

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^{*}

沈新磊¹, 黄思光¹, 王 俊², 凌 莉¹, 李世清^{1, 2*}, 李凤民²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2 兰州大学 干旱农业生态国家重点实验室, 兰州 730000)

[摘 要] 在年降水量 415 mm 的黄土高原中部黄绵土和年降水量 632 mm 的黄土高原南部红油土上, 分别以春小麦和冬小麦为供试作物进行大田试验, 研究了地膜覆盖(春小麦设不覆膜、播后覆膜 30 d、覆膜 60 d 和全程覆膜; 冬小麦设不覆膜、播后覆膜 75 d、覆膜 150 d 和全程覆膜等 4 个水平)和施氮(春小麦设不施氮和每公顷施氮 75 kg, 冬小麦设不施氮和每公顷施氮 225 kg 2 个水平)对小麦产量和氮效率的影响。试验结果表明, 覆膜对春小麦产量和吸氮量的效应因底墒、施氮、覆膜进程和生育期降雨量而异。在湿润年份(1999 年), 无论施氮与否, 在低底墒时, 各种覆膜处理的籽粒、茎叶和干物质产量较不覆膜处理虽有增加, 但二者之间的差异并不显著; 在高底墒时, 不管是籽粒, 还是干物质, 以覆膜 60 d 最大, 以不覆膜最低, 但不覆膜与覆膜 30 d、覆膜 60 d 和全程覆膜间差异并不显著。氮肥肥效也因底墒和覆膜进程而异: 低底墒不覆膜和覆膜 30 d 的氮肥增产效果最显著, 但随着覆膜进程的进一步延长, 氮肥效果下降; 高底墒时以覆膜 30 d 氮肥增产效果最高, 不覆膜最低。在极端干旱年份(2000 年), 地膜覆盖显著影响地上部分生物量: 在低底墒不施氮条件下, 以覆膜 30 d 效果最明显, 覆膜 60 d 和全程覆膜效果依次递减, 不覆膜者最低, 而施氮后, 覆膜 30 d 与不覆膜、覆膜 60 d 和全程覆膜间的差异均不显著; 在高底墒下, 不施氮时各覆膜处理籽粒产量为 1 430~1 482 kg/hm², 没有任何差异; 施氮后, 以全程覆膜籽粒产量最高, 与覆膜 30 d 和 60 d 间的差异达显著水平, 但从 2 个施氮水平平均看, 不同覆膜处理间无任何差异; 由于不同覆膜处理对作物体含氮量基本没有影响, 因此不同覆膜处理对作物吸氮量的影响与对产量的影响基本相同, 但在春小麦生长前期覆膜(如播种后覆膜 30 d)能够促进后期茎叶中氮素向穗部(主要是籽粒)转移。对 2 年春小麦试验中各种产量构成因子分析后发现, 小穗数和有效小穗数是影响地膜覆盖产量的主要因素。覆膜进程对氮肥利用效率的影响与作物生育期降水量有关: 在降水丰富年份, 低底墒处理在不覆膜和覆膜 30 d 时, 氮肥利用率最高, 分别为 30.4% 和 30.3%, 而覆膜 60 d 和全程覆膜的氮肥利用率下降, 分别为 19.0% 和 19.6%; 在高底墒处理中以不覆膜最低, 为 10.1%, 并随覆膜持续时间的延长而显著增加, 覆膜 30 d、60 d 和全程覆膜时分别为 32.7%、34.2% 和 38.9%; 在极端干旱年份, 地膜覆盖对氮肥利用效率的影响与湿润年份截然不同, 在低底墒和高底墒处理中均以不覆膜最高, 分别为 18.3% 和 19.7%, 而覆膜处理或者为零, 或者为负值, 说明在极其干旱年份覆膜条件下, 施用氮肥的效果并不突出, 甚至产生一定的负效应。在冬小麦试验中, 无论是干物质, 还是籽粒, 覆膜 75 d、150 d 和全程覆膜处理之间差异均不显著, 籽粒最大和最小产量之间仅相差 42 kg/hm², 这一差值远远小于试验误差; 地膜覆盖进程和施氮对作物吸氮量的影响, 与对干物质和籽粒产量的影响基本相同。从 2 个施氮水平平均看, 覆膜 75 d、150 d 和全程覆膜处理吸氮量之间的差异也没有达到显著水平, 在这 3 个处理中, 最大和最小吸氮量仅相差 12.0 kg/hm²; 以覆膜 75 d 氮肥利用率最高, 之后, 随着覆膜进程的进一步延长, 氮肥利用率下降。可见, 尽管春小麦和冬小麦生育期不同, 生长期间经历的气候变化不同, 但地膜覆盖进程对作物产量和氮素效率的影响规律基本相同。覆膜的作用主要表现在作物生长前期和中期, 后期基本没有效果。从总体上看, 全程地膜覆盖并没有使春小麦和冬小麦产量、吸氮量和氮效率大幅度提高, 从维持土壤肥力和土壤生态条件以及保持农业生产持续发展出发, 不应提倡全程和长期地膜覆盖, 春小麦以播种后覆膜 30~60 d 为宜; 对冬小麦, 虽然覆膜 75 d 和 150 d 相差不显著, 但为了减少冬季和春季土壤水分的蒸发损失, 在覆膜 150 d 左右(拔节初期)时揭膜比较合适。

[关键词] 半干旱农田生态系统; 地膜覆盖; 小麦产量; 氮效率

[中图分类号] Q 948 112⁺. 4; S512 104 8 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2003)01-0001-14

[收稿日期] 2002-11-14

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(30230230, 39970151 和 39970459); 2002 年度教育部全国优秀青年教师资助项目; 国家重点基础研究专项项目(G200001803); 国家基础研究重大项目前期研究专项“半干旱黄土植被景观覆盖格局与生态系统功能调控”; 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-85); 农业部科技跨越计划项目“面条专用小麦品种生产技术与产业化”(农跨 2000-6)

[作者简介] 沈新磊(1978-), 男, 河南郾城人, 在读硕士, 主要从事土壤-植物氮素营养研究。

^{*} 通讯作者: 李世清(1963-), 男, 甘肃秦安人, 教授, 博士, 主要从事旱地土壤-植物氮素营养研究。现工作单位为西北农林科技大学。

我国半干旱地区约占全国总面积的 41.4%, 天然降水是这一地区农业生产的主要水源, 因此提高降水利用效率是本地区农田管理的关键环节。精耕细作、增加地面覆盖、降低无效蒸发、合理施肥等措施是提高作物产量和农田降水利用效率的基本途径^[1,2]。地膜覆盖能够改善耕层土壤水热状况^[3,4], 活化土壤养分^[5], 对提高水分和养分利用效率^[3,6], 实现粮食增产具有重要作用。已有研究结果表明, 地膜覆盖后由于土壤养分条件和作物生长状况的改善, 有利于增加作物产量和对养分的吸收利用^[7,8], 并提高养分利用效率^[9]。Al A ssir 等^[7]研究发现, 地膜覆盖虽然对莴笋产量没有显著影响, 但覆盖地膜后, 叶片中的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和全磷含量却显著增加。Shama 和 Pamar^[9]对小麦的研究发现, 在抽穗期和开花期分别覆膜, 可使土壤磷的利用效率分别提高 27% 和 17%; 王喜庆^[10]和 Matitschka 等^[11]的研究结果认为, 覆膜后能使氮肥肥效明显提高, 但另外一些研究结果表明, 地膜覆盖后, 使肥料利用效率下降。Al A ssir 等^[7]的研究表明, 覆膜后土壤中有有机氮的矿化速率增加, 土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量显著增加, 从而导致氮肥肥效不明显; Ruppel 等^[12]的研究表明, 地膜覆盖农田不需要施用氮肥, 就可满足作物对氮素的需要; 甚至还有研究表明^[3], 全生育期地膜覆盖, 还可导致作物减产。显然, 地膜覆盖对作物产量和养分效率影响的有些研究结果是相互矛盾的。因此, 在这

一领域还需要进行深入细致的研究。本研究通过 3 个生长季节的大田试验(其中 2 季为春小麦试验, 1 季为冬小麦试验), 以期查明不同覆膜进程对春小麦和冬小麦生长、产量形成、养分吸收利用和各种氮素效率的集成效应, 明确地膜覆盖作物增产的阶段性及其地膜覆盖模式, 为地膜的合理利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验区的自然条件

大田试验于 1999-03~ 2001-06 分别在甘肃省定西县唐家堡农业试验站和陕西杨陵西北农林科技大学土壤肥料试验站进行。所选试验点分别代表了黄土高原的 2 种典型情况: 即半干旱春小麦种植区(甘肃定西唐家堡农业试验站)和半湿润冬小麦种植区(西北农林科技大学土壤肥料试验站)。2 个试验供试田块平坦, 土层深厚, 透水、通气性能良好, 土壤均为石灰性土壤, pH 为 7.5~ 8.0。

1.1.1 甘肃省定西县唐家堡农业试验站 甘肃省定西县唐家堡农业试验站为典型的半干旱黄土丘陵沟壑区, 平均海拔 1 970 m, 试验区土壤为黄绵土, 肥力中等, 土壤剖面可划分为耕层(0~ 20 cm)和黄土母质层(20 cm 以下), 土壤容重为 1.25 g/cm^3 , 基本性质见表 1。

表 1 定西县唐家堡农业试验站供试土壤的基本理化性质

Table 1 Properties of experimental soil in Dingxi experiment station

土层/cm Layer	有机碳/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Organic C	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Total N	C/N	有效磷/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Avail P	全磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Total P	机械组成/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Soil particle distribution			质地 Texture
						2.0~ 0.02 mm	0.02~ 0.002 mm	< 0.002 mm	
0~ 20	8.53	0.955	8.9	11.0	0.952	479.4	352.8	167.8	粘壤土 Clay loam
20~ 40	7.37	0.785	9.4	2.2	0.910	395.1	382.1	222.8	粘壤土 Clay loam

该试区地下水位埋深大于 10 m, 不具备补给能力。天然降水是该地区作物生产的主要水源, 降水少, 且变率大、分布不均、有效性差。年降水量 415 mm, 且多集中于 7~ 9 月份, 与春小麦的生育期不吻合。1958~ 1992 年年降水相对变率为 24%, 6~ 9 月份降水量占全年降水的 68%, 400 mm 降水保证率为 48%。1999 年作物生育期降水 239.9 mm, 较 1985~ 1999 年平均值 217.8 mm 高 22.1 mm, 为丰水年, 生育期间降水分布比较均匀, 中、后期略多; 2000 年作物生育期降水 91.1 mm, 较平均值 217.8 mm 低 126.7 mm, 降水主要分布在播种 90 d 以后

(即小麦成熟期), 为严重干旱年。

该试区年均气温 6.2°C , 年辐射总量为 5898 MJ/m^2 , 年日照时数 2 500 h; $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温为 2075.1°C , $\geq 5^\circ\text{C}$ 的积温为 2591.8°C , $\geq 0^\circ\text{C}$ 的积温为 2787.7°C ; 无霜期 140 d, 作物一年一熟。

1.1.2 陕西杨陵西北农林科技大学土壤肥料试验站 陕西杨陵西北农林科技大学土壤肥料试验站处于黄土高原南部旱作区, 位于渭河三级阶地, 海拔 520 m 左右。本地区属大陆性季风气候, 冬小麦生育期 $> 5^\circ\text{C}$ 的积温在 $1000 \sim 1300^\circ\text{C}$, 年均降水量 632 mm, 分布不均, 主要集中在 7, 8, 9 三个月, 冬春

易旱, 年均气温 12.9℃, 年蒸发量 1 400 mm, 地下水深> 60 m; 属半湿润易旱地区。作物轮作方式主要为冬小麦- 夏玉米。供试土壤为红油土(表 2), 其

表 2 西北农林科技大学土壤肥料试验站供试土壤的基本理化性质

Table 2 Properties of experimental soil in Yangling experiment station

土层/cm Layer	有机质/(g · kg ⁻¹) O. M.	全氮/ (g · kg ⁻¹) Total N	有效磷/ (μg · g ⁻¹) Avail P	NO ₃ ⁻ · N/ (μg · g ⁻¹)	NH ₄ ⁺ · N/ (μg · g ⁻¹)	非交换态铵/ (μg · g ⁻¹) Mineral fixed N
0~ 20	11.5	1.25	10.1	15.1	8.5	221.4
20~ 40	9.1	0.98	7.2	22.3	8.0	208.9
40~ 60	6.7	0.78	2.3	19.7	8.9	200.5
60~ 80	5.0	0.61	2.0	16.5	10.1	204.7
80~ 100	4.6	0.54	1.8	16.0	7.2	207.4

1.2 试验设计

1.2.1 甘肃省定西县唐家堡农业试验站试验 (1999-03~ 2000-07) 试验共设底墒、覆膜和施氮 3 个因子, 底墒设低、高 2 个水平, 每一底墒下设不覆膜, 覆膜 30 d, 60 d 和全生育期覆膜(简称全程覆膜)等 4 种方式, 各种覆膜方式下又设不施和每公顷施 75 kg N 2 个水平, 组成完全方案, 共 16 个处理, 3 次重复, 小区面积 18.5 m²。底墒处理集中成块, 覆膜方式在块内随机排列, 在不同覆膜方式下, 施氮处理又随机排列。以含 N 46% 的尿素为氮源, 以含 P₂O₅ 16% 的普通过磷酸钙为底肥, 每公顷施 750 kg 过磷酸钙。2 种肥料在播前均匀撒施后, 翻入土壤, 耙平覆膜后, 用穴播机穴播。以春小麦(*Triticum aestivum* L.) 为供试作物, 品种为陇春 8139-2, 该品种于 20 世纪 80 年代中期育成, 抗性强, 喜水肥, 耐阴湿, 灌浆快, 落黄好, 生育期 100 d 左右, 是近年来黄土高原半干旱地区大面积种植的主要品种。

1999 年试验。播前对高底墒处理每小区灌水 1.6 m³, 低底墒处理每小区灌水 1.0 m³, 灌后待地表干至能播种作业时多点采集土壤样品, 测定 0~ 200 cm 土层贮水量。经测定高底墒处理贮水量为 351.7 mm, 低底墒处理为 310.5 mm。于 1999-03-22 播种, 1999-07-27 收获, 全生育期 125 d, 期间共降水 239.9 mm。自播种之日起, 在覆膜和不覆膜处理小区中埋入地面温度计, 每天 8: 00, 14: 00, 18: 00 定时观测记录, 测定深度为 5 cm 处的土壤温度, 日均地温为每日 3 次与次日 8: 00 观测值的平均值。播种后每隔 30 d 从两个重复中采土, 采样深度为 200 cm, 每 20 cm 取 1 层, 进行土壤养分分析。收获时, 除去 4 周保护区, 每小区实收面积 13.21 m², 分籽粒和茎叶两部分计产。同时取分析样, 测定籽粒和茎叶含氮量。

播种后 30, 60, 90 d 及收获时用直径 8 cm 的取

根器在行与行间中心处取根, 播种后 30 d 每 20 cm 1 层, 取至 40 cm; 其余各期每 30 cm 为 1 层, 深度 120 cm。所取根样分层装入尼龙网袋中, 清水漂洗, 除去杂物和死根, 70℃ 烘至恒重, 称重; 与此同时, 在各小区随机采集 15 株, 测量株高后在 105℃ 下杀青, 70℃ 下烘至恒重后, 测定地上部分生物量; 并根据各期苗数折算后计算根冠比。

2000 年试验。1999 年试验收获后, 保持原小区深翻土壤后休闲, 待 2000 年继续进行试验。试验方案同 1999 年。试验于 2000-03~ 07 进行, 试验期间月平均气温为 12.8℃; 本年度作物生育期降水量为 91.1 mm, 较 1985~ 1999 年平均值 217.8 mm 低 126.7 mm, 较 1999 年低 148.8 mm, 为保证获得一定的产量, 在作物生长期间补充灌溉水 2 次(05-10 浇水 27 mm, 05-24 浇水 32 mm), 包括两次补充灌水在内, 作物生育期总供水仅 150.1 mm, 为极端干旱年。作物生长量很低, 在作物全生育期, 水分损失以蒸发为主, 作物生长期间水面蒸发量为 873.9 mm。高墒区处理在播种前 3 d 浇水以补充底墒, 施肥和供试春小麦品种均同 1999 年。2000-03-25 播种, 穴播, 行距 15 cm, 穴距 10 cm, 播量 250 kg/hm², 07-15 收获, 生育期 113 d。

播前低底墒土壤贮水量: 0~ 100 cm 为 137.66 mm, 0~ 180 cm 为 238.69 mm; 高底墒土壤的贮水量: 0~ 100 cm 为 199.08 mm, 0~ 180 cm 为 315.58 mm。

播前及播种后 30, 60, 90 d 和收获时分层采取 0~ 200 cm 土层土壤样品(每 20 cm 为 1 层), 用烘干法测定土壤含水量。收获时土壤样品除测定水分外, 还测定铵、硝态氮。

自播种之日起, 在覆膜处理小区和不覆膜处理小区中, 埋入地面温度计, 每天 8: 00, 14: 00, 20: 00 定时观测记录, 测定深度为 5 cm 处的土壤温度, 日

均地温为每日 3 次与次日 8:00 观测值的平均值。

播种后分别在 29, 46, 60, 75, 88 和 113 d 采取 1 次作物地上部样品与根系样品, 每次每小区采 1 m 长的地上部分, 固定 1 m 内的穴数(10 穴), 若不够时, 就近补充。根系用 8 cm 的取根器在行上与行中心各取 1 钻, 并混合, 深度采至无根土层为止, 在播种后 30 d 时基本采至 40 cm, 在其余各期采至 100 cm 左右。所取根样分层装入尼龙网袋中, 清水漂洗, 除去杂物和死根, 70℃ 烘干至恒重, 分别称重及粉碎后测定全氮。地上部样品采回后先将茎、叶、籽粒、颖壳等按部位分开, 再在 70℃ 烘干至恒重, 分别称重及粉碎后测定全氮。收获时, 除去 4 周保护区, 计产面积 2 m², 随机采集 15 株进行考种。

1.2.2 陕西杨陵西北农林科技大学土壤肥料试验站试验(2000-10~2001-06) 本试验仅研究地膜覆盖进程和施氮水平对土壤中 N₂O 释放量、作物产量和氮效率的影响。试验共设覆膜和施氮 2 个因子, 覆膜设不覆膜、覆膜 75 d(2001-01-05 揭膜)、150 d(2001-03-20 揭膜)和全生育期(简称全程覆膜, 2001-06-03 揭膜)等 4 种方式, 各种覆膜方式下又设不施和每公顷施 225 kg N 2 个水平, 组成完全方案, 共 8 个处理, 3 次重复, 随机排列, 小区面积 20 m²。以含 N 46% 的尿素为氮源, 以含 P₂O₅ 12% 的普通过磷酸钙为底肥, 每公顷施 150 kg P₂O₅。两种肥料在播前均匀撒施后, 翻入土壤, 耙平覆膜后, 用穴播机穴播。以冬小麦(*Triticum aestivum* L.)为供试作物, 品种为小堰 503。2000-10-19 播种, 2001-06-03 收获。收获时按小区分籽粒和茎叶两部分计产, 同时取分析样, 测定籽粒和茎叶含氮量。本年度小麦生育期降水量属中等水平, 因而具有一定的代表性。

1.3 土壤、植株分析和氮效率计算

1.3.1 土壤和植株分析方法 土壤水分用烘干法(105℃ 下烘 12~14 h), 有机质用重铬酸钾外加热法^[13], 全氮用开氏法^[14], 全磷用 HClO₄-H₂SO₄ 法^[15], 有效磷用 Olsen 法^[15], 机械组成用吸管法, 微生物体氮用熏蒸-培养法^[16], 土壤铵、硝态氮用 Bremner 法浸取(1 mol/L KCl 50 mL + 5 g 风干土壤, 振荡 1 h 过滤)后^[17], 流动注射分析仪测定^[18]。测出土壤含水量和铵态氮、硝态氮后, 根据土壤容重 1.25 g/cm³ 换算成 0~200 cm 土层的贮水量和 0~100 cm 土层的铵态氮、硝态氮贮存量。植株全氮用 Tekmar-10 型粉碎机粉碎后, 浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 开氏 1030 自动定氮仪测定, 小麦籽粒品质用 Perten 红外分析仪测定。试验结果用 SAS 软件进行差异显

著性检验和多重比较^[19]。

1.3.2 氮效率计算方法 氮效率分别用氮肥利用率、氮素利用效率、氮肥农学效率和氮肥生理效率等指标表示^[20, 21]。氮肥利用率是指作物地上部分从肥料中吸收的氮量占施氮量的百分数, 它的大小可以反映氮肥的利用程度; 氮素利用效率是指地上部分单位吸氮量所生产的籽粒或干物质质量, 它的大小可以反映吸氮量转化为产量或干物质的多少; 氮肥农学效率是指单位施氮量增加的产量, 它的大小可以评价氮肥的增产效果; 氮肥生理效率是指施氮后增加单位吸氮量所增加的产量, 它的大小可以评价因施氮增加的吸氮量转化为产量或干物质的效率。这 4 种指标用公式表示为:

氮肥利用率(%) = [(施氮小区地上部分吸氮量 - 不施氮小区地上部分吸氮量)/施氮量] × 100

氮素利用效率(kg/kg) = 籽粒(或干物质)产量/地上部分吸氮量

氮肥农学效率(kg/kg) = (施氮区产量 - 不施氮区产量)/施氮量

氮肥生理效率(kg/kg) = (施氮区产量 - 不施氮区产量)/(施氮区吸氮量 - 不施氮区吸氮量)

2 结果与分析

2.1 地膜覆盖进程、底墒和施肥对小麦产量的集成效应

由于地膜覆盖改变了土壤水、热和养分供应状况^[5, 12, 22~26], 因而最终影响产量^[3, 4, 23, 27, 28]。1999 年的试验发现, 增加底墒、地膜覆盖和施氮均会显著增加作物籽粒、茎叶和干物质产量(表 3)。3 个因子对籽粒和干物质的影响均达 1% 显著水平。从各因子的方差 F 值大小看, 氮肥($F_{\text{籽粒}} = 33.81^{**}$; $F_{\text{干物质}} = 41.50^{**}$) > 底墒($F_{\text{籽粒}} = 22.97^{**}$; $F_{\text{干物质}} = 41.98^{**}$) > 覆膜($F_{\text{籽粒}} = 6.54^{**}$; $F_{\text{干物质}} = 8.37^{**}$)。从因子之间对籽粒产量影响的交互作用看, 底墒、覆膜和施氮间相互基本无交互作用($F_{\text{底墒} \times \text{覆膜}} = 2.72$; $F_{\text{底墒} \times \text{氮肥}} = 0.37$; $F_{\text{氮肥} \times \text{覆膜}} = 0.87$; $F_{\text{底墒} \times \text{覆膜} \times \text{氮肥}} = 1.40$), 而对干物质, 底墒和覆膜间表现出显著的正交互作用($F_{\text{底墒} \times \text{覆膜}} = 3.35^{*}$)。

施氮对收获指数(HI)无规律性影响。但与低底墒相比, 高底墒时收获指数显著下降($P < 0.05$), 造成这一现象的原因在于增加底墒后, 籽粒的增加幅度(高底墒比低底墒平均增产籽粒 401 kg/hm²)显著小于茎叶的增加幅度(平均增产茎叶 863 kg/hm²), 后者是前者的 2.15 倍。

从产量构成来看, 在 1999 年(表 4), 低底墒条件下各覆膜处理中的穗长、小穗数、有效小穗数、穗重、穗粒数、穗粒重等指标均无显著影响, 而在高底墒条件下, 覆膜则显著影响这些指标, 并表现出显著的正效应, 以覆膜 60 d 和全程覆膜影响效果最为明显, 但覆膜 60 d 和全程覆膜 2 个处理对产量构成因素的影响差异不显著, 表明后期覆膜(60 d 以后至

收获)对春小麦产量的形成已无多大实际意义。籽粒产量的简单相关分析表明, 籽粒产量与穗长和有效小穗数间有极显著的正相关关系, 相关系数分别为 0.858 和 0.857 ($n=8$), 与穗数间有显著正相关关系, 相关系数为 0.774。说明覆膜后的增产效应主要是通过增加穗长和提高单株小穗数, 特别是有效小穗数来实现的。

表 3 覆膜和施氮对作物产量和吸氮量的影响(1999 年)

Table 3 Effects of plastic film mulching and nitrogen fertilizer application on crop yield and nitrogen up take in 1999									kg/hm ²
底墒 W SBS	覆膜 Mulching	施氮量 N FR	产量 Yield			吸氮量 N itrogen up take			
			籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Dry matter	籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Dry matter	
L	M 0	0	1 922 0 g	2 852 8	4 774 8 f	41. 87	15. 53	57. 40 f	
		75	2 554 0 cdef	3 505 5	6 059 5 cde	58. 11	20. 07	80. 18 bcde	
	M 30	0	2 067. 7 fg	3 151. 3	5 219 0 ef	49. 93	16. 36	66. 29 def	
		75	2 491. 4 cdef	3 840 6	6 332 0 cde	63. 56	25. 48	89. 04 abc	
	M 60	0	2 272 1 defg	3 239 4	5 511. 8 def	42. 77	18. 79	61. 56 ef	
		75	2 436 2 cdefg	3 654 0	6 090 2 cde	54. 10	20. 40	75. 79 bcdef	
	M w	0	2 276 4 defg	3 450 0	5 726 3 def	51. 85	14. 88	66. 72 def	
		75	2 750 1 bcd	4 041. 8	6 791. 9 cd	62. 22	18. 76	81. 42 bcd	
H	M 0	0	2 194 1 efg	3 398 5	5 592 5 def	45. 90	18. 35	64. 25 def	
		75	2 424 3 cdefg	3 801. 7	6 226 0 cde	51. 52	20. 04	71. 92 cdef	
	M 30	0	2 221. 1 defg	3 651. 6	5 872. 7 def	45. 35	23. 00	68. 35 def	
		75	3 138 5 ab	5 056 0	8 194 6 ab	67. 86	25. 04	92. 90 ab	
	M 60	0	2 858 1 abc	4 326 3	7 185 0 bc	62. 22	19. 96	82. 19 bcd	
		75	3 305 3 a	5 502 5	8 807. 8a	71. 39	31. 76	103. 15 a	
	M w	0	2 625 9 bcde	4 026 6	6 652 5 cd	54. 06	16. 01	70. 07 cdef	
		75	3 123 1 ab	4 874 6	7 997. 7ab	74. 47	31. 04	105. 51 a	

注:W SBS 表示底墒;NFR 表示施氮量;L 和 H 分别表示低底墒和高底墒,M 0,M 30,M 60 和 M w 分别表示不覆膜、覆膜 30 d、覆膜 60 d 和全程覆膜,下同。

Note:W SBS represents the water storage before sowing;NFR represents the application rate of nitrogen fertilizer;L and H represents the low and high water storage before sowing, respectively;M 0,M 30,M 60 and M w represents the non-mulching, mulching for 30 d, mulching treatment for 60 d, mulching treatment for the whole growth period after sowing, respectively. These are same for other tables in the paper.

表 4 不同处理的产量及其构成(1999 年)

处理 Treat- ment	产量/ (kg · hm ⁻²) Yield	增产率/% Incr.	收获 指数 H I	穗长/cm Spike length	小穗数 N umber of spiklet	有效小穗数 Valid num ber of spiklet	穗重/ (g · 穗 ⁻¹) Spike weight	穗粒数 N umber of grain	穗粒重/ (g · 穗 ⁻¹) Grain weight
L-M 0	2 554.0 c		0.500 a	6.509 c	12.69 b	11.40 b	1.841 ab	27.49 ab	1.265 ab
L-M 30	2 491.4 c	-2.45	0.407 e	6.010 c	13.62 b	12.09 ab	1.458 ab	13.62 ab	1.151 ab
L-M 60	2 436.2 c	-4.61	0.412 de	6.240 c	13.35 b	12.08 ab	1.457 ab	24.19 ab	1.118 ab
L-M w	2 750.1b c	7.68	0.435 c	6.911 bc	15.02 ab	13.27 ab	1.597 ab	17.13 ab	1.385 ab
H-M 0	2 424.3 c		0.420 d	6.647 c	12.40 b	11.18 b	1.085 b	20.69 b	0.818 b
H-M 30	3 138.5a b	29.46	0.417 d	7.262 abc	14.60 b	13.56 ab	1.536 ab	19.13 b	0.940 ab
H-M 60	3 305.3 a	36.34	0.405 e	8.234 a	18.40 a	15.29 a	1.959 a	32.27 a	1.433 ab
H-M w	3 123.1 ab	28.82	0.481 b	8.011 ab	15.96 ab	15.24 a	2.008 a	33.03 a	1.503 a
R ²			-	0.858 1	0.774 2	0.857 1	0.461 9	0.231 5	0.231 1

在 2000 年(表 5 和表 6),高底墒处理的作物籽粒产量和干物质产量明显高于低底墒处理。地膜覆盖可显著增加地上部分生物量。在不施氮情况下,低底墒处理中以全程覆膜效果最明显,但与覆膜 60 d

间的差异并不显著,覆膜 60 d 和覆膜 30 d 依次递减,不覆膜处理最低;而在施氮情况下,不覆膜与覆膜 30 d 的效果相当,覆膜 60 d 和全程覆膜间差异也不显著。在高底墒处理中,不施氮时各覆膜处理间没

有任何差异,其产量为 1 430~1 482 kg/hm²;施氮后,以全程覆膜的产量最高,与覆膜 30 d 和 60 d 间的差异达显著水平(表 5),但这种情况在 1999~2000 年的 8 组试验中只出现 1 次,从两个施氮水平平均看,不同处理间无任何差异。在对各种产量构成因子进行分析后发现,穗长、穗重、穗粒数、穗粒重等

指标在不同处理间并无显著性差异,而覆膜对小穗数和有效小穗数有一定影响,这与 1999 年的试验结果基本一致。氮肥效果除高底墒覆膜 30 d,60 d 和全程覆膜比较显著外,其余处理或者氮肥效果不明显,或者氮肥起到一定的负面影响,说明在特别干旱年份,当底墒不足时,施用氮肥要特别谨慎。

表 5 春小麦不同处理的产量和吸氮量变化(2000 年)

Table 5 Effects of mulching time on yield and nitrogen uptake in 2000

kg/hm²

底墒 W SBS	覆膜 Mulching	施氮量 N FR	产量 Yield			吸氮量 N itrogen uptake		
			籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Dry matter	籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Dry matter
L	M 0	0	1 100 24	2 241 43	3 341 67	27 32	6 51	33 83
		75	833 91	1 857 76	2 691 67	31 13	8 85	47 95
	M 30	0	1 076 80	1 956 53	3 033 33	33 43	6 29	46 05
		75	886 15	1 788 85	2 675 00	33 65	7 10	49 38
	M 60	0	1 109 00	2 207 67	3 316 67	28 98	5 91	41 31
		75	1 202 85	2 088 82	3 291 67	23 47	7 32	37 19
	M w	0	1 286 88	2 388 12	3 675 00	26 54	7 04	42 46
		75	1 201 51	2 656 83	3 858 33	31 57	8 32	49 13
H	M 0	0	1 482 46	3 192 54	4 675 00	29 81	5 45	41 03
		75	1 375 73	3 432 60	4 808 33	36 74	8 27	55 80
	M 30	0	1 430 04	2 786 63	4 216 67	37 07	7 38	53 88
		75	1 763 32	3 620 01	5 383 33	27 99	6 68	40 17
	M 60	0	1 461 45	2 430 22	3 891 67	34 40	5 73	47 98
		75	1 771 39	3 820 27	5 591 67	31 62	7 41	46 98
	M w	0	1 448 03	3 268 64	4 716 67	35 58	7 22	45 57
		75	2 144 52	4 230 48	6 375 00	27 74	6 85	42 88

表 6 春小麦不同处理的产量及其构成(2000 年)

Table 6 Yield and its comparison under different treatments in 2000

处理 Treat- ment	籽粒产量/ (kg · hm ⁻²) Grain yield	增产率/% Incr	收获 指数 H I	穗长/cm Spike length	小穗数 Number of spiklet	有效小穗数 Valid number of spiklet	穗重/ (g · 株 ⁻¹) Spike weight	穗粒数 Number of grain	穗粒重/ (g · 株 ⁻¹) Grain weight
L-M 0	967.07 c		0.32 a	4.56 a	7.51 c	5.80 b	9.13 a	10.79 a	6.26 a
L-M 30	981.48 c	1.49	0.34 a	4.63 a	8.27 abc	6.28 b	8.32 a	10.96 a	5.65 a
L-M 60	1 155.92 bc	19.53	0.35 a	4.58 a	7.65 c	6.09 b	8.08 a	11.02 a	5.28 a
L-M w	1 244.20 abc	28.66	0.33 a	4.69 a	7.89 bc	6.22 b	8.36 a	11.61 a	5.64 a
H-M 0	1 429.10 abc		0.30 a	4.68 a	8.30 abc	6.57 b	9.40 a	12.07 a	6.68 a
H-M 30	1 596.68 ab	11.73	0.33 a	4.66 a	9.05 ab	6.78 ab	8.86 a	11.00 a	5.81 a
H-M 60	1 616.42 ab	13.11	0.35 a	4.94 a	9.27 a	6.93 ab	9.48 a	12.31 a	6.17 a
H-M w	1 796.28 a	25.69	0.32 a	4.81 a	9.43 a	8.04 a	8.71 a	11.14 a	5.65 a

在冬小麦上进行的试验表明(表 7),覆盖地膜后干物质和籽粒产量显著增加($P < 0.01$)。从两个施氮水平平均看,覆膜 75 d,150 d 和全程覆膜,平均增加干物质 2 704(60.8%),3 295(74.1%)和 2 650 kg/hm²(59.6%),增加籽粒 1 146(57.6%),1 005(50.5%)和 1 104 kg/hm²(55.4%),但无论是干物质,还是籽粒,覆膜 75 d,150 d 和全程覆膜处理间的差异不显著,在这 3 个处理中,最大干物质产量和最小产量之间相差 645 kg/hm²,最大籽粒产量和最小产量之间仅相差 42 kg/hm²,籽粒相差值远

远小于试验误差,这一规律基本与春小麦试验结果相一致。施氮后产量虽然增加,但增加幅度远小于覆盖地膜的效应,从不同覆膜处理平均看,施氮后可增加干物质 776 kg/hm²(12.4%),籽粒 298 kg/hm²(11.2%)。氮肥效果低的主要原因在于播种前土壤剖面中累积有大量的 NO₃⁻-N。测定结果表明,0~100 cm 土层中 NO₃⁻-N 累积量为 1 210 kg/hm²,累积的这些 NO₃⁻-N 基本上能够满足冬小麦一生中氮素的需要。

从 1999~2000 年春小麦的试验结果可以看出,

无论生育年份的降雨量如何, 全生育期地膜覆盖, 对产量的形成均无意义, 甚至导致产量下降; 从 2001 年的冬小麦试验结果来看, 至少在降水正常年份, 全

表 7 不同地膜覆盖处理对冬小麦产量的影响(2001 年)

Table 7 Effects of different mulching treatments on the winter wheat yield in 2001								kg/hm ²
覆膜 Mulching	施氮 NFR	产量 Yield			吸氮量 N itrogen uptake			
		籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Dry matter	籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Dry matter	
M 0	0	1 863	2 277	4 140	37. 3	4 6	41. 9	
	225	2 120	5 335	4 755	49 3	6 4	55 6	
M 75	0	2 776	3 552	6 328	61. 4	7. 8	69. 2	
	225	3 497	4 479	7 976	79 5	11. 1	90 6	
M 150	0	2 905	4 611	7 516	58 0	10 5	68 5	
	225	3 088	4 883	7 971	64 4	12 2	76 6	
Mw	0	3 079	3 878	6 957	66 5	8 2	74 7	
	225	3 111	4 229	7 340	70 4	9 4	79 8	
L SD 0. 05		318. 7	321. 5	637. 2	5. 9	1. 2	7. 4	

注:M 0,M 75,M 150 和Mw 分别表示不覆膜, 播种后覆膜 75 d, 150 d 和全生育期覆膜, 下同。
Note:M 0,M 75,M 150 and Mw represents non-mulching, mulching for 75 d, mulching for 150 d after sowing and mulching treatment for the whole growth period, respectively. These are same for other tables in the paper

2.2 地膜覆盖进程、底墒和施肥对小麦吸氮量的集成效应

吸氮量是产量和含氮量的综合表现, 是反映覆膜、施肥和底墒各种效果的有效指标。地膜覆盖、底墒和施氮量对小麦吸氮量的影响与对产量的影响基本一致(表 3、表 6 和表 7)。1999 年, 底墒和施氮对吸氮量的影响达 1% 显著水平, 而覆膜对吸氮量的影响达 5% 显著水平; 从因子间的交互作用看, 对地上部分吸氮量, 只有底墒和覆膜间表现出显著的正交互作用。从不施氮和施氮平均看, 在低底墒时, 吸氮量以覆膜 30 d 时最大; 在高底墒时, 以覆膜 60 d 最大, 以不覆膜最低, 但不覆膜与覆膜 30 d、覆膜 60 d 与全程覆膜间的差异不显著(表 3)。

2000 年的试验结果表明(表 5), 高底墒条件下不同覆膜处理时, 作物吸氮量略高于低底墒条件下的同等覆膜处理。不同覆膜处理对吸氮量的影响不显著。施氮虽然对产量存在着各种各样的影响, 但施氮后同时也改变了作物体含氮量, 因此对吸氮量基本没有影响。在低底墒处理中, 地上部分吸氮量为 33.8~49.4 kg/hm²; 高底墒处理中, 地上部分吸氮量为 40.2~55.8 kg/hm², 其差异远比 1999 年小。

春小麦不同生育期含氮量和吸氮量的测定结果表明(表 8), 从苗期到收获, 茎、叶和根的含氮量逐渐减小, 抽穗以后, 穗部含氮量逐渐增加, 产生这种变化的原因有两方面, 一是在小麦生长前期, 茎、叶和根系生物量增加较快, 因为稀释效应造成含氮量逐渐减小; 另一方面, 抽穗以后小麦由以营养生长为

主逐渐转为以生殖生长为主, 茎、叶中的养分和同化物逐渐向穗部转移, 所以穗部含氮量逐渐增加。不仅不同部位吸氮量高峰出现的时期不同, 而且也与不同覆膜处理进程有关(表 8)。茎叶的总吸氮量在播种后 75 d(抽穗-扬花期)达到最大, 其中以全程覆膜处理吸氮量最大, 其次依次是覆膜 60 d、不覆膜和覆膜 30 d 处理。根系的吸氮量一直到收获时才达到最大, 不同地膜覆盖进程对根系吸氮量的影响顺序为 M 30> Mw> M 60> M 0; 穗部(籽粒+ 颖壳)的吸氮量也在收获时达到最大, 不同覆膜处理的影响顺序为 M 30> Mw> M 60> M 0; 不同覆膜处理对籽粒吸氮量的影响顺序与对穗部的影响相同。将收获时相同处理的作物各部位吸氮量相加, 即得作物总体吸氮量, 地膜覆盖进程对作物总体吸氮量的影响次序依然是 M 30> Mw> M 60> M 0。由此可见, 覆膜 30 d 处理的吸氮量最大, 并且此处理的穗部吸氮量最大, 而茎叶吸氮量最小。可见, 在作物生长前期覆膜, 能够促进作物生长后期茎叶中的养分向穗部(籽粒)转移, 能够增加“养分收获指数”。

2001 年冬小麦试验结果表明(表 7), 地膜覆盖进程和施氮对作物吸氮量的影响, 与对干物质和籽粒产量的影响基本相同。覆盖地膜后作物吸氮量显著增加($P<0.01$), 从两个施氮水平平均看, 覆膜 75 d, 150 d 和全程覆膜, 作物吸氮量平均增加 31.2 (64.0%), 23.9(49.1%)和 28.6 kg/hm² (58.7%)。覆膜 75 d, 150 d 和全程覆膜处理间差异没有达到显著水平, 在这 3 个处理中, 最大吸氮量和最小吸氮

量仅相差 12 0 kg/hm²。施氮后吸氮量虽然增加,但量增加 7. 3 kg/hm²,增加值在试验误差范围内。增加幅度有限,从不同覆膜处理平均看,施氮后吸氮

表 8 低墒区各处理吸氮量的动态变化(2000 年)

Table 8 Dynamic changes of uptake nitrogen under different treatment in 2000					kg/hm ²
播种后天数/d DAS	部位 Location	L M 0	L M 30	L M 60	L M w
29	茎叶 Straw	231. 77	-	-	56. 09
	根 Root	60. 75	-	-	11. 90
46	茎叶 Straw	435. 84	540. 37	-	596. 77
	根 Root	21. 70	20. 61	-	19. 62
60	茎 Stem	111. 85	88. 72	-	112. 87
	叶 Leaf	316. 61	209. 00	-	248. 77
	根 Root	22. 66	24. 85	-	32. 38
75	茎 Stem	728. 86	604. 81	967. 55	913. 63
	叶 Leaf	640. 55	555. 63	627. 53	726. 02
	穗 Spike	315. 27	295. 25	473. 70	513. 48
	根 Root	61. 79	58. 66	66. 99	59. 44
88	茎 Stem	713. 77	718. 99	678. 33	777. 43
	叶 Leaf	540. 32	524. 73	459. 80	517. 82
	穗 Spike	681. 15	656. 04	786. 91	801. 23
	根 Root	107. 98	88. 34	100. 17	118. 22
113	茎 Stem	674. 31	965. 74	900. 50	1 136. 36
	叶 Leaf	104. 04	100. 91	103. 53	106. 31
	籽粒 Grain	2 120. 34	3 356. 24	2 626. 18	2 901. 99
	根 Root	510. 15	855. 23	740. 63	825. 97
	颖壳 Grain crust	76. 29	65. 72	70. 70	75. 30

2 3 地膜覆盖进程、底墒和施肥对小麦氮效率的集成效应

由于地膜覆盖和底墒显著影响作物的产量及吸氮量,必然也影响作物的氮肥利用率。1999 年,在低底墒不覆膜和覆膜 30 d 时,氮肥利用率最高(表 9),分别为 30. 4% 和 30. 3%,而覆膜 60 d 和全程覆膜

时氮肥利用率下降,分别为 19. 0% 和 19. 6%;在高底墒不覆膜时氮肥利用率最低,为 10. 1%,并随覆膜持续时间延长而显著增加,覆膜 30 d,60 d 和全程覆膜时分别为 32. 7%,34. 2% 和 38. 9%。底墒对氮肥利用效率的影响,主要与土壤提供有效氮的多少和作物吸氮量的高低有关。

表 9 1999 年不同处理的氮效率

Table 9 Nitrogen efficiency under different treatments in 1999					
底墒 W SBS	覆膜 Mulching	氮素利用效率/ (kg · kg ⁻¹) NUE	氮肥农学效率/ (kg · kg ⁻¹) NFAE	氮肥生理效率/ (kg · kg ⁻¹) NFPE	氮肥利用率/% NFUE
L	M 0	32. 7	8. 4	27. 7	30. 4
	M 30	29. 6	5. 7	18. 6	30. 3
	M 60	34. 5	2. 2	11. 5	19. 0
	M w	34. 0	6. 3	32. 2	19. 6
	平均 Mean	32. 7	5. 7	22. 5	24. 8
H	M 0	33. 9	3. 1	30. 0	10. 2
	M 30	33. 2	12. 2	37. 4	32. 7
	M 60	33. 4	6. 0	1. 3	34. 2
	M w	33. 6	6. 6	14. 0	38. 9
	平均 Mean	33. 5	7. 0	25. 7	29. 0

注:NUE,NFAE,NFPE 和 NFUE 分别代表氮素利用效率、氮肥农学效率、氮肥生理效率和氮肥利用率。下同。
Note: NUE, NFAE, NFPE and NFUE represents the nitrogen utilization efficiency, nitrogen fertilizer agronomic efficiency, nitrogen fertilizer physiological efficiency and nitrogen fertilizer use efficiency, respectively. The following tables are the same

1999 年的试验结果(表 9)表明,施氮后氮素利用效率略有降低,说明有相当一部分氮在体内累积起来,未能转化为籽粒或干物质,两种底墒的情况完全一致。不同覆膜处理中,低底墒时,施氮与不施氮相比,施氮使籽粒的氮素利用效率平均降低了

2. 4 kg/kg,使干物质氮素利用效率平均降低 6. 7 kg/kg,在高底墒时,使籽粒氮素利用效率平均降低 2. 4 kg/kg,使干物质氮素利用效率平均降低 4. 8 kg/kg。

2000 年的试验结果与 1999 年的截然不同(表

10)。对氮素利用效率,高底墒处理的平均结果显著高于低底墒处理,在低底墒处理中以覆膜 60 d 最大,高底墒处理中以全程覆膜最大;从氮肥农学效率指标看,也是高底墒处理比低底墒高,在低底墒处理中,只有覆膜 60 d 才是正值,其余均为负值,在高底墒处理中,不覆膜处理为负值,其余均为正值,并以

全程覆膜时最大;从氮肥利用率看,无论底墒高低,均以不覆膜处理的最高。与 1999 年试验结果相比,2000 年的各种氮效率都较小,说明干旱年份氮肥效果不突出,甚至产生一定的负效应。这表明在干旱地区施用氮肥时应该充分考虑降水情况^[29,30]。

表 10 2000 年不同处理的氮效率

Table 10 Nitrogen efficiency under different treatments in 2000					
底墒 W SBS	覆膜 Mulching	氮素利用效率/ (kg · kg ⁻¹) NUE	氮肥农学效率/ (kg · kg ⁻¹) NFAE	氮肥生理效率/ (kg · kg ⁻¹) NFPE	氮肥利用率/% NFUE
L	M 0	17.39	- 3.55	- 8.72	18.83
	M 30	17.95	- 2.54	- 57.24	4.44
	M 60	32.34	1.25	- 22.79	- 5.49
	Mw	24.46	- 1.14	- 12.79	8.90
	平均 Mean	23.03	- 1.50	- 25.38	6.67
H	M 0	24.65	- 1.42	- 7.22	19.70
	M 30	43.89	4.44	- 24.30	- 18.28
	M 60	37.70	4.13	- 309.34	- 1.34
	Mw	50.01	9.29	- 259.02	- 3.59
	平均 Mean	39.06	4.11	- 149.97	- 0.88

在 2001 年,由于在播种时土壤中有大量 NO₃-N 累积,氮肥效果较低,氮肥利用率不高(表 11),在不覆膜、覆膜 75 d、150 d 和全程覆膜处理时,氮肥利用率分别为 6.1%、9.1%、3.6% 和 2.2%,以覆膜 75 d 氮肥利用率最高,之后,随着覆膜进程的进一步延长,氮肥利用率下降。氮肥农学效率和氮肥生理效率与氮肥利用率的变化规律一致,仍以覆膜 75 d 最高。覆膜对氮素利用效率基本没有影响,但施氮后,氮素利用效率明显下降,施氮(氮素利用效率平

均为 39.0 kg/kg)比不施氮(平均为 42.1 kg/kg)平均下降 3.1 kg/kg。覆膜对氮肥利用率、氮肥农学效率和氮肥生理效率的影响,显然与地膜覆盖对作物产量和土壤养分状况的影响有关。覆膜 75 d,产量显著增加,氮肥利用率、氮肥农学效率和氮肥生理效率增加,随着覆膜进程的进一步延长,产量虽然变化不大,但由于土壤水热状况的改善,土壤氮素的生物有效性增加,从而导致氮肥利用率、氮肥农学效率和氮肥生理效率下降。

表 11 2001 年不同处理的氮效率

Table 11 Nitrogen efficiency under different treatments in 2001				
覆膜 Mulching	氮素利用效率/ (kg · kg ⁻¹) NUE	氮肥农学效率/ (kg · kg ⁻¹) NFAE	氮肥生理效率/ (kg · kg ⁻¹) NFPE	氮肥利用率/% NFUE
M 0	41.3	1.14	18.8	6.1
M 75	39.4	3.20	33.7	9.5
M 150	41.4	0.81	22.6	3.6
Mw	40.1	0.40	6.3	2.2

3 讨 论

覆膜对春小麦产量和吸氮量的效应因底墒、施氮和覆膜进程而异。从 1999 年试验结果看,不施氮和施氮,在低底墒时,各种覆膜处理的籽粒、茎叶和干物质产量虽有增加,但与不覆膜处理间的差异并不显著;在高底墒时,不管是籽粒,还是干物质,以覆膜 60 d 最大,以不覆膜最低,但不覆膜与覆膜 30 d、覆膜 60 d 和全程覆膜间差异并不显著。氮肥肥效也因底墒和覆膜进程而异:低底墒不覆膜和覆膜 30 d

的氮肥增产效果最显著,覆膜 60 d 后,氮肥增产效果下降,并随覆膜进程的持续而减少。高底墒时以覆膜 30 d 的氮肥增产效果最高,不覆膜最低。从 2000 年的试验结果看,地膜覆盖显著影响地上部分生物量。在不施氮条件下,低底墒处理中以覆膜 30 d 效果最明显,覆膜 60 d 和全程覆膜依次递减,不覆膜者最低,而施氮后,不覆膜与覆膜 30 d 的效果相当,覆膜 60 d 和全程覆膜间的差异也不显著;在高底墒处理中,不施氮时各覆膜处理间没有任何差异,其产量为 1 430~ 1 482 kg/hm²;施氮后,以全程覆膜的

产量最高,与覆膜 30 d 和 60 d 间的差异达显著水平,这种情况在作者进行的 11 组试验中(本研究为 8 组,以前 3 组)仅出现 1 次,属小概率事件,如果从两个施氮水平平均看,不同覆膜处理间也无任何差异;由于不同覆膜处理对作物体含氮量基本没有影响,因此,不同覆膜处理对作物吸氮量的影响与对产量的影响相同。但值得提出的是,在春小麦生长前期覆膜(如播种后覆膜 30 d)能够促进作物生长后期茎叶中的养分(氮素)向穗部(主要是籽粒)的转移。

对两年春小麦试验中各种产量构成因子进行分析后发现,小穗数和有效小穗数是地膜覆盖影响产量的主要因素。氮素利用效率与作物生育期降水量有很大关系,在降水量高的 1999 年,低底墒在不覆膜和覆膜 30 d 时,氮肥利用率最高,分别为 30.4% 和 30.3%,而 60 d 和全程覆膜时下降,分别为 19.0% 和 19.6%;在高底墒,不覆膜时最低,为 10.1%,并随覆膜持续时间的增加而显著提高,覆膜 30 d、60 d 和全程覆膜时分别为 32.7%、34.2% 和 38.9%。这种底墒对氮肥利用效率的影响,主要与土壤提供有效氮的多少和作物吸氮量的高低有关。

在极端干旱的 2000 年,各种氮素利用效率与 1999 年截然不同。对氮素利用效率,高底墒处理的平均结果显著高于低底墒处理,在低底墒处理中以覆膜 60 d 最大,高底墒处理中以全程覆膜最大。从氮肥农学效率来看,平均也是高底墒处理比低底墒高,在低底墒处理中,只有覆膜 60 d 才是正值,其余均为负值;在高底墒处理中,不覆膜处理为负值,其

余均为正值,并以全程覆膜时最大。从氮肥利用率看,无论底墒高低,均以不覆膜的最高。与 1999 年试验结果相比,2000 年的各种氮效率都小于 1999 年,说明极其干旱年份氮肥效果不突出,甚至产生一定的负效应^[29,30]。

在 2001 年冬小麦试验中,无论是干物质,还是籽粒,覆膜 75 d、150 d 和全程覆膜处理之间差异不显著,籽粒最大产量和最小产量间仅相差 42 kg/hm²,这一差值远远小于试验误差;地膜覆盖进程和施氮对作物吸氮量的影响,与对干物质和籽粒产量的影响基本相同。覆盖地膜后作物吸氮量显著增加。从两个施氮水平平均看,覆膜 75 d、150 d 和全程覆膜处理的吸氮量之间的差异也没有达到显著水平,在这 3 个处理中,最大吸氮量和最小吸氮量仅相差 12.0 kg/hm²。以覆膜 75 d 氮肥利用率最高,之后随着覆膜进程的进一步延长,氮肥利用率下降;氮肥农学效率和氮肥生理效率与氮肥利用率的变化规律相一致,仍以覆膜 75 d 最高。

虽然春小麦和冬小麦生育期不同,生长期间经历的气候变化不同,但地膜覆盖进程对作物产量和氮素效率的影响规律基本相同。覆膜的作用主要表现在作物生长的前期和中期,后期基本没有效果。

地膜覆盖是否能够改善品质,迄今没有研究报道。为了阐明这一问题,笔者分别用 Perten 红外分析仪测定了不同地膜覆盖模式下春小麦和冬小麦的籽粒品质(表 12、13)。

表 12 地膜覆盖对春小麦籽粒品质的影响

Table 12 Effect of plastic film mulching on quality of spring wheat

底墒 W SBS	覆膜 Mulching	施氮/ (kg·hm ⁻²) N FR	蛋白质/(g·kg ⁻¹) Protein	硬度/% Hardness	沉淀值/mL Zeleny	烘烤体积/mL RM T	湿度/% Moisture
L	M 0	0	142	51.7	17.3	490.7	13.4
		75	147	50.7	16.0	485.7	13.5
	M 30	0	142	50.3	15.3	485.7	13.5
		75	148	52.3	18.0	495.0	13.7
	M 60	0	141	51.7	18.3	495.0	13.6
		75	147	51.7	16.7	486.3	13.2
	M w	0	140	49.0	14.0	481.3	13.5
		75	153	48.3	12.7	475.3	13.4
H	M 0	0	142	49.3	13.7	483.0	13.8
		75	153	50.3	15.3	485.0	13.5
	M 30	0	143	50.7	15.0	482.3	13.3
		75	148	52.7	18.7	495.0	13.5
	M 60	0	142	49.0	13.0	477.0	13.4
		75	149	50.7	15.3	483.3	13.2
	M w	0	147	47.7	10.7	467.3	13.1
		75	15.1	47.5	9.7	468.2	13.5

表 13 地膜覆盖对冬小麦籽粒品质的影响

Table 13 Effect of plastic film mulching on quality of winter wheat

覆膜 Mulching	施氮/ (kg·hm ⁻²) NFR	蛋白质/(g·kg ⁻¹) Protein	硬度/% Hardness	沉淀值/mL Zeleny	烘烤体积/mL RM T	湿度/% Moisture
M 0	0	136	66.9	47.7	672.0	11.8
	225	136	66.1	48.4	677.7	11.6
M 75	0	137	67.2	47.9	673.0	11.7
	225	135	67.1	48.0	674.0	11.7
M 150	0	135	66.5	47.8	675.7	11.9
	225	133	65.0	46.2	676.7	11.8
Mw	0	138	67.9	48.3	668.0	11.8
	225	137	67.2	48.1	673.7	11.6

表 12, 13 的结果表明, 无论是春小麦, 还是冬小麦, 地膜覆盖对籽粒品质的各项指标没有显著影响。对春小麦, 全程覆膜处理的小麦籽粒硬度、沉淀值和烘烤体积有下降趋势, 但统计结果不显著。从两次试验结果看, 覆膜并没有使小麦品质得到改善, 全生育期覆膜甚至还使一些指标有下降趋势。一般认为, 在小麦开花到成熟期, 当地温超过 32℃ 时, 籽粒蛋白质含量下降, 而且不利于面团的形成, 导致烘烤体积减小^[31]。全生育期覆膜, 在小麦生长后期, 特别是在成熟期, 土壤温度往往超过 32℃, 甚至更高。因此从

这个观点出发, 至少全程覆膜可能会对品质的改善起到一定的负面效应, 但这仍然需要进一步验证。从总体上看, 全程地膜覆盖并没有使春小麦和冬小麦的产量、吸氮量和氮效率大幅度提高, 从维持土壤肥力和土壤生态条件以及保持农业生产的持续发展出发, 不应提倡全程和长期的地膜覆盖, 春小麦以播种后覆膜 30~ 60 d 为宜; 对冬小麦, 虽然覆膜 75 d (01-05 揭膜) 和 150 d (03-29 揭膜) 差异不显著, 但为了减少冬季和春季土壤水分的蒸发损失, 在覆膜 150 d 左右 (拔节初期) 揭膜比较合适。

[参考文献]

[1] 山 仑, 陈国良. 黄土高原旱地农业的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1- 5

[2] 韩思明, 李 岗, 寸待贵. 旱作小麦不同地膜覆盖栽培模式对土壤水分及产量影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(专辑): 19- 25

[3] 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

[4] Ravi V, Lourduraj A C. Comparative performance of plastic mulching on soil moisture content, soil temperature and yield of rainfed cotton [J]. Madras Agric J, 1996, 83: 709- 711.

[5] Quezada M, Maria R, Munguia L, et al. Plastic mulching and availability of soil nutrients in cucumber crop[J]. TERRA (Mexico), 1995, 13: 136- 147.

[6] Mohapatra B K, Lenka D, Naik D. Effects of plastic mulching on yield and water use efficiency in maize[J]. Annals of Agric Res, 1998, 19: 210- 211.

[7] Al Assad IA, Rubeiz IG, Khoury R Y. Response of fall greenhouse cos lettuce to clear mulch and nitrogen fertilizer[J]. J Plant Nutr, 1991, 14(10): 1017- 1022

[8] Hasure R R, Umrani N K. Effects of irrigation water saving methods (mulches) on uptake of nutrients in summer sunflower[J]. Journal of Maharashtra Agricultural Universities, 1995, 20(3): 485

[9] Shama P K, Pamard K. The effect of phosphorus and mulching on the efficiency of phosphorus use and productivity of wheat grown on a mountain Alfisol in the Western Himalayas[J]. Soil Use Manage, 1998, 14(1): 25- 29

[10] 王喜庆, 李生秀, 高亚军. 地膜覆盖对旱地春玉米生理生态和产量的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(3): 348- 353

[11] Matitschka G, Hahndel R, Wichmann W. Mineral N dynamic, N uptake and growth of lettuce as affected by mulch [J]. Acta Horticulture, 1996, 428: 85- 94

[12] Ruppel S, Maksit E. Effects of black plastic mulch on nitrogen balance in cultivation of pickles (*Cucumis sativas* L.) [J]. Gartenbau wissenschaft, 1996, 61(5): 230- 237.

[13] Nelson D W, Sommers L E. Total carbon, organic carbon and organic matter[A]. Page A L. Methods of soil analysis (Part 2) [C]. Madison, WI, USA: Am Soc of Agron, 1982, 9(Agronomy): 539- 594

[14] Bremner J M, Mulvaney C S. Nitrogen-total[A]. Page A L. Methods of soil analysis[C]. Part 2 Madison, WI, USA: Am Soc of Agron, 1982, 9(Agronomy): 595- 624

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 80- 98

[16] 李世清, 李生秀. 土壤微生物体氮测定方法的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 74- 82

- [17] Bremner J M. Inorganic forms nitrogen[A]. Black C A. Methods of soil analysis[C]. Part 2 Madison W is, U SA: Am Soc of Agron, 1965, 9(Agronomy): 1179- 1237.
- [18] Smith K A, Scott A. Continuous-flow and discrete analysis[A]. Smith K A. Soil analysis[C]. New York, U SA: Marcel Dekker Inc, 1983, 115- 169
- [19] 裴春喜, 薛河儒. SAS 及应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 1988 81- 82
- [20] 李韵珠, 黄元仿. 冬小麦的氮素利用率和供水关系[A]. 李韵珠. 土壤水和养分的有效利用[C]. 北京: 北京农业大学出版社, 1994 139- 148
- [21] Bock B R. Efficient use of nitrogen in cropping systems[A]. Hauck R D. Nitrogen in crop production[C]. Madison, W is, U SA: Am Soc of Agron, 1984 273- 294
- [22] 陈锡时, 郭树凡, 汪景宽, 等. 地膜覆盖栽培对土壤微生物种群和生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 1998, 9(4): 435- 439
- [23] 黄义德, 张自立, 魏凤珍. 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
- [24] 刘金城, 杨晶秋, 白成云. 地膜覆盖下土壤有机质的分解与积累[J]. 华北农学报, 1991, 6(1): 99- 104
- [25] 宋凤斌. 玉米地膜覆盖增产的土壤生态学基础[J]. 吉林农业大学学报, 1991, 13(2): 4- 7
- [26] 汪景宽, 张继宏, 须相成, 等. 地膜覆盖对土壤肥力影响的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1992, 23(增刊): 32- 37
- [27] Unger P W. Role of mulches in dryland agriculture[A]. Gupta U S. Crop physiology[C]. New Delhi: Oxford and BH, 1975, 237- 260
- [28] Zaogo C G L, W endt C W, L ascano, et al. Interactions of water, mulch and nitrogen on sorghum in Niger[J]. Plant and Soil, 1997, 197: 119- 126
- [29] Leggett G E, Reisenauer H M, Nelson W L. Fertilization of dry land wheat in eastern Washington[J]. Washington: Agric Exp Stn Bull, 1959, 602
- [30] Jackson T L, Halvorson A D, Tucker B B. Soil fertility in dryland agriculture[A]. Drege H E, Willis W O. Dryland agriculture[C]. Madison, W is U SA: Am Soc of Agron, Inc, 1983, 297- 332
- [31] 金善宝. 中国小麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996 905- 932

Effects of plastic film mulching models and nitrogen fertilizer on wheat yield and nitrogen efficiency

SHEN Xin-lei¹, HUANG Si-guang¹, WANG Jun², LING Li¹, LI Shi-qing^{1,2}, LI Feng-min²

(1 College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University

of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 State Key Laboratory of Arid Agroecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract Field experiments have been carried out on loess plateau in middle part with 415 mm average precipitation and in south part with 632 mm precipitation per year. In these experiments, spring wheat (*Triticum aestivum*) and winter wheat (*Triticum aestivum*) have been used as indicating crops to study the effects of plastic film mulching (for spring wheat, including non-mulching, mulching for 30 days and 60 days after sowing, and mulching for the whole growing period; and for winter wheat, including non-mulching, mulching for 75 days and for 150 days after sowing, and mulching for the whole growth period) and nitrogen fertilizer application (for spring wheat, including no nitrogen application and nitrogen application 75 kg N/hm², and for winter wheat, including no nitrogen application and nitrogen application 225 kg/hm²) on wheat yield and N efficiency. The results showed that the effects of plastic film mulching on the yield and N efficiency differed according to the soil water storage amount before sowing, the application of N fertilizer, the course of plastic film mulching and rainfall in the growth periods. In 1999 with rich rainfall, no matter whether nitrogen fertilizer was applied or not, under the condition of low soil water storage before sowing, although the grain, straw and biomass yield under all the film mulching treatments increased, there was no significant difference compared with non-mulching treatment (control); under the condition of high soil water storage before sowing, both grain and dry matter had the highest yield after film mulching for 60 days, and non-film mulching had the lowest one. But, there was no significant difference between the non-mulching treatment and film mulching for 30 days, and between film mulching for 60 days and film mulching for the whole growth period. In 2000 with the extreme drought, film mulching affected significantly the biomass yield. Under the conditions of low soil water storage before

sowing and no application of nitrogen fertilizer, biomass yield increased markedly in the treatment of film mulching for 30 days, then was the treatment of film mulching for 60 days, and the last was the treatment of film mulching for the whole growth period. After applying nitrogen fertilizer, the biomass yield's difference between the non-film mulching and the film mulching for 30 days, and between film mulching for 60 days and film mulching for the whole growth period did not reach significant level. In dealing with the plot of high soil water storage before sowing, if nitrogen fertilizer was not applied, there was not any difference, no matter how plastic film was mulched. The grain yield ranged from $1\,430\text{ kg/hm}^2$ to $1\,482\text{ kg/hm}^2$. When nitrogen fertilizer applied, the grain yield in the treatment of film mulching for the whole growth period was the highest, and there was no significant difference between the film mulching for 30 days and for 60 days. According to the average of two rates of nitrogen fertilizer application, there was no significant difference among various film mulching treatments. Because there weren't notable difference of crop nitrogen content between different mulching treatments, the effect of film mulching treatment on crop uptake of nitrogen was the same as the effect on crop yield. But, it was obvious that film mulching during the earlier growth stage (e.g. film mulching for 30 days after sowing) could improve the nitrogen to transfer from straws to spikes (mainly in grain) in later growth stage. According to the analysis of the factors affecting the yield in two year's experiments, the effects of film mulching on the number of spikelet and the valid number of spikelet were mainly factors affecting the grain yield. At the same time, the effects of film mulching course on the nitrogen fertilizer efficiency were related to precipitation in crop growth stage. In the year with rich rainfall, under low soil water storage before sowing, nitrogen fertilizer efficiency was the highest in the treatments of non-film mulching and film mulching for 30 days, they were 30.4% and 30.3% respectively, while nitrogen fertilizer efficiency decreased in the treatments of film mulching for 60 days and film mulching for the whole growth period, they were 19.0% and 19.6% respectively; under high soil water storage before sowing, nitrogen fertilizer efficiency was the lowest with 10.1% for no film mulching treatment (control), and it increased markedly with the lasting of film mulching period, and they were 32.7%, 34.2%, and 38.9% in the treatments of film mulching for 30 days, 60 days and the whole growth period, respectively. In the extreme drought year, nitrogen fertilizer efficiency was obviously different compared with the year with rich rainfall, under the low soil water storage and the high soil water storage before sowing, the nitrogen fertilizer efficiency in the plot of no film mulching was the highest, they were 18.3% and 19.75%, respectively, the nitrogen fertilizer efficiency in the plot of film mulching treatment was zero or minus, which implied that there was no significant effect of applying nitrogen fertilizer on the crop yield under the conditions of plastic film mulching in the year with extreme drought. In the experiment of the winter wheat, for dry matter and grain, there wasn't obvious difference among the treatments of film mulching for 75 days, film mulching for 150 days and film mulching for the whole growth period, and the difference between the highest and the lowest grain yield was only 42 kg/hm^2 , which was far less than the experimental error. The effect of plastic film mulching course and application of nitrogen fertilizer on the crop nitrogen uptake was almost the same as the effects on the dry matter and grain yield. However, according to the average of the two levels of nitrogen fertilizer application, the difference among the treatments of film mulching for 75 days, for 150 days and for the whole growth period did not reach a significant level statistically. In the three film mulching treatments, the highest nitrogen uptake was only 12.0 kg/hm^2 more than the lowest one, and the nitrogen fertilizer efficiency was the highest in the film mulching for 75 days treatment, with the prolonging of the film mulching course, the nitrogen fertilizer efficiency was dropping. In general, although the growth period of the spring wheat and the winter wheat was different, and the climate conditions during growth stage were also different, the plastic film mulching processes for two kinds of wheat had the same tendency on yield and nitrogen fertilizer efficiency, and the film mulching appeared in the earlier growth stage, and the mid-growth stage, almost had no effect during the later growth stage. As for the whole, film mulching for the whole growth

period didn't make the yield, nitrogen uptake and nitrogen efficiency increase markedly. To maintain soil fertility and good soil ecological conditions, and to maintain the sustainable development of agriculture, it should be advocated film mulching for 30- 60 days after spring wheat sowing, and it is more suitable to winter wheat to uncover plastic film which has been covered for 150 days after sowing in order to lessen soil moisture evaporation in winter and spring

Key words: agro-ecosystem in semiarid area; plastic film mulching; wheat yield; nitrogen efficiency

· 简 讯 ·

2001 年《西北农林科技大学学报(自然科学版)》总被引频次 位于全国农业高校学报第 2 名

据中国科学技术信息研究所编辑出版的《2002 年版中国科技期刊引证报告》, 2001 年本刊以总被引频次 299 次在作为统计源期刊入编该书的 24 家全国农业类高校学报中名列第 2 名, 在全国 38 种农林类高校学报中名列第 7 名, 在全国 92 种农业类科技期刊中位于第 14 名, 在全国 1 447 种中国科技论文统计源期刊中居于第 317 位。详见表 1。

表 1 农业类高校学报总被引频次和影响因子排序

名 次	刊 名	总被引频次		影响因子	
		次数	在农业类科技期刊中排名	因子	在农业类科技期刊中排名
1	南京农业大学学报	410	6	0.338	17
2	西北农林科技大学学报(自然科学版)	299	14	0.226	31
3	浙江大学学报农业与生命科学版	287	17	0.107	64
4	华中农业大学学报	285	18	0.178	38
5	中国农业大学学报	253	19	0.140	49
6	福建农业大学学报	235	22	0.128	54
7	华南农业大学学报	235	22	0.164	43
8	湖南农业大学学报	194	29	0.141	49
9	西南农业大学学报	190	31	0.126	55
10	安徽农业大学学报	185	32	0.106	65
11	河南农业大学学报	153	41	0.172	42
12	山东农业大学学报	152	43	0.076	76
13	江西农业大学学报	151	44	0.122	57
14	河北农业大学学报	142	48	0.087	74
15	吉林农业大学学报	126	51	0.149	47
16	四川农业大学学报	116	53	0.177	39
17	沈阳农业大学学报	103	58	0.091	73
18	云南农业大学学报	95	60	0.100	68
19	东北农业大学学报	85	67	0.102	66
20	甘肃农业大学学报	65	75	0.092	72
21	莱阳农学院学报	57	78	0.050	87
22	内蒙古农业大学学报	53	80	0.043	90
23	扬州大学学报农业与生命科学版	30	87	0.150	46
24	黑龙江八一农垦大学学报	28	89	0.047	88

(温晓平 供稿)