施氮和栽培模式对冬小麦根系特征的影响,以冬小麦小偃 22 为供试品种进行大田试验,研究不同施氮水平(不施氮和施纯氮 120 kg/hm²)及不同栽培模式(常规栽培、地膜覆盖、垄沟栽培和垄播覆膜)对冬小麦根系特征的影响。结果表明,返青期至抽穗期小麦根干质量逐渐增加,至抽穗期达到高峰,此后逐渐下降;覆膜处理小麦根干质量降幅大,未覆膜处理小麦根干质量下降幅度小;从不同生育期看,不同栽培模式下施氮处理根干质量均高于不施氮处理。在返青期,常规栽培和地膜覆盖模式下,小麦单株根条数较多,而进入拔节期,常规栽培和垄沟栽培模式下单株根条数明显增多,到孕穗期,地膜覆盖模式下单株根条数增加幅度大,但进入抽穗期,垄沟栽培模式下单株根条数不断增加,而地膜覆盖和垄播覆膜栽培模式下单株根条数显著降低;不同栽培模式下,施氮处理平均单株根条数高于不施氮处理,施氮为 9.8,不施氮为 7.7。不同栽培模式之间小麦根冠比的差异达极显著水平($P < 0.01$),其中垄沟栽培模式下根冠比最大,为 0.491,地膜覆盖栽培模式下根冠比最低,为 0.432;在小麦整个生育期,不施氮处理的根冠比高于施氮处理,两者之间差异达极显著水平($P < 0.01$)。因此,在小麦生产中,选择栽培模式时应该重视氮肥的施用,以达到高产。

[关键词] 施氮;栽培模式;冬小麦;根系特征;农田生态系统

[中图分类号] S512.1⁺1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)11-0065-06

Effects of nitrogen fertilizer and planting modes on root characteristic of winter wheat in sub-humid farmland ecological system

ZHAO Lin¹, FAN Ya-ning¹, LI Shi-qing^{1,2}, WANG Quan-jiu²

(1 College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was carried out on the soil located in the south part of loess plateau soil with 632 mm precipitation and Xiaoyan No. 22 used as indicating crops to study the effects of nitrogen fertilizer (no nitrogen application and nitrogen application 120 kg/hm²) and planting modes (control-C, plastic sheet-mulching-PSM, ridge-furrow tillage-RFT and plastic sheet-mulching on ridge-PSMR) on root characteristic of winter wheat. The results showed, the root weight was gradually increased from reviving stage to booting stage, it reached maximum at booting stage, then it decreased with growth stages; root weight with nitrogen was higher than root weight without nitrogen used in different growth stages under different planting modes. C and PSM's root quantity per plant were more in reviving stage, C and RFT's root quantity

[收稿日期] 2006-10-26

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30571116, 30230230)

[作者简介] 赵琳(1978-),女,陕西西安人,硕士,主要从事植物营养及生理生态研究。现在陕西省环保局环境管理体系咨询中心工作。

[通讯作者] 李世清(1963-),男,甘肃秦安人,教授,博士生导师,主要从事土壤-植物氮素营养研究。E-mail: sqli@ms.iswc.ac.cn

per plant were increased significantly when entering booting stage, in booting stage, root quantity per plant of PSM had a remarkable increase, while root quantity per plant of RFT increased gradually when entering heading, and root quantity per plant of PSM and PSMR decreased in heading stage; root quantity with nitrogen was higher than no nitrogen used in different planting modes, being 9.8 and 7.7 separately. The ratio of root to ground were significantly different at 0.01 between different planting modes, the ratio of root to ground of RFT was largest, which was 0.491, and PSM's was lowest, which was 0.432; the ratio of root to shoot of nitrogen application was higher than no nitrogen application in the whole growth stages, and there was a remarkable relationship between nitrogen application and no nitrogen application ($P < 0.01$). Nitrogen application is a key fact when selecting planting modes in wheat producing.

Key words: nitrogen fertilizer; planting modes; winter wheat; root characteristic; farm-land ecosystem

作为小麦的重要器官,根系在小麦的生长发育、生理功能和物质代谢过程中发挥着重要作用。小麦生长发育过程和产量形成,在很大程度上取决于根系对深层土壤水分和养分的利用以及同化产物在根冠之间的分布^[1]。小麦高产不仅与根系大小有关,而且与根系功能或活力具有显著相关性。根系功能的强弱除受品种自身特性的影响外,还取决于其所处的土壤环境和栽培水平。在当前栽培条件下,限制小麦产量提高的一个关键因素是小麦根系功能受到抑制^[2-3]。由于大田生产中所采取的农艺栽培措施大都直接通过根系作用而发挥其效应,因此近年来,国际上已将根系研究作为进一步提高农作物生产力一个极具潜力的基础性科研课题,并在小麦根系的形态学、生态学等方面开展了不少研究工作,初步探明了小麦根系的发生、形态建成及其与地上部的关系,研究了土壤、肥水及其他一些农艺栽培措施对根系生长发育及其活力的影响^[4-7],但有关施肥和栽培模式交互作用对小麦根系特征影响的研究较

少。本研究以冬小麦小偃 22 为材料,在大田研究了 2 个施氮水平和 4 种不同栽培模式对小麦根系特征的影响,以期为半干旱农田生态系统小麦高产稳产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区基本概况

试验于 2003-10 ~ 2004-06 在西北农林科技大学土壤肥料试验站进行。该试验站位于黄土高原南部旱作区,为渭河三级阶地,海拔 520 m 左右,属于大陆性季风气候,冬小麦生育期大于 5 的积温为 1 000 ~ 1 300 ,年均降水量 632 mm,且分布不均,主要集中在 7 ~ 9 月份,年均气温 12.9 ,年蒸发量 1 400 mm,地下水深大于 60 m,属于半湿润易旱区。作物轮作方式主要为冬小麦 - 夏玉米。供试土壤为土垫旱耕人为土,其剖面层次大体可划分为耕层(0 ~ 20 cm)、粘化层(20 ~ 60 cm)和母质层(60 ~ 200 cm),其基本性质见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Properties of experimental soil in field experiment

土层深度/cm Layer	有机质/(g · kg ⁻¹) O. M.	全氮/(g · kg ⁻¹) Total N	有效磷/(mg · kg ⁻¹) Avail. P	NO ₃ ⁻ -N/ (mg · kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg · kg ⁻¹)	非交换态铵/ (mg · kg ⁻¹) Mineral fixed N
0 ~ 20	11.5	1.25	5.42	18.55	5.14	221.4
20 ~ 40	9.1	0.98	4.46	22.85	2.43	208.9
40 ~ 60	6.7	0.78	3.28	5.85	2.57	200.5
60 ~ 80	5.0	0.61	4.76	7.85	1.55	204.7
80 ~ 100	4.6	0.54	2.37	8.04	3.68	207.4

1.2 试验设计

试验设栽培方式和施肥 2 个因子,其中栽培方式设常规栽培(对照,CK)、地膜覆盖(Plastic sheet mulching,PSM)、垄沟栽培(Ridge furrow tillage,RFT)和垄播覆膜(Plastic sheet mulching on ridge,PSMR) 4 个水平;施肥设不施氮和施纯氮 120 kg/hm² 2 个水平,组成完全试验方案,共 8 个处理。

其中,常规栽培、地膜覆盖为穴播,行距 20 cm,株距 2 cm;垄沟栽培、垄播覆膜为穴播,垄宽 30 cm,沟宽 30 cm,沟内播种 2 行,垄上播种 1 行。

供试品种为小偃 22,小区面积 15 m² (4.6 m × 3.3 m),每处理重复 3 次。小区与小区间埂宽 20 cm;氮肥为尿素(含氮 46%),作为底肥一次施入,以过磷酸钙为底肥,施用量为 1 500 kg/hm²。2003-10-

21 播种,播种量 135 kg/hm²,2004-06-05 收获。田间管理同一般大田,整个生育期末进行灌溉。

1.3 小麦根系和地上部生物量的测定

分别于小麦返青期、拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期,测定 0~40 cm 土层根系生物量(对垄沟栽培和垄播覆膜栽培同时在垄和沟中测定根系生物量)。根系用内径为 8 cm 的根钻取样,每小区取 4 钻(常规栽培和地膜覆盖栽培在行中和行间各取 2 钻)或 8 钻(垄沟栽培和垄播覆膜栽培在沟和垄上行中和行间各取 2 钻),所取根样分装在尼龙网袋中,用清水漂洗,除去杂物和死根,统计每个尼龙网袋中漂洗干净的根条数,然后在 70℃ 烘干至恒重后称质量,由此确定单位面积根干质量;地上部生物量通过每小区在小麦播种行采集 2 部分(常规栽培和地膜覆盖栽培)或 6 部分(垄沟栽培和垄播覆膜栽培) 20 cm 长的生物量(在 70℃ 烘干至恒重后称质量)确定。根据单位面积地上部生物量和根干质量确定根冠比。

2 结果与分析

2.1 施氮和不同栽培模式对小麦根干质量的影响

由表 2 可以看出,在小麦返青期至抽穗期根干

质量逐渐增加,除常规栽培不施氮处理在灌浆期达高峰外,其他处理根干质量均在抽穗期达到高峰,之后逐渐下降,其中垄播覆膜和地膜覆盖模式下根干质量下降幅度大,其他 2 种栽培模式的下降幅度小。从不同生育期根干质量的平均值来看,除地膜覆盖施氮处理明显高于不施氮处理外,其他栽培模式下氮肥对根干质量影响不大。在生育前期(抽穗期前),除垄播覆膜外,其他 3 种栽培模式下施氮处理的小麦根干质量较不施氮处理高,进入灌浆期,常规栽培模式下不施氮处理的根干质量反而较施氮处理高,而其他栽培模式仍为施氮处理较不施氮处理高;从整个生育期看,不同栽培模式下施氮处理的根干质量均高于不施氮处理。

表 2 还表明,在小麦返青期,地膜栽培、垄沟栽培和垄播覆盖栽培模式的平均根干质量均明显大于常规栽培;拔节期以后,垄沟栽培模式的平均根干质量均高于常规栽培;除抽穗期和返青期外,垄播覆膜与地膜覆盖模式的平均根干质量均低于常规栽培。这可能与地膜覆盖和垄播覆盖栽培处理后期土壤温度过高,导致部分根系死亡有关;而垄沟栽培由于地上部同化强烈,输入到根系的同化产物较高,保证根系生物量一直维持在较高水平。

表 2 施氮和不同栽培模式对小麦根干质量的影响

Table 2 Dry weight of root in 0 - 40 cm layer in different growth stages

kg/hm²

栽培模式 Planting mode	施氮量/(kg·hm ⁻²) Nitrogen content	返青期 Reviving	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	平均 Average
常规栽培 CK	0	40.0	191.0	221.0	254.0	289.0	199.0
	120	47.0	218.0	269.0	293.0	259.0	217.2
	平均 Average	43.5	204.5	245.0	273.5	274.0	208.1
地膜覆盖 PSM	0	58.0	141.0	167.0	330.0	187.0	176.6
	120	90.0	217.0	294.0	372.0	307.0	256.0
	平均 Average	74.0	179.0	230.5	351.0	247.0	216.3
垄沟栽培 RFT	0	76.0	219.0	267.0	308.0	299.0	233.8
	120	84.0	228.0	281.0	367.0	306.0	253.2
	平均 Average	80.0	223.5	274.0	337.5	302.5	243.5
垄播覆膜 PSMR	0	44.0	209.0	266.0	287.0	224.0	206.0
	120	77.0	169.0	175.0	339.0	237.0	199.4
	平均 Average	60.5	189.0	220.5	313.0	230.5	202.7

2.2 施氮和不同栽培模式对小麦单株根条数的影响

不同栽培模式下,小麦单株根条数随生育期的变化见图 1。由图 1 可知,常规栽培、垄沟栽培和垄播覆膜栽培模式下,小麦单株根条数随着生育期的推进出现上升-下降-上升-下降的变化趋势;地膜覆盖栽培模式在返青期和拔节期基本持平,在孕穗期最大,之后随生育期的推进逐渐减小。

由图 1 还可知,不同栽培模式下,小麦单株根条

数变化差异较大。在返青期,常规栽培和地膜覆盖栽培模式下小麦单株根条数较多;进入拔节期,常规栽培和垄沟栽培模式下单株根条数明显增多;到孕穗期,地膜覆盖栽培模式下单株根条数增加幅度更大,这可能是由于在孕穗期地膜覆盖栽培模式有利于增加耕层土壤含水量和地温,从而极大地促进了小麦根系的发育,使小麦根条数增多;进入抽穗期,垄沟栽培模式下单株根条数继续增加,且高于常规栽培;在灌浆期垄沟栽培模式下单株根条数与常规

栽培接近;而地膜覆盖和垄播覆膜栽培模式下单株

根条数明显降低。

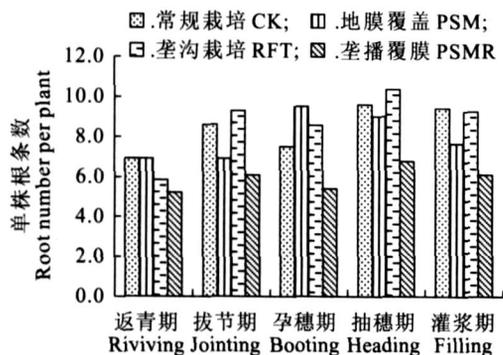


图 1 不同栽培模式对小麦各生育期单株根条数的影响
Fig. 1 Root number per plant of different planting modes

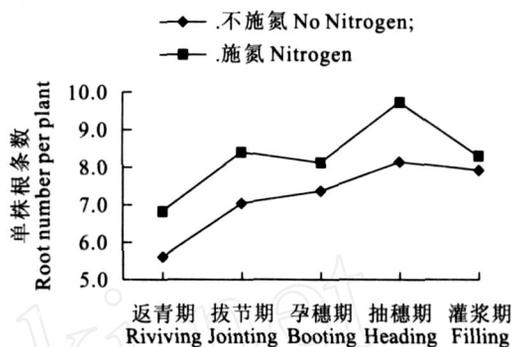


图 2 施氮对小麦各生育期单株根条数的影响
Fig. 2 Root number per plant of different nitrogen treatments

图 2 表明,在小麦整个生育期,施氮处理小麦单株根条数均较不施氮处理高,尤其在抽穗期,两者差异较大。从不同栽培模式下平均小麦单株根条数看,施氮处理为 9.8,不施氮为 7.7。进入灌浆期,施氮和不施氮处理的小麦单株根条数均降低,且趋于接近。

生育进程而变化,在诸多影响因子中,氮素具有明显促进作物地上部生长而降低根冠比的作用^[8]。

2.3 施氮和不同栽培模式对小麦根冠比的影响

图 3 表明,不同栽培模式下小麦根冠比差异很大,且栽培模式对根冠比的影响与生育期有关。在小麦生育前期(返青期到拔节期),随生育期推进,各栽培模式下小麦根冠比均逐渐增加,且在拔节期达到最大;从拔节期到孕穗期,各栽培模式下小麦根冠比明显下降,之后趋于稳定。

根冠比是反应植株干物质在地上和地下部分分配情况的指标,其受许多环境条件的影响,而且随作物

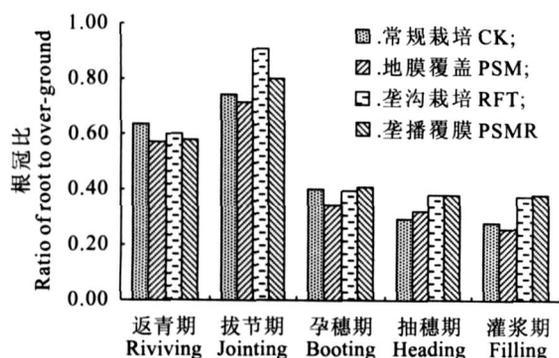


图 3 不同栽培模式对小麦各生育期根冠比的影响
Fig. 3 Ratio of root to over-ground of wheat in different planting modes

从表 3 可以看出,4 种栽培模式下小麦根冠比的差异达极显著水平 ($P < 0.01$),其中垄沟栽培模式下小麦根冠比最高,为 0.491,其次为垄播覆膜和常规栽培模式,地膜覆盖模式最低,为 0.432。

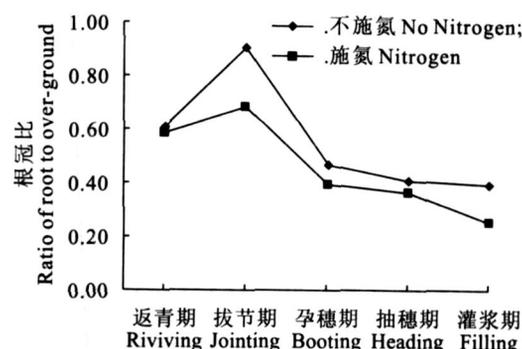


图 4 施氮对小麦各生育期根冠比的影响
Fig. 4 Ratio of root to over-ground of wheat of different nitrogen treatments

幅度较小。在小麦整个生育期,不施氮处理小麦根冠比均高于施氮处理,施氮时小麦根冠比平均为 0.45,不施氮时为 0.56,施氮使小麦根冠比下降 18%。

由图 4 可知,从返青期到拔节期,不施氮处理小麦根冠比的上升幅度明显大于施氮处理;拔节期以后,施氮与不施氮处理小麦根冠比均呈下降趋势;孕穗期以后,不施氮处理和施氮处理小麦根冠比下降

从表 4 可以看出,不同生育期小麦根冠比差异达极显著水平 ($P < 0.01$),在拔节期小麦根冠比最高,为 0.790,其次为返青期、孕穗期和抽穗期,灌浆期最低,为 0.263。进一步方差分析表明,不同生育

期、栽培模式和施肥处理小麦根冠比的差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 且它们之间的交互作用极为显著 ($P < 0.01$)。

表 3 不同栽培模式下小麦根冠比的方差分析结果 ($n = 36$)

Table 3 ANOVA result of ratio of root to overground of different planting modes ($n = 36$)

栽培模式 Plant modes	根冠比 Average
垄沟栽培 RFT	0.491 A
垄播覆膜 PSMR	0.476 B
常规栽培 CK	0.453 C
地膜覆盖 PSM	0.432 D

注: 同列不同大写字母表示差异达 1% 的显著水平。下同。

Note: The values in the same line with different letters show significant difference at 1% levels, below is same.

表 4 不同生育期小麦根冠比的方差分析结果 ($n = 20$)

Table 4 ANOVA result of ratio of root to overground of different growth stages ($n = 20$)

生育期 Growth stages	根冠比 Average
返青期 Riving stage	0.597 A
拔节期 Jointing stage	0.790 B
孕穗期 Booting stage	0.328 C
抽穗期 Heading stage	0.323 D
灌浆期 Filling stage	0.263 E

3 讨论

Ceterman^[9] 研究表明, 土壤 N、P 含量高时, 根系生长良好, 但较地上部生长缓慢, 因而降低根冠比; N、P 含量低时, 根系生长相对增加, 使养分吸收面积增加, 因而根冠比增大。作物在成熟时的根冠比为 0.1 左右^[10]。因此一般认为, 通过降低根系生物量来增加地上部生物量, 从而提高水分利用效率的空间相当小。研究表明, 在作物生长过程中, 根系不断地衰老、分解, 仅以成熟时根系的大小不能反映整个生育期内根系的生长总量; 同时, 生产单位质量根系所消耗的同化产物是地上部的 2 倍, 且干旱时的根冠比可达到 0.45 ~ 0.8^[11]。因此, 适当减少根系可使更多的光合产物转移到籽粒。但根系过小, 又会造成供水不足, 使植物体内水分供需失调, 对生长也不利。因此, 植物根冠之间存在着一种动态功能均衡关系, 即一个器官中物质的相对增加是受来自另一器官的供给控制的^[12]。

本研究结果表明, 在小麦整个生育期, 不施氮处理小麦根冠比均高于施氮处理。这表明施氮对植株地上部生物量的影响大于对根系的影响。施氮时小麦根冠比平均为 0.45, 不施氮时为 0.56, 施氮使小麦根冠比下降 18%, 两者之间差异达极显著水平 ($P < 0.01$); 不同栽培模式之间小麦根冠比差异达

极显著水平 ($P < 0.01$), 且栽培模式与施氮之间存在极显著的交互作用 ($P < 0.01$)。小麦整个生育期中拔节期的根冠比最高, 为 0.790, 此后随生育期推进, 根冠比逐渐减小, 灌浆期最低, 为 0.263。生育前期根冠比较大, 这主要是由于生育前期小麦地上部冠层较小, 而根系生长较旺盛, 致使根冠比较大; 而到生育后期, 由于地上部植株生长旺盛, 而根系开始衰亡, 从而使根冠比降低。

根系干物质量是衡量根系发达程度的又一指标。根的生长表现为质量和长度的增加, 对地上部生产和功能来说, 根质量比根数量更为重要。一般来说, 小麦根干质量的变化在生长前期呈指数曲线增长, 而在生长后期的变化规律目前说法不一^[13], 但总体上呈下降趋势。冬小麦由于越冬期生长缓慢, 其根系生物量的增长符合五次多项式方程, 表现为越冬前和越冬后至抽穗期两个增长高峰, 呈双 S 型曲线变化^[14-15]。其次, 根系性状与地上部性状之间存在良好的相关关系^[16-17], 而且根系干物质的积累与地上部干物质的积累存在正向协同关系。研究表明, 小麦生长前期和中期 (挑旗期), 根、冠的生长基本同步, 到拔节开花阶段, 处于营养生长和生殖生长的并进时期, 存在较长时间的剧烈竞争, 抑制了根系的生长发育, 表现为拔节期的根冠比最高, 之后随生育期延长而降低, 到拔节期后, 这种降低趋势减小^[12]。

一方面, 植物地下部与地上部在营养物质的需求上互相依赖、互相制约; 另一方面, 对环境胁迫又有着不同的响应和表现。随着抗性生理研究的不断深入, 人们越来越注重对作物根-冠相互关系和协调机制的研究, 以便从整体水平上阐明作物的抗旱机理, 提高水分利用效率, 达到增产的目的。

[参考文献]

- [1] 陈荣振, 冯国华. 徐州 22 号小麦品种的选育及高产稳产性分析[J]. 江苏农业科学, 1991, 10(1): 22-25.
- [2] 彭永欣, 封超年, 郭文善, 等. 小麦潜在源、库与产量关系研究[M]. 南京: 东南大学出版社, 1992: 1-21.
- [3] 王二明. 高产稳产小麦株型的研究[J]. 种子, 1997(4): 5-10.
- [4] 熊明彪, 胡恒, 田应兵, 等. 小麦生长期土壤养分与根系活力变化及其相关性研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 700-703.
- [5] 李絮花, 杨守祥, 于振文, 等. 有机肥对小麦根系生长及根系衰老进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 467-472.
- [6] 苗果园, 高志强, 张云亭, 等. 水肥对小麦根系整体影响及其与地上部相关的研究[J]. 作物学报, 2002, 28(4): 445-450.
- [7] 张国盛, 张仁陆. 水分胁迫下氮磷营养对小麦根系发育的影

- 响[J]. 甘肃农业大学学报, 2001, 36(2): 163-167.
- [8] 杨建昌, 朱庆森, 王志琴, 等. 亚种间杂交水稻光合特性及物质积累与运转的研究[J]. 作物学报, 1997, 23(1): 82-88.
- [9] Ceterman C J. Rate and duration of spike let initiation in 10 winter wheat cultivars[J]. Crop Sci, 1985, 12(2): 179-183.
- [10] 王长发, 张嵩午. 冷型小麦表观性状研究[J]. 西北农业学报, 2001, 10(1): 15-19.
- [11] Jordan H M, Sinclair W R. Imitation to efficient water use in crop production[J]. American Society of Agronomy, 1983, 22: 461-470.
- [12] 崔欢虎, 张松令, 张鸿杰. 半干旱地区冬小麦地膜覆盖穴播技术研究[J]. 山西农业科学, 1997, 25(1): 10-14.
- [13] Franklin P G, Pearce R B, Roger L M. Physiology of crop plants[M]. Ames, Iowa: State University Press, 1985: 201-241.
- [14] 李生秀, 李世清, 高亚军, 等. 施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(1): 38-46.
- [15] 山 仑, 陈培元. 旱地农业的生理生态基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-17.
- [16] 凌启鸿, 杨建昌. 水稻群体“粒叶比”与高产栽培途径的研究[J]. 中国农业科学, 1986, 19(3): 21-25.
- [17] 王同朝, 卫 丽, 吴克宁, 等. 旱农区水磷耦合效应对春小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 53-55.

(上接第 64 页)

- [19] 李富宽, 姜惠新. 秸秆覆盖的作用与机理[J]. 当代畜牧, 2003, 15(6): 38-40.
- [20] 刘三才. 我国小麦穗粒数及多粒种质的研究进展[J]. 麦类作物学报, 1995, 25(3): 41-43.
- [21] 卢 平. 日本农用薄膜的应用[J]. 世界农业, 1991(9): 17-18.
- [22] 王二明. 高产稳产小麦株型的研究[J]. 种子, 1997(4): 5-10.
- [23] 史志诚. 陕西省玉米小麦地膜覆盖栽培技术的应用与推广[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(6): 75-79.
- [24] 王 忠. 小麦穗的光合特性[J]. 植物学报, 1991, 33(4): 286-291.
- [25] 李 华, 王朝辉, 王西娜. 不同栽培模式对冬小麦产量形成及氮素吸收转运的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 369-374.
- [26] 李凤民, 鄢 殉, 王 俊, 等. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 330-333.
- [27] 赵镛京, 吴 萧. 川中丘陵区小麦不同覆盖栽培条件下土壤水分及增产效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 66-69.
- [28] 曹国番. 半干旱冷凉区微型种植方法、覆盖材料和补灌时期研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(2): 13-18.
- [29] 沈新磊, 黄思光, 王 俊, 等. 半干旱农田生态系统地膜覆盖模式和施氮对小麦产量和氮效率的效应[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(3): 1-14.
- [30] Li F M, Guo A H, Wei H. Effect of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Res, 1999, 63: 79-86.
- [31] Zaogo C G L, Wendt C W, Lascano R T, et al. Interactions of water, mulch and nitrogen on sorghum in Niger[J]. Plant and Soil, 1997, 197: 119-126.
- [32] 李凤民, 王 俊, 郭安红. 供水方式对根源信号与春小麦水分利用效率的影响[J]. 水利学报, 2000, 20(1): 510-513.
- [33] 黄义德, 张自立, 魏风珍. 水稻覆膜旱作的生理生态效应[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 305-308.
- [34] 梁银丽, 陈培元. 水分胁迫和氮素营养对小麦根苗生长及水分利用效率的效应[J]. 西北植物学报, 1995, 15(1): 21-25.