

施氮和不同栽培模式对半湿润农田生态系统 冬小麦库特征的影响

范亚宁¹, 赵琳^{1b}, 李世清^{1,2}, 王全九²

(1 西北农林科技大学 a 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, b 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库特征的影响,以冬小麦小偃 22 为供试品种进行大田试验,试验设施肥(不施氮和施纯氮 120 kg/hm²)和 4 种不同栽培模式(常规栽培、地膜覆盖、垄沟栽培和垄播覆膜),研究半湿润农田生态系统施氮和栽培模式对冬小麦库特征的影响。结果表明,栽培模式和施氮及其交互作用对小麦穗数有极显著影响($P < 0.01$),4 种栽培模式中,垄播覆膜模式穗数最多,其次为地膜覆盖,垄沟栽培模式最少;不同栽培模式间穗粒数差异显著($P < 0.05$),而施氮、栽培模式与施氮之间的交互作用对穗粒数影响不显著,4 种栽培模式中,地膜覆盖模式穗粒数最多,垄沟栽培最少;栽培模式、栽培模式与施氮之间的交互作用对小麦千粒重的影响不显著,而施氮对千粒重的影响达到极显著水平($P < 0.01$),4 种栽培模式中,垄播覆膜模式千粒重最大,常规栽培最小,但差异不显著;施氮有助于提高小麦收获指数,4 种栽培模式中,地膜覆盖模式收获指数最高,常规栽培最小;施氮和栽培模式对小麦产量均有极显著影响($P < 0.01$),栽培模式与施氮之间的交互作用对小麦产量的影响显著,垄播覆膜模式的小麦产量最高,常规栽培最小,与常规栽培模式相比,垄播覆膜、垄沟栽培和地膜覆盖模式的小麦产量分别增加 27%、20% 和 9%。综合分析认为,在施氮条件下垄沟覆膜为最优种植模式,这对农业生产中合理选择小麦种植模式以达到高产具有借鉴作用。

[关键词] 施氮;栽培模式;冬小麦;库特征;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)11-0060-05

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

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

(1 a State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, b College of Resources and Environment,

Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation,

Chinese Academy of Science 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 sink characteristic of winter wheat. The results showed nitrogen fertilizer and planting modes affected spike quantity significantly, PSMR's spike quantity was the largest and RFT was the lowest. Difference of kernel quantity

[收稿日期] 2006-10-26

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30571116, 30230230);西北农林科技大学创新团队项目;国家重点基础研究发展计划项目(2005CB121103)

[作者简介] 范亚宁(1979-),女,陕西扶风人,在读博士,主要从事植物营养及其生理生态研究。E-mail: ynf2411@126.com

[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 spike among plant modes reached at 0.05. Kernel quantity per spike of PSM was the largest, while RFT's was the lowest. Nitrogen fertilizer could significantly affect 1 000 kernel dry weight. Nitrogen fertilizer and plant modes could significantly affect grain yield, and grain yield's sequence from large to small was PSMR, RFT, PSM and C, which individually increased by 27%, 20% and 9% compared with CK. Nitrogen also could affect the HI (harvest index) significantly. Among four different planting modes, the HI of PSM was the largest and C's was the lowest.

Key words: nitrogen fertilizer; planting modes; farmland ecological system; winter wheat; sink characteristic

源与库是相互依赖又相互制约的统一体,源库关系协调发展是小麦高产的基础,足够大的源和充实度较高的库,是小麦高产的必要条件^[1]。肖世和等^[2]研究认为,所谓源库协调,不应单纯用源或库的大小或活性来比较,更重要的是在整个植株发育方面的协调性。小麦高产的关键是如何挖掘潜力,协调好源库的相互关系,使穗数、穗粒数和粒重三者乘积达到最大^[3-4]。有关产量结构三因素关系的研究较多^[5-8],但结果不尽一致,这可能与试验选材或生态地区差异有关。目前,有关施氮水平和栽培模式对源的同化能力、库容大小和产量影响的研究还较少。本试验以冬小麦小偃 22 为供试品种进行大田试验,研究 2 个施氮水平和 4 种栽培模式对冬小麦库特征的影响,以期小麦高产稳产提供重要的理论依据。

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,冬春易旱,年均气温 12.9,年蒸发量 1 400 mm,地下水深大于 60 m,属于半湿润易旱地区。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),其基本理化性质见表 1。试验地前茬休闲。

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

试验设栽培模式和施肥 2 个因子,其中栽培模式设常规栽培(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 个处理,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,株距 2 cm。

供试小麦品种为小偃 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,整个生育期未进行灌溉。

1.3 测定项目

小麦成熟后除去保护行,收获已划定的收获区,考种,统计不同处理的穗数、穗粒数、千粒重和小区产量,然后根据种植面积及收获区面积换算为每 hm² 产量,并计算收获指数。

2 结果与分析

2.1 施氮和不同栽培模式对小麦产量构成因素的影响

2.1.1 对穗数的影响 在产量构成因素中,穗数具有自动调节能力,对产量补偿力最强。对穗数进行

方差分析,结果(表 2)表明,不同栽培模式间穗数存在极显著差异($P < 0.01$),施氮对穗数也有极显著影响($P < 0.01$),栽培模式与施氮间存在极显著的交互作用($P < 0.01$)。这可能是由于施氮增加了小麦群体和个体的有效分蘖数。

表 2 施氮和栽培模式对小麦穗数的交互作用

Table 2 Effects of interaction between nitrogen and planting modes on ear number

变异来源 Source	自由度 DF	平方和 SS	均方 S^2	F 值 F value	概率值 $P_r > F$
栽培模式(A) Planting modes	3	31 961.458 3	10 653.819	24.03 **	<0.000 1
施氮(B) Nitrogen application	1	140 607.041 7	140 607.04	317.13 **	<0.000 1
A × B	3	8 058.125	2 686.041 7	6.06 **	0.007 3
重复 Repeat	2	1 540.75	770.375	1.74	0.211 8

表 3 表明,垄播覆膜模式的穗数最多,为 424.00 万/hm²,较常规栽培模式增加 20%,极显著高于其他 3 种栽培模式;其次为地膜覆盖模式,为 387.83 万/hm²,较常规栽培模式增加 13.3%,极显著低于垄播覆膜模式,而极显著高于常规栽培和垄沟栽培

模式;常规栽培和垄沟栽培模式穗数均较少,分别为 342.17 和 333.5 万/hm²,两者差异不显著。显然,垄播覆膜模式最有利于增加穗数,其次为地膜覆盖模式,这也与这两种栽培模式有利于增加有效分蘖数有关。

表 3 不同栽培模式之间穗数、穗粒数、千粒重和产量的方差分析结果($n = 6$)

Table 3 ANOVA result of ear number, kernel number, thousand-grain weight and wheat yield of different planting modes ($n = 6$)

栽培模式 Planting modes	穗数/(万·hm ⁻²) Average spike number	穗粒数 Kernel number	千粒重/g Thousand-grain weight	产量/(kg·hm ⁻²) Wheat yield
垄播覆膜 Plastic sheet mulching on ridge	424.00 A	48.69A	41.23A	7841.5A
地膜覆盖 Plastic sheet mulching	387.83 B	49.79 A	41.13 A	6216.0 C
常规栽培 CK	342.17 C	48.54 A	40.46 A	5700.5 D
垄沟栽培 Ridge furrow tillage	333.50 C	45.48 B	40.69 A	7155.0 B

注:不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。

Note: Different capital letters indicate greatly significant difference ($P < 0.01$).

2.1.2 对穗粒数的影响 穗粒数是小麦产量的一个限制因子,不同环境条件下小麦产量间的差异主要是由穗粒数不同所致^[9]。因此,穗粒数是影响小麦产量极为重要的因素^[1,10-11]。对穗粒数进行方差

分析,结果(表 4)表明,不同栽培模式间穗粒数存在显著差异($P < 0.05$),而施氮对穗粒数的作用效果不显著,栽培模式与施氮之间的交互作用也不显著。

表 4 施氮和栽培模式对小麦穗粒数的交互作用

Table 4 Effects of interaction between nitrogen and planting modes on grain number per ear

变异来源 Source	自由度 DF	平方和 SS	均方 S^2	F 值 F value	概率值 $P_r > F$
栽培模式(A) Planting modes	3	61.637 578 13	20.545 859 4	5.27 *	0.012 2
施氮(B) Nitrogen application	1	14.145 026 04	14.145 026	3.63	0.077 6
A × B	3	6.582 994 79	2.194 331 6	0.56	0.648 5
重复 Repeat	2	1.736 927 08	0.868 463 54	0.22	0.803 1

不同栽培模式之间穗粒数的新复极差分析结果表明(表 3),地膜覆盖、垄播覆膜和常规栽培模式的穗粒数分别为 49.79,48.69 和 48.54,三者之间差异不显著,但均极显著高于垄沟栽培模式($P < 0.01$),垄沟栽培模式最少,为 45.48。说明栽培模

式对穗粒数有明显影响,但垄沟栽培模式穗粒数最少的原因还有待于进一步研究。

2.1.3 对千粒重的影响 小麦的穗粒数和千粒重可以综合成一个因素——穗粒重,在高产条件下,穗粒重对小麦产量的进一步提高起主导作用^[12]。表 5

结果表明,施氮对千粒重的作用达到极显著水平 ($P < 0.01$),栽培模式对千粒重的作用效果不显著,栽培模式与施氮间的交互作用也不显著。

表 5 施氮和栽培模式对小麦千粒重的交互作用

Table 5 Effects of interaction between nitrogen and planting modes on 1000 kernel dry weight

变异来源 Source	自由度 DF	平方和 SS	均方 S ²	F 值 F value	概率值 P _r > F
栽培模式(A) Planting modes	3	2.37	0.79	1.48	0.263 9
施氮(B) Nitrogen application	1	22.65	22.65	42.20 **	<0.000 1
A × B	3	0.38	0.12	0.24	0.868 4
重复 Repeat	2	2.11	1.05	1.96	0.177 2

表 3 结果表明,不同栽培模式下千粒重的差异不显著;从垄播覆膜、地膜覆盖、垄沟栽培到常规栽培模式,小麦千粒重呈下降趋势。垄播覆膜模式的千粒重较常规栽培增加 2%。

2.2 施氮和不同栽培模式对小麦收获指数的影响

不同栽培模式对小麦收获指数的影响如图 1 所

示。从图 1 可以看出,地膜覆盖、垄播覆膜、垄沟栽培和常规栽培模式下小麦的收获指数分别为 0.550, 0.549, 0.520 和 0.505。从图 2 可以看出,施氮对小麦收获指数也有明显影响,施氮处理小麦收获指数为 0.560,较不施氮处理提高 10%。

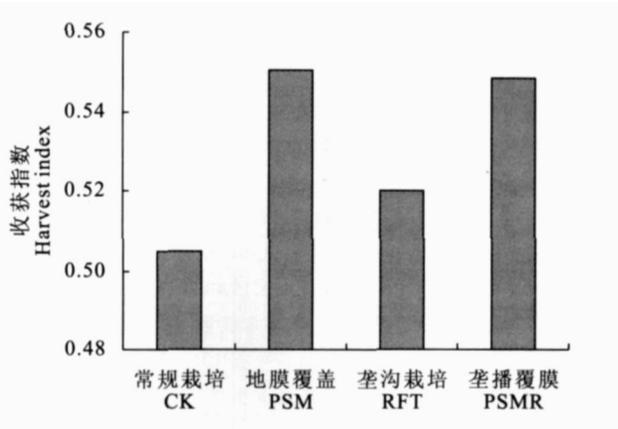


图 1 不同栽培模式下小麦的收获指数

Fig. 1 HI (harvest index) of different planting modes

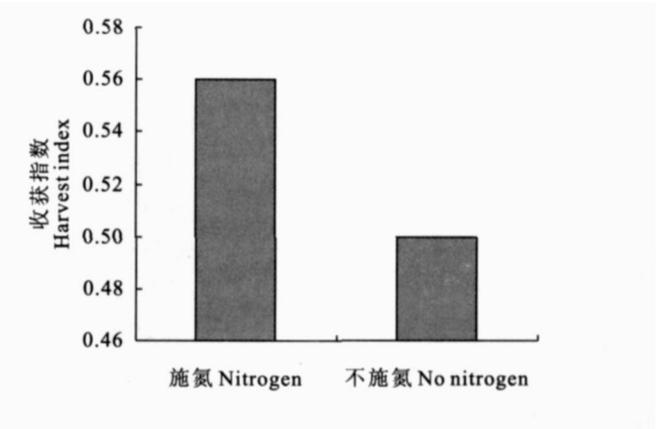


图 2 不同施氮处理小麦的收获指数

Fig. 2 HI (harvest index) of different nitrogen treatments
施氮间的交互作用对小麦产量有显著影响 ($P < 0.05$)。

2.3 施氮和不同栽培模式对小麦产量的影响

方差分析结果(表 6)表明,施氮和栽培模式对小麦产量均有极显著影响 ($P < 0.01$),栽培模式与

表 6 施氮和栽培模式对小麦产量的交互作用

Table 6 Effects of interaction between nitrogen and planting modes on the yield of winter wheat

变异来源 Source	自由度 DF	平方和 SS	均方 S ²	F 值 F value	概率值 P _r > F
栽培模式(A) Planting modes	3	16 440 667.50	5 480 222.5	58.67 **	<0.000 1
施氮(B) Nitrogen use	1	12 737 094	12 737 094	136.36 **	<0.000 1
A × B	3	1 372 221	457 407	4.9 *	0.015 7
重复 Repeat	2	433 449.75	216 724.88	2.32	0.134 8

表 3 表明,4 种栽培模式下小麦产量的差异均达极显著水平 ($P < 0.01$)。不同栽培模式中,以垄播覆膜模式产量最高,为 7 841.5 kg/hm²,其次为垄沟栽培模式,产量为 7 155.0 kg/hm²,常规栽培模式最低,为 5 700.5 kg/hm²;与常规栽培模式相比,垄播覆膜、垄沟栽培、地膜覆盖的产量分别增加 27%, 20%和 9%。因此,从产量角度考虑,在本试验条件

下垄播覆膜模式是最优的栽培方式。

3 讨论

库依赖于源而生存,库内接纳同化物质的多少直接受源同化效率及输出数量的影响。因此,通过影响源可以间接影响库容的大小。一些研究表明^[13-15],库不仅是贮藏和消耗养料的器官,而且对源

的大小,特别是对源的光合活性具有明显的反馈作用。生物产量是小麦一生中积累同化产物的总量,表示源的生产潜力;籽粒库容限定了籽粒贮存同化物即经济产量的多少,收获指数是经济产量与生物产量之比,标志着同化产物向籽粒分配的效率,在一定程度上可表示流的畅通性,也反映了源的生理效能^[16]。

作物产量构成三因素(群体穗数、穗粒数和千粒重)间的协调发展对实现高产有较大的促进作用。晋威凯^[5]研究认为,作物产量构成三因素之间相关的总趋势是:穗粒数与千粒重呈负相关,而群体穗数与穗粒数也呈负相关。Wilson^[17]也指出,各种作物的产量构成因素不是孤立的,而是彼此之间存在负相关关系。刘碧贵^[18]提出,作物产量构成三因素对产量而言,其中某一因素提高,则伴随其他因素下降。但也有人提出,只有超过一定范围时,穗粒数和千粒重才有相反关系^[8]。栽培模式不同导致土壤水、热、养分等状况不同,从而影响冬小麦分蘖、成穗、生物量及籽粒产量的形成^[19]。本研究中不同栽培模式下,垄播覆膜模式下穗数最多,而垄沟栽培最少;地膜覆盖模式下穗粒数最多,而垄沟栽培最少;垄播覆膜模式下千粒重最大,而常规栽培最小。

关于源、库之间的关系,研究最多的是收获指数^[20-21]。对于进一步提高小麦单位面积产量究竟是提高收获指数还是增加生物产量,研究结果不尽一致,基于收获指数与籽粒产量呈显著正相关^[12],众多学者都主张将收获指数作为产量潜力的选择指标^[22-23]。然而,也有不少学者认为,现代高产品种 40%~45%的收获指数已接近极限,进一步提高难度较大^[24],单位面积产量的提高也依靠生物产量的提高。李华等^[25]研究表明,5种栽培模式下小麦籽粒产量的大小顺序为覆膜>常规>垄沟>补灌>覆草。本试验中,地膜覆盖模式的收获指数最高,其次为垄播覆膜,常规栽培最小;垄播覆膜模式的产量最高,其次为垄沟栽培和地膜覆盖,常规栽培最低。但也有试验发现,地膜覆盖、秸秆覆盖在有些情况下并不增产,甚至还会导致减产^[26-28]。沈新磊等^[29]研究表明,覆膜后小麦前期生长旺盛,导致提前并大量利用底墒,从而使生长中后期土壤供水不足,这种情况加剧了“卡脖子旱”的严重性,从而导致产量下降。也有研究表明,对地膜覆盖特别是连续覆盖,有时因土壤水分和养分过分耗竭,后期会出现严重脱水、脱肥现象^[30-31],导致产量下降^[32-33]。植物总干物质的累积是作物产量形成的基础,而肥力状况是影响干

物质生产最主要的因子。梁银丽等^[34]研究发现,土壤缺乏氮素时,根系所吸收的氮素营养减少,影响根系及地上部茎、叶、穗、粒等器官的形成而最终影响作物产量。本研究结果表明,施氮对小麦穗数、千粒重和产量的影响均达极显著水平。氮素是农业生产中必不可少的增产要素,栽培模式的选择也是一个重要的增产手段。进一步深入研究这些问题,揭示不同栽培模式下氮肥对冬小麦个体与群体生态特征调控的差异,具有十分重要的理论和实践意义。

[参考文献]

- [1] 高松洁,王文静,陈时良.不同源库型小麦品种生理特点及其与粒重的关系[J].华北农学报,2000,15(10):17-21.
- [2] 肖世和,陈孝,吴苏.小麦开花后生物产量及其组分的动态分析[J].作物学报,1995,21(2):155-160.
- [3] 万云静,张雷.小麦稀植栽培研究进展[J].黑龙江农业科学,2003(1):32-34.
- [4] 周印富,李彦生,王问颇.高产小麦基本苗数与个体主要性状间关系的研究[J].河南职业技术学院学报,2000,14(2):27-30.
- [5] 晋威凯.不同小麦品种源库状况的初步研究[J].西北农业大学学报,1988,16(2):39-44.
- [6] Siddique K H M, Belford R K, Tennant D. Root-shoot ratio of old and modern, tall and semi dwarf wheat in Mediterranean environment[J]. Plant and Soil, 1990, 121: 89-98.
- [7] 赵全志,高尔明,黄丕生,等.源库质量与作物超高产栽培与育种[J].河南农业大学学报,1999,33(3):226-230.
- [8] 王思远.不同施肥处理对春小麦穗粒数的影响[J].吉林农业大学学报,1989(3):1-5.
- [9] 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.
- [10] 董树亭.高产冬小麦群体光合能力与产量关系的研究[J].作物学报,1991,17(6):686-691.
- [11] 段俊,梁承邨,黄文.杂交水稻开花与结实期间叶片衰老[J].植物生理学报,1997,23(2):139-144.
- [12] 郭天财.河南省及黄淮区小麦品种产量性状的初步分析[J].河南农业大学学报,1994,28(增刊):37-42.
- [13] 徐风.小麦品种库源生态规律的研究——我国小麦高产育种若干问题的探讨[J].安徽农学院学报,1985(1):1-2.
- [14] 王振林,尹燕桦.小麦源库比与产量形成期同化物分配及结实性的关系[J].山东农业大学学报,1995,26(2):144-149.
- [15] Evans J T. Crop physiology[M]. England: Cambridge University Press, 1975: 1-127.
- [16] 孟繁静.植物生理生化[M].北京:中国农业出版社,1999: 1-231.
- [17] Wilson J W. Control of crop process in controlled environments[M]. New York: Academic Press, 1972: 1-214.
- [18] 刘碧贵.穗重型小麦品种选育及粒重遗传分析[J].麦类作物学报,1994,24(2):33-34.

(下转第 70 页)

- 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.