

半干旱地区地膜覆盖对作物产量和氮效率的影响^{*}

李世清 李凤民^{**} 宋秋华 王 俊 (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 415mm 的半干旱地区黄绵土上,以春小麦为供试作物进行大田试验,研究地膜覆盖进程(包括不覆膜、播种后覆膜 30d、覆膜 60d 和全程覆膜)、底墒和施 N 对作物产量和 N 效率的影响。结果表明,增加底墒、地膜覆盖和施 N 均会显著增加作物产量和吸 N 量(< 0.01),其影响顺序为 N 肥 > 底墒 > 覆膜。覆膜对产量的效应因底墒、施 N 和覆膜进程而异。从平均看,在低底墒时,各种覆膜处理产量虽有增加,但与不覆膜处理间的差异并不显著,而在高底墒时,以覆膜 60d 的产量最高,以不覆膜最低。由于覆膜和底墒影响作物产量和吸 N 量,因而也影响 N 效率。在低底墒时,以不覆膜和覆膜 30d 时 N 效率最高,而在高低底墒时,30d、60d 和全程覆膜处理间差异不显著。综合作物产量和 N 效率,全生育期覆膜并没有多少实际意义。

关键词 旱地 地膜覆盖 作物产量 N 效率

文章编号 1001-9332(2001)02-0205-05 **中图分类号** S158 **文献标识码** A

Effect of plastic film mulching on crop yield and nitrogen efficiency in semiarid areas. LI Shiqing, LI Fengmin, SONG Qiuhua and WANG Jun (State Key Laboratory of Arid Agroecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, 12(2): 205 ~ 209.

The effect of plastic film mulching, water storage in soil profile before sowing, and nitrogen fertilization on crop yield and nitrogen efficiency was examined in this paper. The study site was on the cultivated lossial soil in semiarid areas with 415mm of annual rainfall and the test crop was spring wheat, *Triticum aestivum*. In order to study the effect of plastic film mulching, 4 levels of mulching were designed, including mulching of 0, 30 and 60 days after sowing and mulching over the whole growing period. The results showed that increase of soil water storage, plastic film mulching and nitrogen fertilization increased crop yield significantly (< 0.01), and their effect followed in the order of nitrogen fertilization > increase of water storage > plastic film mulching. The effect of mulching on crop yield varied with water storage, nitrogen fertilization and mulching periods. When the water storage was low, there was no significant difference in crop yield between mulching and no mulching, although mulching increased crop yield slightly, and the nitrogen efficiency was higher for no mulching and mulching 30 days. When the water storage was high, the difference between the yield of mulching 60 days and no mulching was significant, but no difference in nitrogen efficiency was found for mulching 30 days, 60 days and over whole growing period. It was suggested that mulching over whole growing period was of less significance in practice.

Key words Dryland, Plastic film mulching, Crop yield, Nitrogen efficiency.

1 引言

地膜覆盖栽培技术自本世纪 70 年代从日本引进我国后,由于其显著的增产作用得到了大面积的推广^[6,12]。在我国西北半干旱地区,水分和养分是限制作物生产的两大主要因子^[5],地膜覆盖通过改善耕层土壤水热状况^[4,6,15],活化土壤养分^[2,8,9,14,16],对提高水分和养分利用效率^[3,6,9,10,16],实现粮食增产具有重要作用。但是在生产实践中,不合理的长期地膜覆盖,不仅有时导致减产^[6],而且也易造成土壤养分,特别是土壤硝态 N 的累积和损失(另文报道),肥料利用效率降低,但在这一方面的研究报道非常有限。本研究旨在:1) 查明地膜覆盖进程、底墒和施 N 对作物产量影响的集成效应;2) 查明地膜覆盖对 N 肥肥效、N 肥利用效率和几种 N 效率的影响。

2 试验区与方法

2.1 试验区自然概况

大田试验于 1999 年 3 ~ 7 月在甘肃省定西县唐家堡农业试验站进行。该地区为典型的半干旱黄土丘陵沟壑区,海拔 1970m,年均气温 6.2℃,年均降水量 415mm,且多集中于 7 ~ 9 月,与春小麦生育期不吻合。该区年辐射总量 5898MJ·m⁻²,年日照时数 2500h, 10℃ 积温 2075.1℃, 5℃ 积温 2591.8℃, 0℃ 积温 2787.7℃,无霜期 140d,作物一年一熟。试验区土壤为黄绵土,肥力中等,基本性质见表 1。土壤容重 1.25g·cm⁻³,地下水位深度大于 10m,不具备补给能力。天然降水是该区作物生产和人畜饮水的重要水源,降水少,变率大,分布不均,有效性差。

^{*} 国家重点基础研究发展规划(G2000018603)、国家自然科学基金(39970151 和 39970459)和教育部重点资助项目。

^{**} 通讯联系人。

2000 - 02 - 21 收稿,2000 - 06 - 12 接受。

表 1 供试土壤的基本理化性质
Table 1 Basic physical and chemical properties of soil tested

土层 Layer (cm)	有机碳 Organic C (g·kg ⁻¹)	全 N Total N (g·kg ⁻¹)	C/N	有效 P Available P (μg·kg ⁻¹)	全 P Total P (g·kg ⁻¹)	机械组成 Particle size analysis(g·kg ⁻¹)			质地 Textural classification
						2.0~0.02mm	0.02~0.0002mm	<0.002mm	
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

2.2 研究方法

2.2.1 试验方法 试验共设底墒、覆膜和施 N 3 个因子,底墒设低、高 2 个水平,每一底墒下设不覆膜(NM),覆膜 30d、60d 和全生育期覆膜(简称全程,126d)等 4 种方式,各种覆膜方式下又设不施和施 75kg N·hm⁻² 2 个水平,组成完全方案,共 16 个处理,3 次重复,小区面积 18.5m²。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 N 处理又随机排列。以含 N 46% 的尿素为 N 源,以含 P₂O₅ 16% 的普通过磷酸钙为底肥,过磷酸钙 750kg·hm⁻²。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。供试春小麦品种为陇春 8139-2。播前对高墒处理每小区灌水 1.6m³,低墒处理每小区灌水 1.0m³(播前自然底墒和前期降水量极低,如不灌水就不能保证出苗和苗期生长),灌后待地表干至能作业播种时多点采集土壤样品,测定 0~200cm 土层贮水量。经测定高墒处理贮水量为 351.7mm,低墒处理为 310.5mm。于 1999 年 3 月 22 日播种,1999 年 7 月 27 日收获,全生育期 126d,共降水 239.9mm。收获时,除去四周保护区,实收面积 13.2m²,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 N 量。

2.2.2 N 效率的计算方法 N 效率分别用 N 肥利用率、N 素利用效率、N 肥农学效率和 N 肥生理效率等指标表示^[1,7]。N 肥利用率是指地上部分吸 N 量占施 N 量的百分数,它的大小可以反映 N 肥的利用程度;N 素利用效率是指地上部分单位吸 N 量所生产的籽粒或干物质质量,它的大小可以反映吸 N 量转化为产量或干物质的多少;N 肥农学效率是指单位施 N 量增加的产量,它的大小可以进行评价施 N 的增产效果;N 肥生理效率是指施 N 后增加的单位吸 N 量所增加的产量,它的大小可以评价因施 N 增加的吸 N 量转化为产量或干物质的效率。这 4 种指标用公式表示,则分别为:

表 2 覆膜和施 N 对作物产量和吸 N 的影响

Table 2 Effects of plastic film mulching and nitrogen fertilizer application on crop yield and nitrogen uptake

底墒 Storage water before sowing	覆膜 Mulching	施 N Application N (kg hm ⁻²)	产量 Yield (kg hm ⁻²)			吸 N 量 N uptake(kg hm ⁻²)			
			籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Total dry matter	籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Total dry matter	
低 Low	不覆膜	0	1922g	2853	4775f	41.9	15.5	57.4f	
	No mulching	75	2554cdef	3506	6060cde	58.1	22.1	80.2bcde	
		30d	0	2068fg	3151	5219ef	49.9	16.4	66.3def
		75	2491cdef	3841	6332cde	63.6	25.5	89.1abc	
	60d	0	2272defg	3239	5512def	42.8	18.8	61.6ef	
		75	2436cdefg	3654	6090cde	54.1	21.7	75.8bcdef	
		126d	0	2276defg	3450	5726def	51.9	14.9	66.7def
	75	2750bcd	4042	6792cd	62.2	18.8	81.4bcd		
	高 High	不覆膜	0	2194efg	3399	5593def	45.9	18.4	64.3def
		No mulching	75	2424cdefg	3802	6226cde	51.5	20.4	71.9cdef
30d			0	2221defg	3652	5873def	45.4	23.0	68.4def
75			3138ab	5056	8195ab	67.9	25.0	92.9ad	
60d		0	2858abc	4326	7185bc	62.2	20.0	82.2bcd	
		75	3305a	5503	8808a	71.4	31.8	103.2a	
		126d	0	2625bcde	4027	6653cd	54.1	16.0	70.1def
75		3123ab	4875	7998ab	74.5	31.0	105.5a		

$$N \text{ 肥利用率}(\%) = (\text{地上部分吸 N 量} / \text{施 N 量}) \times 100\%$$
$$N \text{ 素利用效率}(\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}) = \text{籽粒(或干物质)产量} / \text{地上部分吸 N 量}$$
$$N \text{ 肥农学效率}(\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}) = (\text{施 N 区产量} - \text{不施 N 区产量}) / \text{施 N 量}$$
$$N \text{ 肥生理效率}(\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ N}) = (\text{施 N 区产量} - \text{不施 N 区产量}) / (\text{施 N 区吸 N 量} - \text{不施 N 区吸 N 量})$$

2.2.3 土壤和植株分析 土壤有机质、全 N、全 P、有效 P 和机械组成均用常规方法测定。植株样品用 Tekmar-10 型粉碎机粉碎后,用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮^[11],开氏 1030 自动定 N 仪测定全 N。试验结果用 SAS 软件进行差异显著性检验和多重比较^[13]。

3 结果与分析

3.1 作物产量

由于地膜覆盖改变了土壤水、热和养分供应状况^[2,4,8,9,14~16],因而最终影响产量^[4,6,15]。在本试验条件下,增加底墒、地膜覆盖和施 N 均会显著增加作物籽粒、茎叶和干物质产量(表 2)。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,N 肥(F_{籽粒} = 33.81^{*};F_{干物质} = 41.50^{*}) > 底墒(F_{籽粒} = 22.97^{*};F_{干物质} = 41.98^{*}) > 覆膜(F_{籽粒} = 6.54^{*};F_{干物质} = 8.37^{*})。从因子之间的交互作用对籽粒的影响看,底墒、覆膜和施 N 间基本无交互作用(F_{底墒×覆膜} = 2.72;F_{底墒×氮肥} = 0.37;F_{氮肥×覆膜} = 0.87;F_{底墒×覆膜×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_{底墒×覆膜} = 3.35^{*})。

覆膜和施 N 对收获指数(HI)无规律性影响.但在高底墒时,收获指数显著下降(<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 $401\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)显著小于茎叶的增加幅度(平均增产茎叶 $863\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),前者是后者的 2.15 倍.

3.2 作物吸 N 量

地膜覆盖、底墒和施 N 对小麦吸 N 量的影响与对产量的影响基本一致(表 2).底墒和施 N 对吸 N 量的影响达 1% 显著水平,而覆膜对吸 N 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 N 量,只有底墒和覆膜间表现出显著的正交互作用;从不施 N 和施 N 平均看,在低底墒时,吸 N 量(是产量和含 N 量的综合表现,最能反映覆膜的效果)以覆膜 30d 时最大,在高底墒时,以覆膜 60d 最大,以不覆膜最低(表 2),但不覆膜与覆膜 30d、覆膜 60d 和全程覆膜之间差异也不显著.

表 3 覆膜和底墒对 N 效率的影响

Table 3 Effects of plastic film mulching and storage water before sowing on nitrogen efficiencies

底墒 Storage water before sowing	覆膜 Mulching	施 N Application N ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	N 素利用效率 UEN ¹⁾ ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		N 肥农学效率 AENF ²⁾ ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		N 肥生理效率 PENF ³⁾ ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		N 肥利用率 UENF ⁴⁾ (%)
			籽粒 Grain	干物质 Total dry matter	籽粒 Grain	干物质 Total dry matter	籽粒 Grain	干物质 Total dry matter	
低 Low	不覆膜 No mulching	0	33.5	83.2	-	-	-	-	-
		75	31.9	75.6	8.4	17.1	27.7	56.4	30.4
	30d	0	31.2	78.7	-	-	-	-	-
		75	28.0	71.1	5.7	14.8	18.6	48.9	30.3
	60d	0	36.9	89.5	-	-	-	-	-
		75	32.1	80.4	2.2	7.7	11.5	40.6	19.0
	126d	0	34.1	85.8	-	-	-	-	-
		75	33.8	83.4	6.3	14.2	32.2	72.5	19.6
	高 High	0	34.1	87.0	-	-	-	-	-
		75	33.7	86.6	3.1	8.4	30.0	82.6	10.2
	30d	0	32.5	85.9	-	-	-	-	-
		75	33.8	88.2	12.2	31.0	37.4	94.6	32.7
	60d	0	34.8	87.4	-	-	-	-	-
		75	32.0	85.4	6.0	21.6	21.3	77.4	34.2
	126d	0	37.5	94.9	-	-	-	-	-
		75	29.6	75.8	6.6	17.9	14.0	38.0	38.9

1) Use efficiency of nitrogen ,2) Agronomic efficiency of nitrogen fertilizer ,3) Physiological efficiency of nitrogen fertilizer ,4) Use efficiency of nitrogen fertiliz-
er. 下同 The same below.

表 4 覆膜和底墒对 N 效率的影响

Table 4 Effects of plastic film mulching and storage water before sowing on nitrogen efficiency

底墒 Storage water before sowing	覆膜 Mulching	N 素利用效率 UEN ¹⁾ ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		N 肥农学效率 AENF ²⁾ ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		N 肥生理效率 PENF ³⁾ ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		N 肥利用率 UENF ⁴⁾ (%)
		籽粒 Grain	干物质 Total dry matter	籽粒 Grain	干物质 Total dry matter	籽粒 Grain	干物质 Total dry matter	
底 Low	不覆膜 No mulching	32.7	79.4	8.4	17.1	27.7	56.4	30.4
		29.6	74.9	5.7	14.8	18.6	48.9	30.3
		34.5	85.0	2.2	7.7	11.5	40.6	19.0
		34.0	84.6	6.3	14.2	32.2	72.5	19.6
		32.7	81.0	5.7	13.5	22.5	54.6	24.8
		33.9	86.8	3.1	8.4	30.0	82.6	10.2
高 High	不覆膜 No mulching	33.2	87.1	12.2	31.0	37.4	94.6	32.7
		33.4	86.4	6.0	21.6	1.3	77.4	34.2
		33.6	85.4	6.6	17.9	14.0	38.0	38.9
		33.5	86.4	7.0	19.7	25.7	73.2	29.0

4 讨 论

4.1 覆膜对作物产量和 N 肥效果的影响

覆膜对产量的效应因底墒、施 N 和覆膜进程而异(表 2). 从不施 N 和施 N 平均看, 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, 表 5 覆膜对作物产量和施 N 增产效果的影响

Table 5 Effects of plastic film mulching on crop yield and nitrogen fertilizer effect(kg·hm ⁻²)							
底墒 Storage water before sowing	覆膜 Mulching	籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Total dry matter	施 N 增加 Increased by N fertilizer		
					籽粒 Grain	茎叶 Straw	干物质 Total dry matter
低 Low	不覆膜 No mulching	2238	3179	5452	632	653	1285
	30d	2278	3496	5776	424	689	1113
	60d	2354	3447	5801	344	414	759
	126d	2435	3746	6181	317	325	642
	平均 Mean	2336	3467	5803	429	520	950
高 High	不覆膜 No mulching	2309	3600	5909	230	403	633
	30d	2680	4354	7034	917	1404	2322
	60d	3082	4914	7996	447	1167	1623
	126d	2875	4451	7325	497	848	1345
	平均 Mean	2736	4330	7066	523	956	1481

在低底墒时, 不覆膜土壤水分条件较差, 土壤 N 素矿化量少, 作物产量和吸 N 量低, 施 N 后, 作物产量和地上部分含 N 量大幅度增加(表 6), 因而, 不覆膜或覆膜时间短时, N 肥利用率高; 但随着覆膜时间的延长, 一方面土壤矿化出的 N 素, 特别是土壤剖面中 NO₃⁻-N 的累积量大幅度增加, 不施 N 时的作物吸 N 量显著增加, 另一方面受水分限制, N 肥增产效果下

Table 6 Effects of plastic film mulching and nitrogen fertilizer on nitrogen content in crop(%)					
覆膜 Mulching	施 N Application N(kg·hm ⁻²)	低底墒 Low storage water		高底墒 High storage water	
		籽粒 Grain	茎叶 Straw	籽粒 Grain	茎叶 Straw
不覆 No mulching	0	2.175	0.540	2.090	0.539
	75	2.281	0.637	2.126	0.571
30d	0	2.435	0.521	2.033	0.515
	75	2.528	0.644	2.163	0.579
60d	0	1.882	0.586	2.177	0.456
	75	2.221	0.640	2.161	0.577
126d	0	2.281	0.431	2.042	0.430
	75	2.287	0.560	2.381	0.640
不覆膜平均 Averaged with no mulching		2.228	0.589	2.108	0.555
覆膜 30d 平均 Averaged with mulching for 30d		2.482	0.593	2.098	0.547
覆膜 60d 平均 Averaged with mulching for 60d		2.052	0.613	2.169	0.522
全程覆膜平均 Averaged with mulching for 126d		2.284	0.496	2.212	0.535
不施 N 平均 Averaged with no application of N		2.193	0.520	2.086	0.487
施 N 平均 Averaged with application of N		2.329	0.625	2.208	0.592
全部平均 Averaged with total results		2.261	0.573	2.147	0.540

4.3 覆膜和底墒对 N 效率的集成效应

覆膜对 N 效率的效应因底墒而异, 在低底墒时, 不覆膜, 覆膜 30d 和 60d 时, 施 N 后 N 素利用效率显著降低, 全程覆膜, N 素利用效率虽有降低, 但幅度不大. 而在高底墒下, 覆膜 30d 和 60d 时, 施 N 后 N 素利用效率与不施 N 相当, 或略高于不施 N 处理, 而全程覆膜施 N 后, N 素利用效率明显降低. 从不施肥和施

还是干物质, 以覆膜 60d 最大, 以不覆膜最低, 但不覆膜与覆膜 30d、覆膜 60d 和全程覆膜之间差异并不显著. N 肥肥效也因底墒和覆膜进程而异: 低底墒时不覆膜和覆膜 30d 的 N 肥增产效果最显著, 覆膜 60d 后, N 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 30d N 肥增产效果最高, 不覆膜最低(表 5).

4.2 覆膜对作物吸 N 量和 N 肥利用率的影响

降, 因而 N 肥利用率降低; 但在高底墒时, 由于不覆膜处理的水分条件较好, 土壤矿化出的 N 素和作物吸 N 量较多, 因而在不覆膜时 N 肥利用率低, 覆膜后由于水分条件较好, N 肥增产效果远比低底墒时突出, 同时施 N 后, 作物体内含 N 量(表 6)和吸 N 量(表 2)显著增加, 因而 N 肥利用率增加. 以上结果充分表明, 底墒和地膜覆盖进程显著影响 N 肥利用率.

肥平均看, 无论底墒高低, 不同覆膜处理的 N 素利用效率基本相同, 并未因覆膜而使作物将更多吸收的 N 素转化为经济产量. N 肥农学效率在低底墒时, 除覆膜 60d 结果异常外, 其余覆膜处理相差不大, 而对高底墒, 以覆膜 30d 最大, 其次为 60d 和全程覆膜, 以不覆膜最小, 说明覆膜 30d 时, N 肥增产效果最显著. 对 N 肥生理效率, 在低底墒时由于覆膜 30d 和 60d 时不施

肥小区产量和吸 N 量较高,因此覆膜 30d 和 60d 时的较小,以全程覆膜和不覆膜较大.如果用不覆膜不施肥小区的产量和吸 N 量为基数进行计算,N 肥生理效率仍以覆膜 60d 时最大;对高底墒,以覆膜 30d 最大,其次为不覆膜,全程覆膜最小.综合这几项指标可见,无论底墒高低,全程覆膜并不利于吸收的 N 素向经济产量的转化.

综合作物产量、吸 N 量和各种 N 效率,在施 N 充分的基础上,底墒较低时,以覆膜 30d 为宜,而底墒较高时,以覆膜 60d 为宜;在 N 肥供应不足时,无论底墒高低,均以覆膜 60d 为宜.全程覆膜具有一定的局限性,不仅因后期水分和养分限制导致减产(如本次试验的高底墒处理及我们在前期已进行的试验均说明了这一点)和 N 效率降低,而且更重要的是全程覆膜,特别是在作物生长后期,会增加土壤有机质的过分矿化而导致土壤肥力下降.如果长期覆膜,不利于农业生产的可持续发展.

参考文献

- 1 Bock BR. 1984. Efficient use of nitrogen in cropping systems. In: Hauck RD ed. Nitrogen in Crop Production. Am Soc Agon, Madison, Wis. USA. 273 ~ 294
- 2 Chen X-S(陈锡时), Guo S-F(郭树凡), Wang J-K(汪景宽) et al. 1998. Effect of mulching cultivation with plastic film on soil microbial population and biological activity. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 9(4): 435 ~ 439(in Chinese)
- 3 Fisher PD. 1995. An alternative plastic mulching system for improved water management in dryland maize production. *Agric Water Man*, 27: 155 ~ 166
- 4 Huang Y-D(黄义德), Zhang Z-L(张自立), Wei F-Z(魏凤珍) et al. 1999. Ecophysiological effect of dry-cultivated and plastic film mulched rice planting. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 10(3): 305 ~ 308(in Chinese)
- 5 Li Shengxiu and Xiao Ling. 1992. The distribution and management of drylands in the People's Republic of China. *Adv Soil Sci*, 18: 147 ~ 302
- 6 Li Fengmin, Guo Anhong and Wei Hong. 1999. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat. *Field Crops Res*, 63: 79 ~ 86
- 7 Li Y-Z(李韵珠), Huang Y-F(黄元仿). 1994. The relation between nitrogen use efficiency and water supply for winter wheat. In: Li Y-Z(李韵珠) ed. Available Use of Soil Water and Nutrient. Beijing: Beijing Agricultural University Publisher. 139 ~ 48(in Chinese)
- 8 Liu X-H(刘小虎), Chen X-X(陈小萱), Xu X-C(须相成). 1992. The effect of organic manure applied with chemical fertilizer on the offering and state of soil nitrogen under plastic sheet ground cover. *J Shenyang Agric Univ*(沈阳农业大学学报), 23(supp.): 68 ~ 73(in Chinese)
- 9 Liu J-C(刘金城), Yang J-Q(杨晶秋), Bai C-Y(白成云). 1991. The decomposition and accumulation of soil organic matter under film mulching. *Acta Agric Boreali-Sin*(华北农学报), 6(1): 99 ~ 104(in Chinese)
- 10 Mohapatra B K, Lenka D, Naik D. 1998. Effect of plastic mulching on yield and water use efficiency in maize. *Ann Agric Res*, 19: 210 ~ 211
- 11 Nanjing Agricultural University (南京农业大学) ed. 1988. Methods of Soil and Agrochemistry Analysis (2nd ed.). Beijing: China Agricultural Publisher. 200 ~ 229(in Chinese)
- 12 Niu J Y, Gan Y T, Zhang J W, Yang Q F. 1998. Postanthesis drymatter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. *Crop Sci*, 38: 1562 ~ 1568
- 13 Pei X-C(裴喜春), Xue H-R(薛河儒). 1998. SAS and Application. Beijing: China Agricultural Publisher. 28 ~ 81(in Chinese)
- 14 Quezada M, Maria R, Munguia L. 1995. Plastic mulching and availability of soil nutrients in cucumber crop. *TERRA (Mexico)*, 13: 136 ~ 147
- 15 Ravi V and Lourduraj AC. 1996. Comparative performance of plastic mulching on soil moisture content, soil temperature and yield of rainfed cotton. *Madras Agric J*, 83: 709 ~ 711
- 16 Song F-B(宋凤斌). 1991. Soil ecological basis for plastic-sheet-covered corn increasing yield. *J Jilin Agric Univ*(吉林农业大学学报), 13(2): 4 ~ 7(in Chinese)
- 17 Unger PW. 1975. Role of mulches in dryland agriculture. In Gupta, US ed. Crop Physiology. New Delhi: Oxford and IBH, 237 ~ 260
- 18 Zaongo CGL, Wendt CW, Lascano RJ, Juo ASR. 1997. Interactions of water, mulch and nitrogen on sorghum in Niger. *Plant and Soil*, 197: 119 ~ 126

作者简介 李世清,男,1964年生,博士,副教授,兰州大学干旱农业生态国家重点实验室博士后.主要从事于旱地土壤-植物系统中的 N 素内循环特征研究.发表相关学术论文 40 余篇. E-mail: Lisq @public. xa. sn. cn