植物营养与肥料学报 2013,19(5):1065-1072
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2013.0505

不同揭膜时期和施氮量对陕西关中地区夏玉米生理生长、产量及水分利用效率的影响

蒋耿民, 李援农*, 周 乾
(西北农林科技大学,旱区农业水土工程教育部重点实验室,陕西杨凌 712100)

摘要: 为了探明陕西省关中地区覆膜玉米生理生长、产量及水分利用效率同步提高的最佳揭膜时期和施氮量,制定合理的栽培措施,本试验以关中地区覆膜夏玉米为研究对象,设置3个揭膜时期(拔节~抽雄期揭膜、抽雄期揭膜、全生育期覆膜)和3个施氮量(N 0、120、240 kg/hm^2),研究了揭膜和氮肥互作对玉米生理生长、产量和水分利用效率的影响。结果表明,揭膜和施氮量均显著影响玉米生理生长、产量和水分利用效率,但两者的互作效应不显著。在3个施氮水平下,与全生育期覆膜处理相比,抽雄期揭膜可通过改善根际土壤气热条件,提高根系活力,从而增加夏玉米株高、叶面积和地上部干物质量,提高了叶片净光合速率,降低了叶片丙二醛含量,获得较优的穗部性状和较高的籽粒产量及水分利用效率,而拔节~抽雄期揭膜处理与全生育期覆膜处理之间无明显差异。当揭膜时期相同时,施氮处理的夏玉米生理生长、产量及水分利用效率等指标均优于不施氮处理,而高氮和低氮处理间无显著差异,但随着施氮量的增加,叶片净光合速率、籽粒产量和水分利用效率呈现减少趋势,叶片丙二醛含量呈现增加趋势。综合考虑产量、水氮高效利用、环境等综合效应,在本试验条件下,陕西关中地区覆膜玉米的适宜揭膜时期为抽雄期、适宜的施氮量为N120 kg/hm^2,其籽粒产量和水分利用效率分别为11362 kg/hm^{2}和34 kg/(hm^2·mm)。

关键词: 揭膜时期; 施氮量; 生长; 产量; 水分利用效率; 夏玉米
中图分类号: S513.062; S345 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)05-1065-08

Effects of different uncovering plastic film periods and nitrogen rates on physiology, growth, yield and water use efficiency of summer maize in Guanzhong Region, Shaanxi Province

JIANG Geng-min, LI Yuan-nong*, ZHOU Qian
(*Key Laboratory for Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Area, Ministry of Education/ Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: Field experiments were carried out to verify the optimum uncovering plastic film period and nitrogen rate for higher yield, water use efficiency and better physiology, growth condition of maize in mulched fields in the Guanzhong Region, Shaanxi Province and to provide basis for the development of rational cultivation measures. Under field condition, three uncovering plastic film periods (uncovering plastic film at the jointing-tasselling stage, uncovering plastic film at the tasselling stage and mulching plastic film) and three nitrogen rates (N 0, 120 and 240 kg/ha) were applied to study the interaction between uncovering plastic film period and nitrogen rate on physiology, growth, yield and water use efficiency of film mulching summer maize. The results show that uncovering plastic film period and nitrogen rate have significant effects on physiology, growth, yield and water use efficiency of summer maize, and the interactive effect between them is not significant. Through improving the gas and heat conditions around the roots, and increasing the root activity, the uncovering plastic film at the tasselling stage increases the plant height, leaf area, and dry mass accumulation and leaf photosynthetic rate, decreases the

收稿日期: 2013-01-19 **接受日期:** 2013-04-26
基金项目: 国家"863"计划项目(2011AA1005A4)资助。
作者简介: 蒋耿民(1985—),男,河南南阳人,博士研究生,主要从事节水灌溉理论与新技术方面的研究。
E-mail: jianggengmin@yahoo.com.cn。 * 通信作者 Tel: 029-87082901, E-mail: liyuannong@163.com

leaf MDA content, and has better ear characters, yield and water use efficiency in comparison with the mulching plastic film treatment under the three nitrogen rates. However, there are no significant differences between the uncovering plastic film at the jointing-tasselling stage and the mulching plastic film treatments. With the same uncovering plastic film period, applying nitrogen fertilizer amounts of N_L(N 120 kg/ha) or N_H(N 240 kg/ha) are better than that of the N_Z(N 0) treatment in the physiology, growth, yield and water use efficiency of summer maize, however, there are no significant differences between the N_H and N_L treatments. As the increasing of nitrogen rates, the leaf photosynthetic rate, yield and water use efficiency are decreased, while the leaf MDA content is increased. In this study, taking yield, water and nitrogen use efficiencies and environment effect into consideration, the appropriate uncovering plastic film period and nitrogen rate of summer maize in mulched fields in the Guanzhong Region are uncovering plastic film at the tasselling stage and N 120 kg/ha respectively, the yield and water use efficiency of which are 11362 kg/ha and 34 kg/(ha·mm).

Key words: uncovering plastic film period; nitrogen rate; growth; yield; water use efficiency; summer maize

氮是作物生长所必需的营养元素,是植物体内许多重要有机化合物的主要成分之一,也是土壤最为缺乏的营养元素。增施氮肥可以增加绿叶面积,提高叶绿素含量,提高光合速率,延长绿叶功能期,增加产量。但过量施用氮肥,不仅会降低氮肥利用率,而且对周边环境及人体健康还会产生负面影响[1-4]。因此,氮素供应的充分与否和作物氮营养状态的好坏,在很大程度上影响着作物的生长发育、产量和品质。

我国于20世纪70年代末引入地膜覆盖技术,与传统栽培技术相比,该技术具有节水增产、增温、保墒等作用[5-8]。但是,近年来的生产实践表明,由于地膜覆盖导热性差和不透气的特点,长时间覆盖地膜会使土壤温度过高,通气不良,根系呼吸受阻,造成覆膜作物生长发育中后期出现不同程度的早衰现象,直接影响了作物产量和品质的进一步提高[9-10]。但是研究发现,对不同作物在不同时期揭膜,其效果也不尽相同,对覆膜作物在适当的生育时期揭膜,能有效降低地表温度,增加根系的透气性和活性,改善光合产物的分配,延缓作物衰老,提高作物产量和水氮利用效率,而在不合适的时间揭膜不但促进作用不明显,还有可能产生负效应[11-17]。

综上可知,选择行之有效的揭膜时期及施氮量对完善陕西省关中地区夏玉米覆膜栽培技术具有现实指导意义。目前,关于揭膜时期和施氮量双因素对关中地区覆膜夏玉米生理生长、产量及水分利用效率影响的研究尚未见详细报道,鉴于此,本文以陕西关中地区覆膜夏玉米为研究对象,通过田间小区试验,研究了不同揭膜时期和施氮水平对夏玉米生理生长、产量及水分利用效率的影响,旨在筛选出符合本地区夏玉米生产的覆盖和施氮模式,为进一步实现优质、高产、高效、提高土地生产力、可持续发展的旱地节水农业提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2012年6～10月在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室试验田进行。该区地处N 34°20′,E 108°24′,海拔521 m。供试土壤为中壤土,2012年播前表层(0—20 cm)土壤基础理化性状为:有机质含量11.18 g/kg,全氮0.94 g/kg,全磷0.60 g/kg,全钾14.1 g/kg;硝态氮含量76.01 mg/kg,速效磷25.22 mg/kg,速效钾131.97 mg/kg;田间土壤持水率为24%(质量含水率),pH 8.13,土壤容重1.38 g/cm^3。供试玉米品种为“漯单9号”。

1.2 试验设计

试验采用大田垄植技术,沟和垄的断面均为梯形。垄的下底为0.6 m,上底为0.45 m,沟的下底为0.45 m,上底为0.6 m,垄高0.2 m。试验设施氮量和揭膜时期两个因素。施氮量设不施氮(N 0 kg/hm^2,N_Z)、低氮(N 120 kg/hm^2,N_L)和高氮(N 240 kg/hm^2,N_H)3个水平,揭膜时期设拔节～抽雄期揭膜(Uncovering plastic film at jointing-tasseling stage,简称UJ)、抽雄期揭膜(Uncovering plastic film at tasseling stage,简称UT)和全生育期覆膜(Mulching plastic film,简称MF)3种方式。试验共9个处理,每个处理重复3次,共27个小区。小区面积为13.5 m^2(5 m×2.7 m),为东西走向,四周开阔,完全随机区组排列。

1.3 田间管理

在播种前10 d深翻并平整土地,挖沟起垄,在

垄上覆膜,玉米种于垄上垄膜两侧,株距 30 cm,2012 年 6 月 16 日垄上点播,7 月 3 日定苗,10 月 10 日收获。磷肥用过磷酸钙,施磷量为 $P_2O_5$150 kg/hm^2,作为底肥深翻土地前依次均匀撒施。氮肥用尿素,分基肥和追肥两次施入。苗期(7 月 4 日)施 40%,拔节期(8 月 15 日)施 60%。在本地区已有研究的基础上[3-4],结合试验田实际情况,尿素开沟施入,沟深 15 cm 左右,施后覆土,垄上不施。整个生育期内不灌溉,生育期内降水量为 432.5 mm,且主要集中在 7、8、9 月份。

1.4　测定项目与方法

1)土壤水分的测定　采用土钻法分别于夏玉米播种前和收获期取土测定土壤水分。每个小区取两个测点,各个测点沿土壤深度方向每隔 10 cm 取一个土样,一共 200 cm,用烘干法测定含水率。

土壤贮水量 $W(\mathrm{mm}) = \gamma \times h \times \omega \times 10$,式中:$W$ 为土壤水分总贮存量(mm);γ 为实测土壤容重(g/cm^3);h 为土层厚度(cm);ω 为土壤含水率(%)。

2)夏玉米生长指标的测定　2012 年 9 月 28 日(成熟期)在每个处理选定具有代表性的 5 株玉米,用卷尺测量株高,用长宽系数法计算叶面积;在夏玉米成熟收获时(2012 年 10 月 10 日),每个处理选取 5 株玉米,105℃下杀青 20 min,然后于 75℃下烘至恒重后称地上部干物质量。

3)光合速率的测定　在夏玉米灌浆期,选晴朗天气的上午 9:00～11:00(2012 年 9 月 4 日),用光合仪(LI－6400,美国)测定玉米穗位叶的净光合速率。

4)丙二醛含量的测定　于 2012 年 9 月 28 日(成熟期),每小区选取 3 株具有代表性的玉米植株,取植株穗位叶,作为待测样品,所有样品及时放入冰壶中带回实验室,洗去叶片表面的尘土和污物,用吸水纸小心擦干表面水分,去除叶脉,混匀。称取 1 g 剪碎的样品,放入研钵中,加入少许 0.05 mol/L、pH7.8 的磷酸缓冲液在冰浴中研磨,最终得到 10 mL 匀浆。转移至离心试管中,在 3000 r/min 下离心 1 min,粗提液再转移至 13000 r/min、4℃下离心 20 min,上清液即为酶液。采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量[18]。

5)玉米产量的测定　玉米成熟后取中间两行(宽 0.6 m,长 5 m),人工脱粒测产,并换算成单位面积产量(kg/hm^2),每小区取 12 穗,测定玉米穗部性状特征。

6)水分利用状况　生育期耗水量计算公式为 $ET(\mathrm{mm}) = P + (W_p - W_h)$

式中:ET 为作物耗水量(mm);P 为作物生育期降水量(mm);W_p 和 W_h 分别为播前和收获时的土壤贮水量(mm)。

水分利用效率的计算公式为 $WUE[\mathrm{kg/(hm^2 \cdot mm)}] = Y/ET$

式中:WUE 为作物水分利用效率[kg/(hm^2·mm)];Y 为单位面积的籽粒产量(kg/hm^2);ET 为作物耗水量(mm)。

1.5　数据处理

采用 Excel 软件对试验数据进行处理;SAS 软件进行方差分析[19],多重比较用 LSD 法,显著性水平为 $\alpha = 0.05$;采用 OriginPro8 软件作图。

2　结果与分析

2.1　不同揭膜时期和施氮量对夏玉米株高、叶面积和地上部干物质量的影响

不同揭膜时期和施氮处理下夏玉米的株高、叶面积和地上部干物质量见表 1。从表 1 可知,夏玉米的株高、叶面积和地上部干物质量受施氮量、揭膜时期的影响均达到显著水平(株高 $F = 26.91$ 和 5.55;叶面积 $F = 20.38$ 和 7.64;地上部干物质量 $F = 38.25$和 6.35),而其互作效应均不显著(株高 $F = 0.32$;叶面积 $F = 0.28$;地上部干物质量 $F = 1.07$)。

在 3 种施氮量条件下,不同揭膜时期处理之间的株高、叶面积和地上部干物质量的表现规律一致,均为 UT 处理的值最大;在不施氮(N_Z)处理下,UT 处理略大于 UJ 和 MF,差异不显著;在施氮(N_L 或 N_H)处理下,UT 处理与二者的差异均达显著水平,而 UJ 和 MF 处理之间差异不明显。

在相同揭膜时期条件下,施氮(N_L 或 N_H)处理的株高、叶面积和地上部干物质量均大于不施氮(N_Z)处理,且差异显著,并且随着施氮量的增加,株高、叶面积和地上部干物质量均呈现出递增趋势,但低氮(N_L)与高氮(N_H)处理之间差异不显著。说明适时揭膜加施氮(N_L 或 N_H)能显著提高夏玉米株高、叶面积和地上部干物质量,但当施氮量较高(N_H)时,3 项生长指标的增长速度会减缓,且与低氮(N_L)处理下的值相比差异不大。

表1 不同处理下夏玉米株高、叶面积和地上部干物质量的显著性分析

Table 1 Significant analysis of different uncovering plastic film periods and nitrogen rates on plant height, leaf area and shoot dry mass of maize

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	叶面积 Leaf area (cm^2/plant)	地上部干物质量 Shoot dry mass (g/plant)
N_Z UJ	194 c	4967 de	178 d
N_Z UT	202 c	5275 cde	186 d
N_Z MF	190 c	4797 e	176 d
N_L UJ	222 b	5453 cd	265 c
N_L UT	235 ab	6034 ab	328 ab
N_L MF	221 b	5566 bc	266 c
N_H UJ	222 b	5801 abc	291 bc
N_H UT	244 a	6319 a	359 a
N_H MF	224 b	5668 bc	280 bc

注(Note):同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant different among treatments at the 5% level.

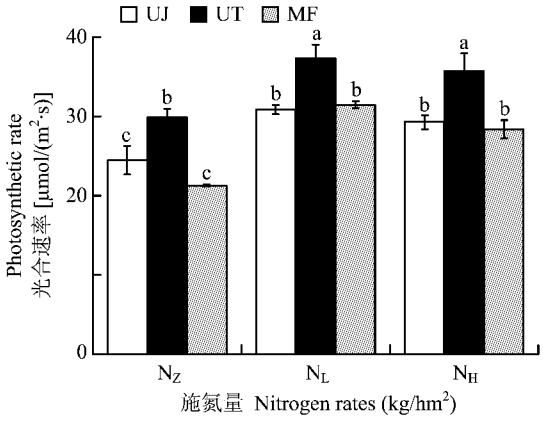

图1 不同揭膜时期和施氮量对夏玉米叶片光合速率的影响

Fig. 1 Effects of different uncovering plastic film periods and nitrogen rates on leaf photosynthetic rate of summer maize

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达5% Different letters above the bars mean significant among treatments at the 5% level.]

2.2 不同揭膜时期和施氮量对夏玉米光合作用的影响

光合作用是作物产量形成的主要机制,光合速率在一定程度上反映光合作用的水平[20]。对不同处理下夏玉米灌浆期典型日(2012-09-04)的穗位叶净光合速率的分析结果(图1)显示,夏玉米叶片净光合速率受施氮量和揭膜时期的影响差异显著(F=32.59和28.38),而其互作效应不显著(F=0.61)。在不施氮(N_Z)条件下,与MF相比,UJ和UT处理的叶片光合速率分别提高了15.3%和40.3%;在低氮(N_L)条件下,UJ处理的叶片光合速率比MF减少了1.9%,而UT处理则比MF提高了18.9%;在高氮(N_H)处理下,UJ和UT处理的叶片光合速率分别比MF提高了3.3%和25.7%。可以看出,在3种施氮量条件下,UT处理的叶片光合速率均高于UJ和MF处理,且差异达显著水平,而UJ和MF处理之间差异不显著。这主要是由于抽雄期揭膜(UT)降低了夏玉米生育后期根区的土壤温度,避免了植株气孔因温度过高而关闭,从而延长了叶片的光合作用时间。

揭膜时期相同时,在UJ处理下,高氮(N_H)和低氮(N_L)处理的叶片光合速率比不施氮(N_Z)处理分别提高了19.5%和26.0%;在UT处理下,高氮(N_H)和低氮(N_L)处理分别提高了19.6和25.6%;在MF处理下,高氮(N_H)和低氮(N_L)处理分别提高了33.4%和48.1%。可以看出,施氮处理(N_L或N_H)的叶片光合速率显著高于不施氮(N_Z)处理;与低氮(N_L)处理相比,高氮(N_H)处理的光合速率有所降低,但两者差异不显著。其原因主要是由于适量的氮素提高了叶绿体中有关光合碳同化酶类(如Rubisco)的活性[21-22],从而提高了玉米叶片的光合速率,当施氮量高(N_H)时,玉米对氮肥的吸收属于奢侈吸收,叶片光合作用不再继续增加,而且由于对光合器官造成反馈抑制,还会导致叶片光合速率下降[23]。

2.3 不同揭膜时期和施氮量对夏玉米叶片丙二醛含量的影响

丙二醛(MDA)是植物膜脂过氧化作用的主要产物之一,是反映植物衰老的重要指标,其含量的高低在一定程度上能反映植物细胞膜质损伤的程度[18]。试验结果(图2)表明,夏玉米叶片丙二醛含量受施氮量和揭膜时期的影响差异显著(F=12.36和10.96),而其互作效应不显著(F=0.17)。在不施氮(N_Z)条件下,与MF处理相比,UJ处理的叶片丙二醛含量增加了4.9%,而UT处理则降低了13.4%;在低氮(N_L)条件下,UJ处理的叶片丙二醛含量比MF增加了6.2%,UT处理则降低了

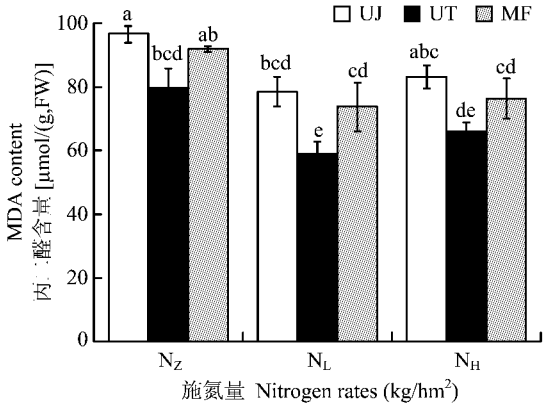

图 2　不同揭膜时期和施氮量对夏玉米叶片丙二醛含量的影响

Fig. 2　Effects of different uncovering plastic film periods and nitrogen rates on leaf MDA content of summer maize

［注(Note)：柱上不同字母表示处理间差异达5%水平 Different letters above bars mean significant among treatments at the 5% level.］

20.7%；在高氮(N_H)条件下，UJ 处理的叶片丙二醛含量比 MF 增加了 9.3%，而 UT 处理降低了 14.1%。可以看出，在 3 种施氮量条件下，UT 处理的叶片丙二醛含量均低于 UJ 和 MF 处理，且差异达显著水平，而 UJ 和 MF 处理之间差异不显著。表明抽雄期揭膜(UT 处理)可以显著降低夏玉米叶片膜脂过氧化程度，减轻细胞膜系统结构和功能受损程度，这是由于适时揭膜促进了细胞分裂素、赤霉素等激素的合成，相应地延长了地上部绿时间，延缓了植株衰老进程。

揭膜时期相同时，在拔节～抽雄期揭膜(UJ)，高氮(N_H)和低氮(N_L)处理的叶片丙二醛含量比不施氮(N_Z)处理分别降低了 13.7% 和 18.6%；在抽雄期揭膜(UT 处理)下，高氮(N_H)和低氮(N_L)处理比不施氮分别降低了 17.9% 和 26.4%；在全生育期覆膜(MF 处理)下，高氮(N_H)和低氮(N_L)处理的叶片丙二醛含量分别比不施氮降低了 17.2% 和 19.6%。可以看出，施氮处理(N_L 或 N_H)的叶片丙二醛含量显著低于不施氮(N_Z)处理；与低氮(N_L)处理相比，高氮(N_H)处理的叶片丙二醛含量有一定程度的增加，但差异不显著。说明在一定范围内，增施氮肥可以延缓夏玉米叶片衰老，减轻膜质过氧化程度，但当施氮量达到高氮(N_H)时，不但不能再继续延缓叶片衰老，减轻膜质过氧化程度，反而在一定程度上加剧了叶片的膜质过氧化进程[24]。

2.4　不同揭膜时期和施氮量对夏玉米产量及其构成因素的影响

不同揭膜时期和施氮处理的夏玉米考种和测产结果见表 2。由表 2 可以看出，在 3 种施氮量条件下，不同揭膜时期之间的穗部性状规律一致，均表现为 UT 处理优于 UJ 和 MF 处理，且 UJ 和 MF 处理之间差异不明显。当揭膜时期相同时，低氮(N_L)处理的穗部性状最优，高氮(N_H)处理次之，不施氮(N_Z)处理最差。

夏玉米籽粒产量受施氮量、揭膜时期的影响差异显著(F = 25.68 和 12.07)，而其互作效应不显著(F = 0.50)(表 2)。与 MF 处理相比，在不施氮(N_Z)、低氮(N_L)和高氮(N_H)处理下，UJ 处理的籽粒产量分别提高了 5.1%、1.1% 和 0.4%，UT 处理分别提高了 10.9%，13.4% 和 9.4%。可以看出，在 3 种施氮量条件下，UT 处理的增产效果优于 UJ 和 MF 处理，且达差异显著水平，而 UJ 和 MF 处理之间差异不明显。

揭膜时期相同时，在 UJ 处理下，高氮(N_H)和低氮(N_L)处理的籽粒产量比不施氮(N_Z)处理分别提高了 11.2% 和 13.5%；在 UT 处理下，高氮(N_H)和低氮(N_L)处理分别比不施氮提高了 14.9% 和 20.7%；在 MF 处理下，高氮(N_H)和低氮(N_L)处理比不施氮分别提高了 16.4% 和 18.0%。可以看出，在相同揭膜时期，夏玉米籽粒产量施氮处理(N_L 或 N_H)显著高于不施氮(N_Z)处理，与低氮(N_L)处理相比，高氮(N_H)处理的籽粒产量有一定程度的减少，但差异不显著。

2.5　不同揭膜时期和施氮量对夏玉米水分利用状况的影响

由不同施氮条件下各处理夏玉米生育期耗水量的变化趋势(图 3A)可以看出，施氮量、揭膜时期、施氮量和揭膜时期的交互作用对夏玉米耗水量的影响均不显著(F = 2.76，0.57 和 0.72)。3 种不同施氮量条件下，与 MF 处理相比，UJ 和 UT 处理并未显著增加夏玉米生育期耗水量(P > 0.05)。当揭膜时期相同时，施氮处理(N_L 或 N_H)的夏玉米生育期耗水量高于不施氮(N_Z)处理，但差异不显著。作物水分利用效率是评价节水效果的一项重要指标。图 3B 显示，施氮量和揭膜时期对夏玉米水分利用效率的影响均达到显著水平(F = 6.36 和 3.89)，但其互作效应不显著(F = 0.77)。与 MF 处理相比，在不施氮(N_Z)和低氮(N_L)条件下，UJ 处理的水分利用效率分别提高了 3.7% 和 2.6%，而在高氮(N_H)处理下，降低了 4.3%；UT 处理在 3 种施氮量条件下比 MF 处理的水分利用效率依次分别提高了 4.8%

表2 不同揭膜时期和施氮量对夏玉米穗部性状和产量的影响

Table 2 Effects of different uncovering plastic film periods and nitrogen rates on ear characteristics and yield of summer maize

处理 Treatment	穗长 Ear length (cm)	穗粗 Ear diameter (mm)	穗粒数 Number of grains per ear (No./ear)	百粒重 100-grains weight (g)	籽粒产量 Yield (kg/hm^2)
N_Z UJ	15.3	45.29	520	28.56	8925 de
N_Z UT	15.7	45.71	549	28.58	9416 cd
N_Z MF	15.0	44.21	504	28.06	8493 e
N_L UJ	16.5	47.72	552	30.58	10131 bc
N_L UT	17.7	49.12	599	31.59	11362 a
N_L MF	16.8	46.52	557	29.94	10020 bc
N_H UJ	16.4	47.48	549	30.12	9925 c
N_H UT	17.4	48.06	579	31.09	10817 ab
N_H MF	16.6	47.44	546	30.16	9883 c

注(Note)：同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant different among treatments at the 5% level.

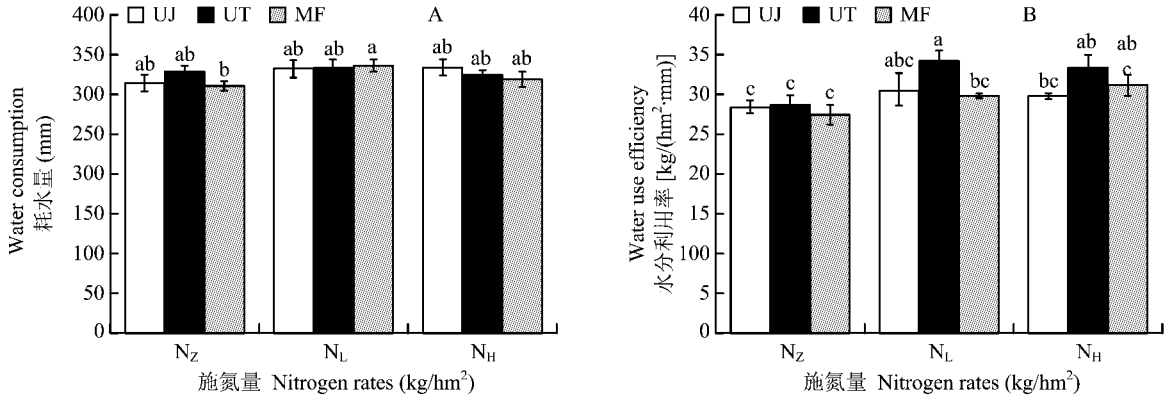

图3 不同揭膜时期和施氮量对夏玉米水分利用的影响

Fig.3 Effects of different uncovering plastic film periods and nitrogen rates on water use of summer maize

[注(Note)：柱上不同字母表示处理间差异达5%水平 Different letters above bars mean significant among treatments at the 5% level.]

(N_z),14.6%(N_L)和7.0%(N_H)。可以看出,在3种施氮量条件下,UT处理的水分利用效率均为最优,而UJ和MF处理之间差异不明显。

当揭膜时期相同时,在UJ处理下,高氮(N_H)和低氮(N_L)处理的水分利用效率比不施氮(N_Z)处理分别提高了4.6%和7.5%;在UT处理下,高氮(N_H)和低氮(N_L)处理分别提高了15.9%和18.8%;在MF处理下,高氮(N_H)和低氮(N_L)处理分别提高了13.4%和8.6%。由此可见,低氮(N_L)处理下抽雄期揭膜(UT)对夏玉米水分利用效率的贡献率最大。

3 讨论与结论

在本试验条件下,揭膜时期和施氮量虽然对玉米的生理生长指标、产量和水分利用效率的调控作用十分显著,但是二者不具交互作用。

近年来的研究表明,对不同覆膜作物在适当的生育时期揭膜,能有效改善植物生长情况和光合产物分配,延缓作物早衰,提高作物产量和品质[14-17]。本研究表明,在相同施氮量条件下,对夏玉米在抽雄

期进行揭膜处理，其生长状况、干物质积累、叶片光合作用及衰老状况、籽粒产量和水分利用效率均优于全生育期覆膜处理和拔节～抽雄期揭膜处理，而拔节～抽雄期揭膜处理与全生育期覆膜处理之间则均无明显差异。这主要是由于在玉米生长发育前期覆膜，可以改善耕层土壤水热状况，减缓干旱胁迫，促进植株生长发育；随着植株的生长，尤其是进入抽雄期，是玉米籽粒形成的关键时期，此时，在水肥等其它养分条件相同的情况下，植株对氧气的需求量逐渐加大，根际持续性缺氧对植株生理生长指标的影响也就越来越显著，而长期覆膜会使根区土壤温度急剧升高，根际土壤通气性变差，造成根系的大量死亡和根系活性下降，引起水分和养分利用效率大大降低，抑制植株生长，并随之产生各种相应的胁迫，最终导致产量下降。因此，在玉米抽雄期揭膜，能够改善根际土壤通气状况，提高根系活性，促进根系向更广泛的区域发展，有利于玉米根域均衡高效地向植株提供水分和营养物质，相应地延长了地上部的绿时间，增加了光合产物积累，延缓了早衰，进而改善夏玉米的穗部性状，提高籽粒产量和水氮利用效率。在本研究中，结合籽粒产量、耗水量和水分利用效率还发现，本试验条件下抽雄期揭膜在不增加水分消耗的前提下增加了产量，进而提高了水分利用率，也说明在夏玉米生育后期覆膜对提高水分利用率没有益处。

从本研究结果可以看出，适宜的氮肥用量（N 120 kg/hm^2，N_L）能够显著促进玉米植株的生长，增强其水分和养分的供给能力，进而提高产量，这与前人研究结果基本一致[25]。本试验中，与高氮（N_H）处理相比，低氮（N_L）处理虽然减少了地上部干物质量，但却增加了籽粒产量，这主要是由于过量施用氮肥，会导致碳水化合物和氮素大量在营养器官累积，而不利于向籽粒的转移，造成夏玉米生长过程中库源平衡失调，从而引起产量下降[26]。

本试验条件下，施氮量和揭膜时期的组合为 N_LUT 的处理（N 120 kg/hm^2，抽雄期揭膜）叶片净光合速率最大，叶片丙二醛含量最小，玉米产量、产量构成因素（穗长、穗粗、穗粒数及百粒重）和水分利用效率最高，玉米株高、叶面积和地上部干物质量均较大，而且这些指标与不同施氮量和揭膜时期的组合处理下的最大值均无显著差异。这说明从产量效应和资源高效利用、环境等综合效应方面考虑，抽雄期揭膜（UT）和施氮量 N120 kg/hm^2（N_LUT）的组合有较优的节水、减氮和增产效果。

综合考虑揭膜时期、施氮量以及二者的交互作用对玉米生理生长指标、产量和水分利用效率等因素的影响，在关中地区覆膜玉米栽培模式下，抽雄期揭膜和施氮量为 N 120 kg/hm^2 较为适宜。本试验中虽然揭膜时期和施氮量没有交互作用，但是二者各自对玉米的生理生长指标、产量和水分利用效率的调控作用均十分显著，而在实际生产中，某一区域适宜的氮肥用量是随地力水平而变的，因此对于适时揭膜的节水增产潜力的研究还是很有必要的；另外，本试验中抽雄期揭膜增加玉米产量，是否与当年后期降水量有关，还有待通过对不同降水年份的揭膜试验来验证。

参 考 文 献：

[1] 师日鹏，上官宇先，李娜，等. 播种量和施氮量对垄沟覆膜栽培冬小麦花后生理性状的影响[J]. 应用生态学报，2012，23(3)：758-764.
Shi R P, Shangguan Y X, Li N *et al*. Effects of seeding rate and nitrogen fertilization rate on physiological traits of winter wheat after anthesis in a field with plastic mulched rides and unmulched furrows[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2012, 23(3): 758-764.

[2] 王淑娟，田霄鸿，李硕，等. 长期地表覆盖及施氮对冬小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18(2)：291-299.
Wang S J, Tian X H, Li S *et al*. Effects of long-term surface mulching and N addition on winter wheat yield and soil properties [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2012, 18(2): 291-299.

[3] 张宏，周建斌，刘瑞，等. 不同栽培模式及施氮对半旱地冬小麦/夏玉米氮素累积、分配及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17(1)：1-8.
Zhang H, Zhou J B, Liu R *et al*. Effects of different cultivation patterns and nitrogen fertilizer on accumulation, distribution and use efficiency of nitrogen in winter wheat/summer maize rotation system on semi-dryland farming [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(1): 1-8.

[4] 张明，同延安，郭俊炜，等. 陕西关中小麦/玉米轮作区氮肥用量及施氮现状评估[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2011，39(4)：152-157.
Zhang M, Tong Y A, Guo J W *et al*. Determination of reasonable nitrogen use and evaluation of application status in wheat/maize rotation system in Guanzhong area of Shaanxi Province [J]. J. Northwest A&F Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2011, 39(4): 152-157.

[5] Niu J Y, Gan J W, Zhang J W *et al*. Post anthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film[J]. Crop Sci., 1998, 38:1562-1568.

[6] 李援农，范兴科，樊惠芳，等.地膜覆盖灌水对土壤水分变化及作物生长的影响[J]. 水土保持研究，2002，9(2)：45-47.
Li Y N, Fan X K, Fan H F *et al*. Effect of plastic mulching irrigation on soil moisture variation and plant growth[J]. Res. Soil Water Conserv., 2002, 9(2):45-47.

[7] Cook H F, Valdes Gerardo S B, Lee H C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L[J]. Soil & Till. Res., 2006, 91:227-235.

[8] Ghosh P K, Dayal Devi, Bandyopadhyay K K *et al*. Evaluation of straw and polythene mulch for enhancing productivity of irrigated summer groundnut[J]. Field Crops Res., 2006, 99:76-86.

[9] Li F M, Wang J, Xu J Z *et al*. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China[J]. Soil & Till. Res., 2004, 78:9-20.

[10] 蒋文昊. 不同灌水量对起垄覆膜烤烟生长发育及其产量影响的研究[D]. 陕西：西北农林科技大学硕士学位论文，2011.
Jiang W H. Study on growth and yield of film-mulched flue-cured tobacco under different irrigation amounts[D]. Shaanxi: Ms thesis of Northwest A&F University, 2011.

[11] Al Assir I A, Rubeiz I G, Khoury R Y. Response of fall greenhouse COS lettuce to clear mulch and nitrogen fertilizer[J]. J. Plant Nutr, 1991, 14(10):1017-1022.

[12] 吕丽红，王俊，凌莉，等.半干旱地区地膜覆盖、底墒和氮肥对春小麦根系生长的集成效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2003，31(3)：102-105.
Lü L H, Wang J, Ling L *et al*. The integrated effect of plastic film mulching, soil water storage amount before sowing and nitrogen fertilizer on spring wheat root growth[J]. J. Northwest A&F Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2003, 31(3):102-105.

[13] 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(1):1-14.
Shen X L, Huang S G, Wang J *et al*. Effects of plastic film mulching models and nitrogen fertilizer on wheat yield and nitrogen efficiency[J]. J. Northwest A&F Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2003, 31(1):1-14.

[14] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Res., 1999, 63:79-86.

[15] 贺润喜，王玉国，赵金鱼.不同生育期揭膜对旱地地膜覆盖玉米生理性状和产量的影响[J]. 山西农业大学学报，1999，19(1):16-18.
He R X, Wang Y G, Zhao J Y. The effect of different growth period uncovering membrane in dry land on corn physiological properties and yields[J]. J. Shanxi Agric. Univ., 1999, 19(1):16-18.

[16] 侯晓燕，王凤新，康绍忠，等.西北旱区民勤绿洲滴灌马铃薯揭膜效应研究[J]. 干旱地区农业研究，2008，26(4):88-92.
Hou X Y, Wang F X, Kang S Z *et al*. Effects of uncovering plastic film mulch on drip-irrigated potato in arid Minqin oasis, Northwest China[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2008, 26(4):88-92.

[17] 宿俊吉，邓福军，林海，等.揭膜对陆地棉根际温度、各器官干物质积累和产量、品质的影响[J]. 棉花学报，2011，23(2):172-177.
Su J J, Deng F J, Lin H *et al*. Effects of uncovering plastic film on rhizosphere temperature, dry matter accumulation of organs, yield and fiber quality of upland cotton[J]. Cotton Sci., 2011, 23(2):172-177.

[18] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京：高等教育出版社，2005.
Gao J F. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005.

[19] 胡小平，王长发. SAS基础及统计实例教程[M]. 西安：西安地图出版社，2001.
Hu X P, Wang C F. SAS foundation and statistical example[M]. Xi'an: Xi'an Map Press, 2001.

[20] 贾志红，易建华，孙在军，等. 不同覆盖物对烤烟根温及生长和生理特性的影响[J]. 应用生态学报，2009，17(11)：2075-2077.
Jia Z H, Yi J H, Sun Z J *et al*. Effects of different mulches on rhizosphere temperature, growth, and physiological properties of flue-cured tobacco[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2009, 17(11):2075-2077.

[21] Evans J R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat[J]. Plant Physiol., 1983, (72): 297-302.

[22] 王晓娟，贾志宽，梁连友，等.不同有机肥量对旱地玉米光合特性和产量的影响[J]. 应用生态学报，2012，23(2)：419-425.
Wang X J, Jia Z K, Liang L Y *et al*. Effects of organic fertilizer application rate on leaf photosynthetic characteristics and grain yield of dryland maize[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2012, 23(2): 419-425.

[23] 徐丽娜，黄收兵，陶洪斌，等.不同氮肥模式对夏玉米冠层结构及部分生理和农艺性状的影响[J]. 作物学报，2012，38(2)：301-306.
Xu L N, Huang S B, Tao H B *et al*. Effects of different nitrogen regimes on canopy structure and partial physiological and agronomic traits in summer maize[J]. Acta Agron. Sin, 2012, 38(2):301-306.

[24] 战秀梅，韩晓日，杨劲峰，等.不同施肥处理对玉米生育后期叶片保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响[J]. 玉米科学，2007，15(1):123-127.
Zhan X M, Han X R, Yang J F *et al*. Effect of different fertilizer supply of maize on protective enzyme activities and lipid peroxidation of leaves in latter stage[J]. J. Maize Sci., 2007, 15(1):123-127.

[25] 鱼欢. 施氮量、氮源及栽培模式对小麦、玉米生理特性及产量的影响[D]. 陕西：西北农林科技大学博士学位论文，2009.
Yu H. Nitrogen rates, sources and management effects on physiological and harvest attributes of wheat and corn[D]. Shaanxi: PhD dissertation of Northwest A&F University, 2009.

[26] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants[M]. San Diego, CA: Academic Press, 1995.